

## II-537 - 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

### **Luiz Gustavo Wagner<sup>(1)</sup>**

Tecnólogo em Construção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Energias Renováveis pela UTFPR. Técnico da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

### **Gustavo Rafael Collere Possetti**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da SANEPAR. Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

### **Charles Carneiro**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências do Solo e Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Gerente da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

### **Jair Urbanetz Junior**

Engenheiro Industrial Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia Elétrica e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor no Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da UTFPR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Eng. Antonio Batista Ribas, 151 - Tarumã – Curitiba – PR - CEP: 82800-130 - Brasil - Tel: (41) 3777-7285 - e-mail: luizgw@sanepar.com.br

### **RESUMO**

O lodo de esgoto é um resíduo sólido oriundo do tratamento de esgotos domésticos. Sua destinação deve ser ambientalmente adequada, sanitariamente segura e economicamente viável, estando em conformidade com as legislações vigentes no Brasil. Para atender essa expectativa, o lodo deve ser submetido a um processo que promova sua higienização e sua secagem. Dentre as técnicas que podem ser utilizadas para esse fim, destaca-se a via térmica. No entanto, uma fonte de energia capaz de transferir calor ao lodo é necessária. Um sistema piloto constituído por 2 protótipos de leito de secagem foi construído para transferir calor ao lodo por meio de piso radiante, alimentado por energia solar e biogás. A diferença entre os protótipos está no material utilizado para compor suas bases: concreto (protótipo 1) e metal (protótipo 2). Os resultados obtidos demonstram que a energia solar promove o pré-aquecimento do sistema e que o biogás atuando como fonte de energia complementar proporciona a elevação da temperatura do lodo de esgoto a patamares térmicos compatíveis com a sua higienização e secagem. As temperaturas médias obtidas durante o estágio de higienização foram de 66,97 e 77,35 °C, respectivamente, para os protótipos 1 e 2. Já os teores de sólidos totais obtidos após o estágio de secagem nesses protótipos foram de 86,69 e 88,07%, respectivamente. Verificou-se ainda que a produção de biogás disponível nas ETEs é suficiente para alimentar os sistemas de higienização e secagem térmica de lodo investigados, independente dos materiais utilizados para compor a base do piso radiante, desde que o calor proveniente de sua queima seja complementar aquele obtido mediante recuperação da energia solar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, Biogás, Energia Solar, Secagem Térmica.

### **INTRODUÇÃO**

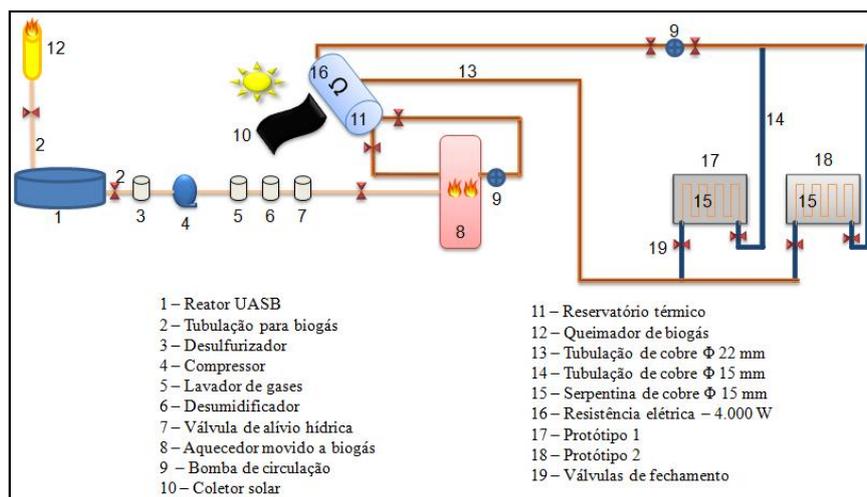
O lodo de esgoto é um subproduto do processo de tratamento de esgoto doméstico. Trata-se de um resíduo sólido rico em matéria orgânica e em nutrientes, porém concentrador de micro-organismos patogênicos. A disposição sanitária e ambientalmente segura desse material exige que esses micro-organismos presentes em sua composição sejam eliminados ou significativamente reduzidos por meio de um processo de higienização [1].

A utilização do biogás para higienização de lodos de esgotos já foi reportada na literatura e os resultados demonstraram que é possível utilizar o biogás para tais fins e que essa pode ser uma alternativa viável para estações de tratamento de esgotos (ETEs) de médio e pequeno porte [1]. No entanto, dependendo das características do esgoto e do porte da ETE, a energia necessária para a higienização e secagem do lodo pode não ser suficientemente encontrada apenas na recuperação do biogás gerado na ETE, necessitando de uma fonte de energia complementar [2].

Uma alternativa é a utilização da energia solar térmica para trabalhar em conjunto com a energia oriunda do biogás em um sistema híbrido. Essa tipologia já foi testada e os resultados mostram que a energia solar combinada ao biogás é suficiente para higienizar e secar o lodo de esgoto, utilizando como interface de transferência de calor ao lodo, uma configuração com piso radiante de concreto [3]. No entanto, dependendo dos materiais constituintes da estrutura para transferência de calor ao lodo, a quantidade de energia utilizada pode variar. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo de reportar os resultados obtidos a partir de duas configurações de protótipos aptos a transferir calor ao lodo de esgoto, por meios de pisos radiantes constituídos de diferentes materiais, a partir de um sistema térmico que utiliza energia solar e biogás.

## METODOLOGIA

Um sistema piloto capaz de transferir calor ao lodo de esgoto foi construído no pátio de uma ETE de médio porte na cidade de Curitiba – PR, conforme desenho esquemático representado na Figura 1.



**Figura 1: Representação esquemática do sistema piloto**

O sistema é constituído por dois protótipos de leito de secagem, estruturas onde o lodo de esgoto é depositado, denominados protótipos 1 e 2. Esses protótipos foram concebidos com diferentes materiais na base de transferência de calor para permitir a comparação entre eles, sendo que o primeiro possui base de concreto e o segundo possui base metálica. Ambos possuem 1 m<sup>2</sup> de área na base e são dotados de serpentinas confeccionadas com tubos de cobre, por onde circula água aquecida para transferir calor aos pisos que, por sua vez, transferem calor ao lodo depositado sobre eles. A água da rede pública de abastecimento é enviada a um reservatório de 200 litros e seu aquecimento é realizado por meio de sua circulação em um coletor solar, dotado de 15 tubos a vácuo, que direciona a água aquecida novamente ao reservatório térmico pelo processo de termossifão. A água aquecida é enviada aos protótipos com auxílio de uma bomba com potência de 67 W, retornando ao reservatório térmico após trocar calor nas serpentinas em um circuito fechado.

O sistema possui três fontes de energia para aquecimento a água: energia solar, aquecedor movido a biogás e uma resistência elétrica de 4.000 W de potência, que está instalada no interior do reservatório térmico. No presente trabalho a utilização da resistência elétrica teve a função de mensurar a energia necessária para o aquecimento do sistema, a qual possui equivalência direta com o volume necessário de biogás.

Os protótipos foram avaliados mediante a realização de três ensaios. Inicialmente, executou-se um ensaio com o sistema “a vazio”, ou seja, sem adição de lodo de esgoto, monitorando a temperatura atingida pela água no ponto de consumo e nos pisos dos protótipos. Isso foi realizado com o objetivo de investigar o rendimento do sistema utilizando somente a energia solar, em dois dias distintos, sendo um dia nublado e outro dia ensolarado.

Já o segundo ensaio ocorreu nas mesmas condições do primeiro, porém com a utilização da resistência elétrica como fonte complementar, simulando a energia do biogás, com o intuito de medir a quantidade requerida de energia e comparar os rendimentos entre um dia nublado e um dia ensolarado.

O terceiro ensaio, por sua vez, consistiu em verificar a capacidade do sistema em higienizar e secar o lodo de esgoto. Para isso, os protótipos foram alimentados com lodo de esgoto oriundo do processo de tratamento de uma ETE com reatores UASB. O lodo foi coletado no pátio de cura, após passar por adensamento em centrífuga. O lodo foi depositado sobre os protótipos de leito de secagem em uma camada igualmente distribuída de 10 cm.

Para monitorar a temperatura na massa de lodo, utilizaram-se dois termopares do tipo K em cada um dos protótipos, os quais foram instalados em uma altura igual a 3,3 cm a partir da base e ligados a um módulo de aquisição de dados que foi programado para registrar a temperatura a cada 30 segundos.

Os protótipos foram, então, cobertos com sacos plásticos com o intuito de se manter a umidade da massa de lodo. Deu-se início a circulação de água, que foi aquecida até 90 °C e mantida nesse patamar por todo o restante do ensaio.

O protótipo permaneceu coberto durante os três primeiros dias de ensaio, denominando-se este período como estágio de higienização. Após exatas 72 horas, as coberturas plásticas foram retiradas, permanecendo por mais sete dias, denominando-se esse período como estágio de secagem. Coletaram-se amostras para monitorar os teores de sólidos totais do lodo com 1, 3, 7 e 10 dias.

Por fim, com os resultados obtidos experimentalmente, dados operacionais de descarte de lodo e a partir de dados teóricos de produção de biogás e metano, determinaram-se algumas relações unitárias em função do porte da ETE com o intuito de gerar diretrizes para eventuais projetos que adotem o sistema piloto em questão.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, no primeiro ensaio, monitoraram-se as temperaturas que a água atingiu no ponto de consumo e a temperatura nos pisos dos protótipos durante a circulação da água, comparando-se o rendimento entre um dia ensolarado e outro nublado (Tabela 1).

**Tabela 1: Rendimento do sistema utilizando somente energia solar**

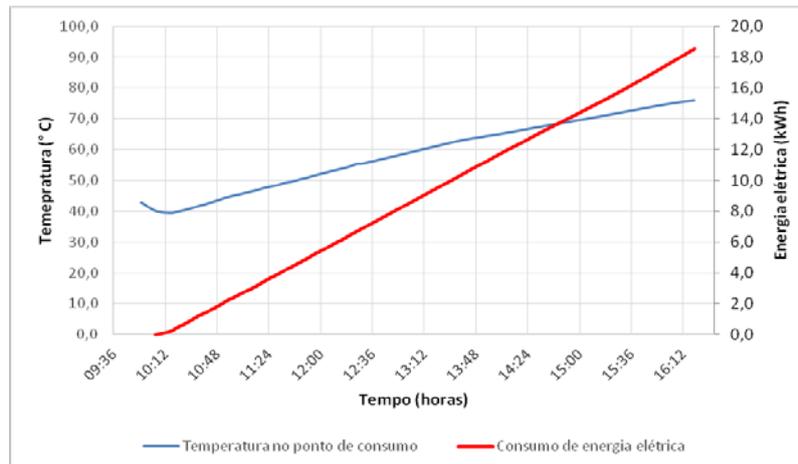
Dia	Temperatura ambiente	Temperatura da água	Temperatura Protótipo 1	Temperatura Protótipo 2
Ensolarado	24 °C	63,5 °C	37,5 °C	43,3 °C
Nublado	21 °C	47,9 °C	33,2 °C	35,0 °C

No dia ensolarado, o coletor solar elevou a temperatura da água a 63,5 °C no ponto de consumo, enquanto não havia circulação de água. A temperatura ambiente no início do ensaio foi de aproximadamente 24 °C.

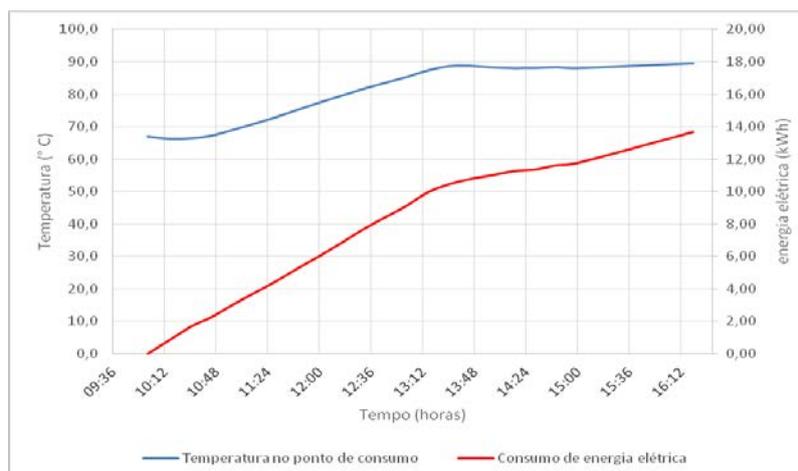
A energia necessária para aumentar a temperatura de 200 litros de água de 24 até 90 °C foi igual a 15,34 kWh. O coletor solar elevou tal temperatura a 63,5 °C e, portanto, gerou 9,18 kWh de energia térmica, equivalendo a 60% da energia requerida para elevar a água a 90 °C, temperatura estipulada para operação do sistema.

No dia nublado a temperatura ambiente no início do ensaio foi de aproximadamente 21 °C, enquanto que a temperatura da água no ponto de consumo foi de 47,9 °C. A energia necessária para elevar 200 litros de água de 21 até 90 °C equivaleu a 16,04 kWh. O coletor solar proporcionou uma elevação da temperatura da água até 47,9 °C, gerando 6,25 kWh, o que equivale a 39% da energia requerida.

No segundo ensaio, o sistema piloto foi programado para elevar a temperatura da água no ponto de consumo até 90 °C, contando com auxílio da resistência elétrica, sendo que a água circulou pelos protótipos durante todo o experimento, que foi de 6 horas e 20 minutos em ambos os dias. No dia ensolarado, o consumo de energia complementar foi 26% menor em relação ao dia nublado e a temperatura de operação desejada de 90,0 °C foi atingida, fato que não ocorreu na simulação realizada com o dia nublado. As Figuras 2 e 3 mostram a quantidade de energia necessária para aquecimento da água, em complementação a energia solar, comparando um dia nublado e um dia ensolarado.

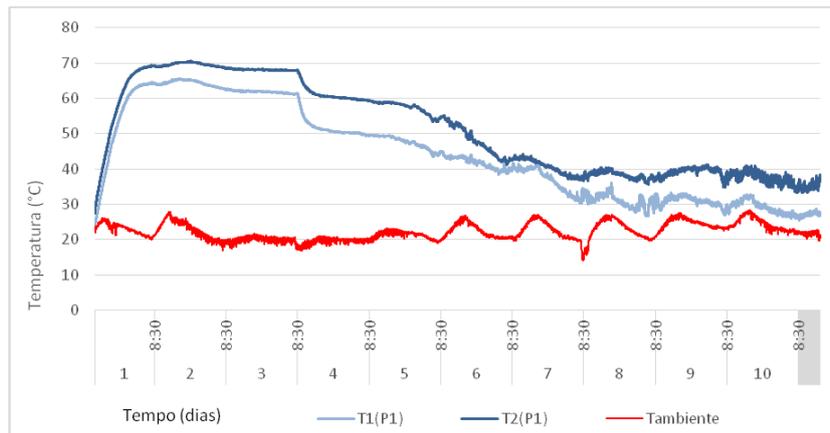


**Figura 2: Consumo de energia complementar em dia nublado**

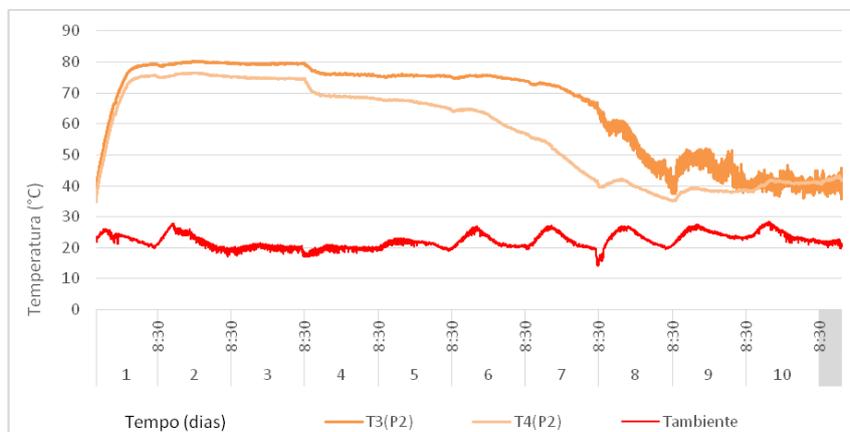


**Figura 3: Consumo de energia complementar em dia ensolarado**

Por fim, no terceiro ensaio, durante o estágio de higienização o lodo atingiu temperaturas médias de 67,0 °C e 77,3 °C, respectivamente nos protótipos 1 e 2. O protótipo 1 levou aproximadamente 24 horas para atingir sua temperatura média máxima, enquanto que o protótipo 2 atingiu sua temperatura média máxima em aproximadamente 14 horas. Após o período de higienização e com os protótipos descobertos, a temperatura na massa de lodo foi diminuindo gradativamente, devido ao aumento no teor de sólidos pela evaporação da água (Figuras 4 e 5).

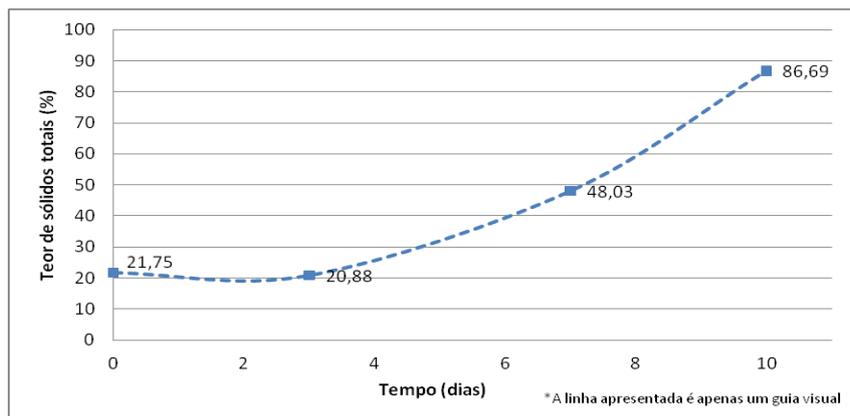


**Figura 4: Temperatura na massa de lodo – protótipo 1**

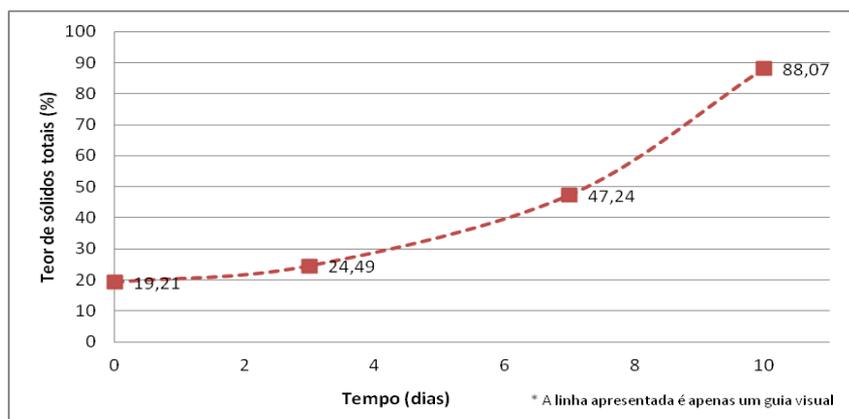


**Figura 5: Temperatura na massa de lodo – protótipo 2**

Ao final do terceiro ensaio, os valores relativos aos teores de sólidos totais foram semelhantes nos dois protótipos, sendo 86,69 e 88,07 %, respectivamente, conforme Figuras 6 e 7.



**Figura 6: Teores de sólidos totais do lodo tratado no protótipo 1**



**Figura 7: Teores de sólidos totais de lodo tratado no protótipo 2**

Por fim, são apresentados nas Tabelas 2 e 3 um dimensionamento preliminar para duas configurações de sistemas de higienização de secagem de lodos de esgoto. O dimensionamento foi realizado a partir dos dados de energia consumida em cada um dos protótipos e considerando um regime por batelada com descarte de lodo a cada 1 dia. As estimativas foram organizadas de acordo com o porte da ETE em número de habitantes atendidos. Realizou-se, ainda, uma comparação entre o volume de biogás necessário para tal e o volume teórico disponível.

**Tabela 2: Dimensionamento do sistema protótipo 1**

Habitantes	Lodo (m <sup>3</sup> /dia)	Volume de lodo a 4,2% ST (m <sup>3</sup> )	Volume de lodo a 20% ST (m <sup>3</sup> )	Área do leito de secagem (m <sup>2</sup> )	Energia requerida (kWh)	Energia requerida metano (80 % rendimento) (kWh)	Volume de metano requerido (Nm <sup>3</sup> )	Volume teórico de metano disponível (Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>	Biogás requerido 70% CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> )
10.000	2,2	2,2	0,462	4,62	329,38	411,72	41,59	68,00	59,41
20.000	4,4	4,4	0,924	9,24	658,76	823,45	83,18	136,00	118,82
30.000	6,6	6,6	1,386	13,86	988,13	1235,17	124,76	204,00	178,24
40.000	8,8	8,8	1,848	18,48	1317,51	1646,89	166,35	272,00	237,65
50.000	11	11	2,31	23,1	1646,89	2058,61	207,94	340,00	297,06
60.000	13,2	13,2	2,772	27,72	1976,27	2470,34	249,53	408,00	356,47
70.000	15,4	15,4	3,234	32,34	2305,65	2882,06	291,12	476,00	415,88
80.000	17,6	17,6	3,696	36,96	2635,03	3293,78	332,71	544,00	475,29
90.000	19,8	19,8	4,158	41,58	2964,40	3705,51	374,29	612,00	534,71
100.000	22	22	4,62	46,2	3293,78	4117,23	415,88	680,00	594,12

Observações: (a) Volume calculado a partir do modelo proposto por LOBATO (2011)

**Tabela 3: Dimensionamento do sistema protótipo 2**

Habitantes	Lodo (m <sup>3</sup> /dia)	Volume de lodo a 4,2% ST (m <sup>3</sup> )	Volume de lodo a 20% ST (m <sup>3</sup> )	Área do leito de secagem (m <sup>2</sup> )	Energia requerida (kWh)	Energia requerida metano (80 % rendimento) (kWh)	Volume de metano requerido (Nm <sup>3</sup> )	Volume teórico de metano disponível (Nm <sup>3</sup> ) <sup>(a)</sup>	Biogás requerido 70% CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> )
10.000	2,2	2,2	0,462	4,62	182,68	228,35	23,07	68,00	32,95
20.000	4,4	4,4	0,924	9,24	365,36	456,70	46,13	136,00	65,90
30.000	6,6	6,6	1,386	13,86	548,04	685,05	69,20	204,00	98,85
40.000	8,8	8,8	1,848	18,48	730,72	913,40	92,26	272,00	131,80
50.000	11	11	2,31	23,1	913,40	1141,75	115,33	340,00	164,75
60.000	13,2	13,2	2,772	27,72	1096,08	1370,10	138,39	408,00	197,71
70.000	15,4	15,4	3,234	32,34	1278,76	1598,44	161,46	476,00	230,66
80.000	17,6	17,6	3,696	36,96	1461,44	1826,79	184,52	544,00	263,61
90.000	19,8	19,8	4,158	41,58	1644,11	2055,14	207,59	612,00	296,56
100.000	22	22	4,62	46,2	1826,79	2283,49	230,66	680,00	329,51

Observações: (a) Volume calculado a partir do modelo proposto por LOBATO (2011)

## **CONCLUSÕES**

A construção do sistema térmico de higienização e secagem de lodo de esgoto, em escala piloto, permitiu verificar que sua concepção de pisos que irradiam calor por meio de serpentinas, por onde circula a água aquecida, é eficaz na tarefa de higienização em ambos os protótipos de leito de secagem, independente dos materiais utilizados para compor suas bases, pois ambos elevaram a temperatura na massa de lodo a patamares compatíveis aos indicados na literatura para tal fim [1].

O coletor solar proporciona um pré-aquecimento da água utilizada para circulação e pré-aquecimento dos protótipos de leito de secagem. Em um dia ensolarado, o aquecimento solar proporcionou até 60% da energia requerida para elevar a temperatura da água ao patamar de operação. Portanto, a energia solar térmica pode ser utilizada como fonte complementar de energia, gerando economia na fonte primária, seja biogás ou qualquer outra fonte de energia.

O dimensionamento do sistema apontou que a produção teórica de metano, em condições apontadas pela literatura [4], é suficiente para suprir energeticamente esse sistema, sendo uma autonomia de 164 % para o protótipo 1 e de 295% para o protótipo 2. Ou seja, o volume de metano disponível é superior ao volume demandado em ambos os casos.

Conclui-se, portanto, que um sistema térmico de higienização e secagem de lodo de esgoto movido a energia solar e biogás é uma alternativa para executar essa tarefa em ETES de pequeno e médio porte, pois cumpre a função requerida, é de fácil implantação, pois utiliza materiais e mão de obra facilmente encontrados no mercado. Além disso, um sistema que se utilize da queima de biogás para geração de energia, é uma solução que vai ao encontro da legislação ambiental pertinente, contribuindo também para redução da emissão de gases indutores do efeito estufa.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. POSSETTI, Gustavo R. C.; JASINSKI, Vanessa P.; ANDREOLI, Cleverson V.; BITTENCOURT, Simone; CARNEIRO, Charles. Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETES de médio e pequeno porte. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 15, 2012, Belo Horizonte, MG. Anais... Belo horizonte, 2012. 1 CD-ROM.
2. POSSETTI, Gustavo R. C.; JASINSKI, Vanessa P.; MESQUITA, Nilton C.; KRIGUEL, Karina; CARNEIRO, Charles. Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2013, Goiânia, GO. Anais... Goiânia, 2013. 1 CD-ROM
3. WAGNER, Luiz G.; POSSETTI, Gustavo R. C.; CARNEIRO, Charles, URBANETZ, Jair. Sistema térmico de higienização e secagem térmica de lodo de esgoto movido a energia solar e biogás. In: Congresso Sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 10, 2015, São Paulo, SP. Anais...São Paulo, 2015.
4. LOBATO, Livia C. da Silva. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. 2011. 184f. Dissertação (Doutorado em saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.