

## Desenvolvimento de um secador solar utilizado na secagem de lodos provenientes de processos de biodigestão

TEIXEIRA, M.M.<sup>1</sup>, SILVA, D.F.<sup>2</sup>, MOREJON, C.F.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Químico, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua da Faculdade 2550, Caixa Postal 520, CEP 85903-000, Toledo/PR. E-mail: [marcelomagnot@hotmail.com](mailto:marcelomagnot@hotmail.com)

<sup>2</sup>Engenheira Ambiental, Mestranda em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua da Faculdade 2550, Caixa Postal 520, CEP 85903-000, Toledo/PR. E-mail: [diani.engambiental@gmail.com](mailto:diani.engambiental@gmail.com)

<sup>3</sup>Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua da Faculdade 2550, Caixa Postal 520, CEP 85903-000, Toledo/PR. E-mail: [camilo@unioeste.br](mailto:camilo@unioeste.br)

### RESUMO

O objetivo principal do trabalho foi o desenvolvimento de um secador acionado por energia solar empregado na secagem de lodos resultantes dos processos de biodigestão de resíduos domésticos. Para tal fim, foram realizados o projeto e a construção de um secador solar em escala piloto e o monitoramento do comportamento da temperatura no interior e exterior do equipamento visando a avaliar a eficiência do processo de secagem. Os resultados revelaram a obtenção de um equipamento versátil e efetivo na secagem de lodos provenientes de processos de biodigestão de resíduos domésticos. As temperaturas obtidas comprovaram a eficiência do secador solar, alcançando valores médios de 46 °C nos horários de máxima irradiação solar.

**Palavras-chave:** construção, temperatura, resíduos domésticos.

### ABSTRACT

#### Development of a solar dryer for drying sludge derived from anaerobic digestion processes

This study aimed to develop a solar-powered dryer for drying sludge resulting from anaerobic digestion processes of household waste. For this, we designed a project and built a solar dryer in pilot scale, as well as the monitoring of the temperature behavior both inside and outside the equipment in order to evaluate the efficiency of the drying process. The results presented a versatile and effective equipment for drying sludge derived from anaerobic digestion processes of household waste. The temperatures found proved the efficiency of the solar dryer, reaching an average of 46 °C in the periods of maximum solar irradiation.

**Keywords:** building, temperature, household waste.

### INTRODUÇÃO

Os biodigestores são reatores anaeróbios alimentados com biomassa, que por meio do processo de digestão anaeróbia degradam o material orgânico diluído em água, tendo como produtos finais o lodo digerido ou biofertilizante, e o biogás, o qual tem como principais componentes, o metano e o gás carbônico, sendo ambos os resíduos potencialmente rentáveis do ponto de vista econômico (RANZI & ANDRADE, 2004).

Segundo Godoy Júnior *et al.* (2005), o biogás geralmente é aproveitado *in situ*, a partir de sistemas de cogeração de energia podendo ser utilizado em sistemas de aquecimento ou resfriamento e também no fornecimento de energia elétrica. Quanto ao lodo, trata-se de um resíduo de toda matéria orgânica já decomposta por bactérias, devido ao elevado teor de nutrientes em sua composição possui grande aplicabilidade como adubo orgânico promovendo a melhoria na fertilidade do solo (SILVA *et al.*, 2012). A transformação do lodo em adubo orgânico exige a remoção do excesso de umidade do resíduo, para tal fim existem vários

processos e equipamentos como, por exemplo, a utilização de um secador (MALDONADO *et al.*, 2009).

Em um secador, a força motriz para a transferência de massa no equipamento é a diferença de concentrações, entre o sólido ou semi-sólido que se está secando e o fluido de secagem (GOMIDE, 1983), catalisada pela ação do calor, fornecido por uma corrente gasosa que eleva sua temperatura e promove a retirada de umidade do sólido (INCROPERA & DAVID, 2003). Como um parâmetro crítico de um eficiente processo de secagem, o calor utilizado pode ser proveniente de diferentes fontes como: queima de combustíveis fósseis e combustíveis orgânicos (lenha), energia elétrica, campo elétrico de alta frequência, microondas ou, até mesmo, fontes alternativas como a radiação solar (PARK *et al.*, 2007).

De acordo com Stangerlin *et al.* (2009), o funcionamento do secador movido a radiação solar é composto por um processo intermediário entre a secagem ao ar livre, onde as variáveis não são controladas e a eficiência é menor, e a secagem convencional em que as variáveis influentes são controladas e o processo é dotado de aquecimento artificial. Diversos autores (BUX *et al.*, 2001; HAQUE & LANGRISH, 2005; STANGERLIN *et al.*, 2009) indicam a secagem solar como alternativa de substituição aos métodos convencionais que apresentam elevados custos de investimento, manutenção e consumo energético.

Para que a energia solar possa ser aproveitada na secagem é necessária à condição de alta irradiação solar, o Brasil devido a sua grande área territorial e por estar localizado entre as latitudes 32° Norte e 32° Sul pode aproveitar de 84 até 100% da energia solar incidente na superfície horizontal, e até o presente, pouco se tem observado sobre a utilização deste recurso renovável (SOARES & MOREJON, 2004).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um secador acionado por energia solar empregado na secagem de lodo proveniente de processos de biodigestão anaeróbia de resíduos domésticos.

## MATERIAL E MÉTODOS

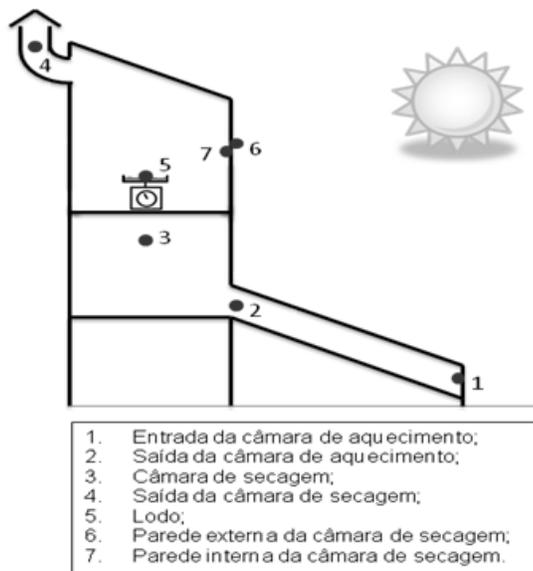
### Componentes do secador para o projeto e construção:

- a) Coletor de energia solar para aquecimento do ar: com estrutura metálica (tubos de ferro), revestida com chapa galvanizada, pintada com tinta preta fosca para melhorar a absorção do calor. A parte superior possui uma cobertura de vidro temperado que permite a passagem da irradiação solar promovendo o aquecimento do fluido de secagem. Este sistema está acoplado a uma câmara de secagem por meio de três dobradiças, as quais possibilitam a regulação da posição angular que melhor capta a incidência de irradiação solar e, ainda, facilita o transporte do secador uma vez que a câmara de aquecimento do ar pode ser dobrada até a posição vertical, junto à câmara de secagem.
- b) Câmara de secagem: promove a secagem do material. Esta câmara tem na sua estrutura tubos de ferro, revestida com chapa galvanizada, também pintada com tinta preta fosca para absorver o calor da irradiação solar. Seu interior foi polido para que o calor interno fosse irradiado para dentro da câmara. Ao longo de sua altura encontram-se quatro bandejas distribuídas com 0,2 m de distância umas das outras, nas quais se colocam os materiais para a secagem. A parte superior possui uma placa de vidro, com inclinação de 33° para a entrada da irradiação solar no interior da câmara e também possibilita a retirada do condensado. A lateral removível facilita a retirada das bandejas para manutenção e operação do sistema, uma vez que o mesmo acontece em batelada. Ainda, na mesma lateral foi incorporada uma pequena janela de observação que permite a visualização do interior do equipamento em funcionamento.

- c) Sistema de exaustão: Remove o ar úmido. Confeccionado com chapa galvanizada, acoplado na parte superior traseira da câmara de secagem. Desta forma, garante-se o controle da fluidodinâmica no interior da câmara de secagem. A parte superior possui um chapéu protetor que evita a entrada de água em eventuais dias de chuva.

### Monitoramento operacional transiente do secador solar

Avaliou-se o comportamento da temperatura nos pontos críticos do sistema, conforme ilustra o esquema da Figura 1. Nos pontos de difícil acesso (pontos 5 e 7) foi utilizado termômetro infravermelho de medição a distância, nos demais pontos foram utilizados termômetros tipo espeto.



**Figura 1** - Pontos de temperatura monitorados durante o experimento.

Para avaliar a eficiência do processo de secagem do lodo, foram utilizados 2,100 kg de resíduo, sem pré-tratamento, o qual foi disposto em uma bandeja de plástico formando uma camada de 0,65 m de comprimento, 0,2 m de largura e 0,04 m de altura. Para facilitar o procedimento operacional e evitar a perda de calor, devido a eventuais aberturas do equipamento, uma balança foi acoplada ao sistema de modo que pudesse ser observada através de um visor instalado na lateral do secador durante a fase de construção.

O acompanhamento operacional foi realizado na cidade de Toledo/PR no mês de Setembro de 2010 (inverno), em dias ensolarados com poucas nuvens no período compreendido entre 7:30 e 17:30 horas.

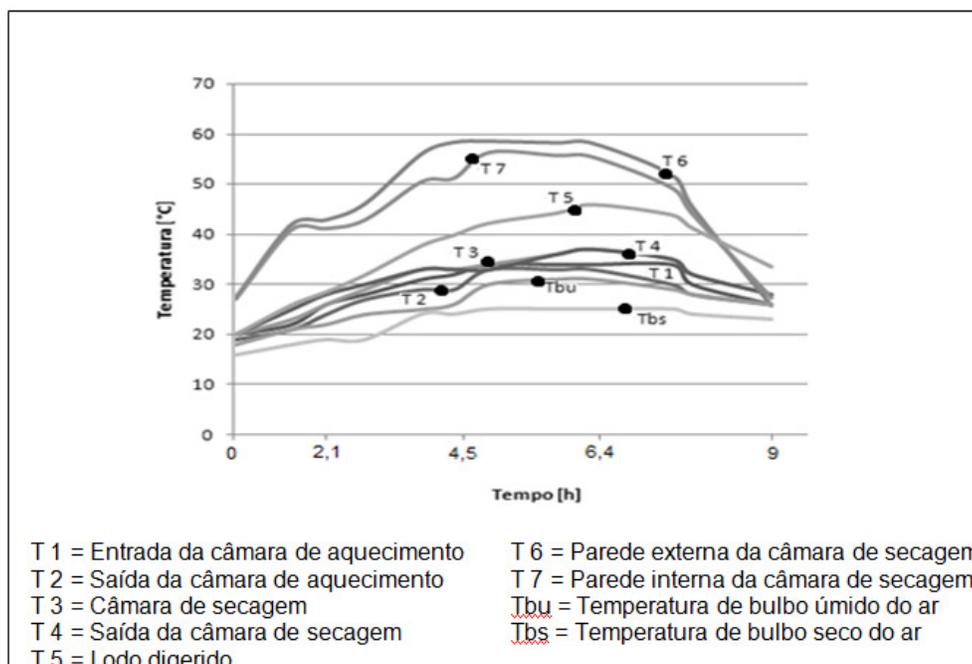
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado referente ao projeto e construção do secador em escala piloto, já descrito anteriormente, pode ser visualizado na Figura 2.



**Figura 2** - Secador solar em escala piloto projetado e construído para o estudo.

Os resultados relacionados ao monitoramento transiente das temperaturas são apresentados na Figura 3. Observa-se que no caso das temperaturas das paredes, estas atingiram valores médios de 60 °C. Já o lodo digerido obteve um pico máximo de 46 °C. O coletor de energia solar (câmara de aquecimento do ar) apresentou pequenas variações (entre 19 °C e 34 °C). Constatou-se que sempre há uma rápida diminuição da temperatura após as 16:00 horas, período em que cessa a incidência de irradiação solar, e que no final do processo a temperatura do lodo é sempre maior que a temperatura do ar devido a contribuição de calor pelo coletor de energia solar e pela parte superior da câmara de secagem.



**Figura 3** - Variação transiente das temperaturas nos pontos monitorados durante a operacionalização do secador solar.

Feiden *et al.* (2008) obtiveram resultados próximos empregando equipamento similar para a secagem de frutas cristalizadas, os valores máximos de temperatura alcançados foram de 48°C na parte interna do secador solar e 40 °C na mesa de secagem. Martins *et al.* (1990) avaliaram as temperaturas no interior de um secador solar utilizado na desidratação de peixes, o equipamento atingiu a temperatura média de 36 °C durante o período de alta incidência solar.

Os resultados obtidos foram satisfatórios comprovando a potencialidade do equipamento desenvolvido para a secagem de lodo proveniente de processos de biodigestão de resíduos domésticos. O monitoramento transiente das temperaturas demonstrou também a viabilidade do emprego do secador solar em substituição aos tradicionais leitos de secagem, principalmente no que se refere ao menor tempo necessário para efetiva secagem do lodo e a redução no espaço destinado ao acondicionamento do resíduo.

## CONCLUSÕES

Com relação ao secador projetado e construído, pode-se concluir que seu desempenho foi satisfatório, uma vez que ocorreu a secagem do lodo como era previsto devido à obtenção de valores elevados de temperatura no interior do mesmo. Além disto, constatou-se que a execução do projeto gerou um equipamento versátil e de grande utilidade para o estudo de cinéticas de secagem a partir da utilização de energia solar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUX, M.; BAUER, K.; MUHLBAUER, W.; CONRAD, T. Solar-assisted drying of timber at industrial scale. **The Southern African Forestry Journal**, South Africa, v.192, n.1, p.73-78, 2001.

SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. A. P.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Revista Química Nova**, São Paulo, v.35, n.1, p.35-40, 2012.

FEIDEN, A.; FIDELYS, Z.; BASUALDO, L.; PERERIRA, R.S.B.; GALVANI, F.; CAMPOLIN, I.A.; FEIDEN, A. Avaliação da temperatura de dois secadores solares para a produção de doces cristalizados na comunidade de Antônio Maria Coelho, Corumbá-MS. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta-RS, v.3, edição especial, p.31-34, 2008.

GODOY JÚNIOR, E.; SILVEIRA, J.L.; GIACAGLIA, G.E.O. Studies on technical and economical viability of biodigesters associated to water reuse and energy cogeneration. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté-SP, v. 11, n. 2, p. 31-38, 2005.

GOMIDE, R. **Operações Unitárias**. São Paulo: FCA, 1983. 293p.

HAQUE, M.N.; LANGRISH, T.A.G. Assessment of the Actual Performance of an Industrial Solar Kiln for Drying Timber. **Drying Technology: An International Journal**, Philadelphia, v.23, n.7, p.1541-1553, 2005.

INCROPERA, F.P.; DAVID, P.D. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 698p.

MALDONADO, A.C.D.; FINZER, J.R.D.; LIMA VERDE, J.R. Secagem de lodo de reator anaeróbio em secador rotativo com recheio de inertes. **Fazu em Revista**, Uberada, n.6, p.53-82, 2009.

MARTINS, S.C.S. *et al.* Avaliação da eficiência de um secador solar rústico em relação as características químicas e microbiológicas da tilápia do Nilo (*Sarotherodon niloticus*) salgada e seca. **Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v.8, n.2, p.99-103, 1990.

PARK, K.J.B.; ALONSO, L.F.T; CORNEJO, F.E.P.; FABBRO, I.M.D.; PARK, K.J. Seleção de secadores: fluxograma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.9, n.2, p.179-202, 2007.

RANZI, T.J.D.; ANDRADE, M.A.N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: ENCONTRO DE ENERGIA DO MEIO RURAL, 4, 2004, Campinas. **Anais...** Campinas:SP, 2004. p.1-12.

SOARES, F.R.; MOREJON, C.F.M. Estudo observacional da radiação solar em Toledo-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza Ceará. **Anais...** Fortaleza, CE: SBMET, 2004.

STANGERLIN, D.M.; SANTINI, E.J.; SUSIN, F.; MELO, R.R.; GATTO, D.A.; HASELEIN, C.R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.4, p.461-472, 2009.