

II-437 – DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DO LODO PROVENIENTE DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Karina Kriguel⁽¹⁾

Técnica em Química Industrial pelo Centro Estadual de Educação Profissional de Curitiba, Tecnóloga em Processos Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestranda em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da UFPR, em parceria com o SENAI e a Universidade de Stuttgart. Técnica Química da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento 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 em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Engenheiro da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento 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).

Jasmini Mikaela Machado

Técnica em Química pelo Centro Estadual de Educação Profissional de Curitiba. Estagiária Técnica em Química da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Charles Carneiro

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências do Solo e Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pós-doutor em Engenharia e Ciência da Água pela UNESCO-IHE, Holanda. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento 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) e do Curso de Pós-Graduação em Economia e Meio Ambiente da UFPR.

Karen Juliana do Amaral

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Pesquisadora da Universidade de Stuttgart, Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and Solid Waste Management (ISWA), Alemanha. Professora titular do Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI).

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas 151 – Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Companhia de Saneamento do Paraná - Tarumã - Curitiba - PR - CEP: 82.800-130 - Brasil - Tel: +55 (41) 3330-7263 - e-mail: karinak@sanepar.com.br

RESUMO

O lodo é um subproduto do processo de tratamento de esgoto composto basicamente por matéria orgânica, água, nutrientes e microorganismos patogênicos e que precisa ser gerenciado de forma ambientalmente correta, sanitariamente segura e economicamente viável. A determinação das propriedades físicas, químicas e biológicas do lodo é imprescindível para a escolha do processo a ser adotado em seu tratamento, bem como para definir sua destinação final. A secagem térmica e a pasteurização são técnicas que, além de promover a higienização, reduzem o volume do lodo. Para esses processos, a difusividade térmica é uma propriedade física importante para o dimensionamento de equipamentos, bem como para compreender como o calor flui pelo lodo, quando o material é submetido a um processo de aquecimento que visa higienizá-lo. No entanto, os trabalhos sobre a difusividade térmica do lodo de esgoto ainda são incipientes, sobretudo aqueles que se referem a lodos gerados no Brasil. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo determinar experimentalmente a difusividade térmica de lodos provenientes do tratamento anaeróbico de esgoto doméstico, considerando a influência do teor de sólidos totais presentes em sua composição. Para tanto, inicialmente, coletaram-se 10 litros de lodo oriundo dos reatores anaeróbios de uma estação de tratamento de esgoto doméstico localizada em Curitiba, Paraná. Por meio de um processo de secagem em ambiente controlado, obtiveram-se amostras de lodo contendo diferentes teores de sólidos totais. Na sequência, mensurou-se a difusividade térmica dessas amostras, considerando-as como meios porosos com baixa condutividade térmica. Os seguintes valores de difusividade térmica foram obtidos: $(2,02 \pm 0,02)$, $(1,95 \pm 0,02)$, $(1,84 \pm 0,02)$,

($1,68 \pm 0,09$) e ($1,25 \pm 0,02$) $\text{cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ para as amostras de lodo contendo teores de 5,3; 17,4; 41,5; 55,0; e; 90,0% de sólidos totais, respectivamente. Esses resultados demonstraram que a difusividade térmica do lodo de esgoto depende do teor de sólidos totais presentes em sua composição, que essa relação não é linear e que o aumento do teor de sólidos dificulta o fluxo de calor pelo material.

PALAVRAS-CHAVE: Difusividade térmica, secagem térmica, lodo, estação de tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de esgoto tem a finalidade de reduzir o teor de poluentes e contaminantes presentes em sua composição, de forma a atender os requisitos mínimos exigidos para o corpo hídrico receptor. Esse processo gera subprodutos que precisam ser gerenciados de forma ambientalmente correta, sanitariamente segura e economicamente viável. Um desses subprodutos é o lodo, o qual é composto basicamente por matéria orgânica, água, nutrientes e microorganismos patogênicos (ANDREOLI *et al.* 2001, JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O gerenciamento do lodo, contudo, não é trivial e pode representar mais da metade dos custos operacionais de uma planta (ANDREOLI *et al.*, 2001). Por isso, nos últimos anos, alternativas para o manejo e para a disposição final do lodo vêm sendo amplamente discutidas no setor de saneamento. Dentre essas alternativas destaca-se a reciclagem agrícola, a qual somente se viabiliza depois que os microorganismos patogênicos presentes no lodo são eliminados ou significativamente reduzidos por meio de um processo de higienização (ANDREOLI *et al.*, 2001).

A secagem térmica e a pasteurização têm sido apontadas como técnicas capazes de otimizar rotinas e minimizar custos operacionais inerentes ao gerenciamento do lodo. Isso porque essas técnicas promovem simultaneamente a redução do volume e a higienização do material, dispensando o uso de produtos químicos (ALVES, 2001; POSSETTI *et al.*, 2012).

No entanto, o dimensionamento de equipamentos de secagem térmica e de pasteurização depende do conhecimento prévio de algumas propriedades térmicas intrínsecas ao material que se pretende processar. A difusividade térmica é uma dessas propriedades e indica a capacidade de transmissão de calor inerente a um determinado material, sendo expressa pela relação entre sua condutividade térmica e seu calor específico por unidade de volume (SILVA *et al.*, 2001). Logo, a difusividade térmica é imprescindível para compreender como o calor flui pelo lodo, quando ele é submetido a um processo de aquecimento que visa higienizá-lo.

Cabe destacar, porém, que poucos trabalhos sobre a difusividade térmica do lodo foram até então reportados na literatura, sobretudo aqueles que se referem a lodos gerados no Brasil. Além disso, os resultados relatados apresentam valores divergentes e não são acompanhados de uma faixa de incerteza, sendo, portanto, insuficientes para o adequado dimensionamento de sistemas de tratamento térmico de lodo.

Telles *et al.* (2000), por exemplo, determinaram que a difusividade térmica do lodo de esgoto contendo 0,15% de sólidos totais é $32,7 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$. Esse valor foi reduzido para $5,45 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ para o lodo com teor de 5,0% de sólidos totais. Por sua vez, Silva *et al.* (2001) avaliaram lodos de esgoto contendo concentrações de sólidos totais variando entre 0,5 e 20,0%. Nesse estudo os autores encontraram difusividades térmicas variando entre $1,98$ e $1,27 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$. Apesar desses trabalhos sugerirem que existe uma relação entre a difusividade térmica e o teor de sólidos totais do lodo, eles não a explicitam com confiabilidade e não revelam um modelo matemático para tal. Adicionalmente, esses trabalhos contemplam uma faixa muito restrita de teores sólidos totais do lodo. Por isso, estudos sobre a difusividade térmica do lodo ainda se fazem necessários, em especial para o material oriundo do tratamento anaeróbico do esgoto doméstico e com diferentes teores de sólidos totais.

OBJETIVO DO TRABALHO

Quantificar experimentalmente a difusividade térmica do lodo proveniente do tratamento anaeróbico do esgoto doméstico, considerando diferentes teores de sólidos totais em sua composição, com o intuito de estabelecer

parâmetros que possibilitem a simulação e o dimensionamento acurado de sistemas que utilizem a temperatura como agente para promover a secagem e a higienização do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, coletaram-se aproximadamente 10 L de lodo oriundo dos reatores anaeróbios de uma estação de tratamento de esgoto doméstico localizada no município de Curitiba – Paraná.

Em seguida, em ambiente laboratorial, fracionou-se o volume total de lodo em recipientes de vidro contendo 500 mL de lodo cada. Os recipientes contendo lodo foram inseridos em uma estufa (marca Quimis, modelo Q317-52) operando a 103 °C. Esse procedimento foi realizado com o intuito de remover, parcialmente e em condições controladas, a água contida no lodo e de forma a proporcionar amostras do mesmo lodo com diferentes teores de sólidos totais. Para tanto, os recipientes foram mantidos no interior da estufa em distintos intervalos de tempo, sendo que o tempo máximo de permanência foi de 48 horas.

Com esse procedimento foi possível obter amostras de lodo com os seguintes teores de sólidos totais: 5,3; 17,4; 41,5; 55,0; e, 90,0%. Para determinar o teor de sólidos totais das amostras de lodo utilizou-se um medidor de umidade termogravimétrico (marca Sartorius, modelo MA35), com resolução de 0,1%.

A difusividade térmica dessas amostras de lodo foram determinadas de acordo com o método proposto por Chung e Jackson (1954) e adaptado por Clivati (1991), considerando-as como meios porosos com baixa condutividade térmica.

Para tanto, alíquotas dessas amostras de lodo foram individualmente introduzidas em um tubo de alumínio com $(15,20 \pm 0,01)$ cm de comprimento, $(1,90 \pm 0,01)$ cm de diâmetro interno e $(0,16 \pm 0,01)$ cm de espessura. A base desse tubo foi vedada com uma borracha de silicone. Um termopar do tipo J foi também inserido no tubo com o intuito de mensurar a temperatura do lodo, com resolução de 0,1 °C. Os terminais desse termopar foram acoplados a um aquisitor de dados (marca Novus, FieldLogger), o qual foi configurado para registrar as medições de temperatura a cada 5 segundos.

O tubo de alumínio foi incorporado a uma haste metálica por meio de uma presilha e de uma garra, de tal forma que fosse possível deslocá-lo verticalmente. Em um primeiro momento, manteve-se o conjunto suspenso e em contato apenas com o ar a $(28,66 \pm 0,45)$ °C e com $(57,24 \pm 3,61)\%$ de umidade relativa. A temperatura do lodo foi mensurada nessa condição ao longo de 60 segundos. Após, promoveu-se o aquecimento do tubo de alumínio, e, por consequência, do lodo contido em seu interior, por meio de sua imersão no reservatório de água de um banho térmico (marca Nova Ética, modelo 521/4D) programado para operar a $(45,4 \pm 0,2)$ °C. Ao longo de 200 segundos, monitorou-se o aumento da temperatura do lodo. Além disso, simultaneamente, mensurou-se a temperatura da água contida no reservatório do banho térmico com o auxílio de um termopar semelhante aquele acima descrito. A Figura 1 ilustra uma foto do arranjo experimental montado para avaliar as amostras de lodo.

A difusividade térmica (D) das amostras de lodo foi, então, calculada por meio da seguinte equação (CLIVATI, 1991):

$$D = \frac{2,303 \cdot b \cdot r^2}{\chi^2} \quad (1)$$

em que, r é o raio do tubo de alumínio; χ é uma constante com valor igual a 2,405; e, b é o coeficiente angular da reta ajustada ao logaritmo, na base 10, da seguinte função ($Y = Y(t)$):

$$Y(t) = \frac{T_B - T(t)}{T_B - T_0} = A \cdot 10^{-bt} \quad (2)$$

em que, T_B é a temperatura da água contida no reservatório do banho térmico, T_0 é a temperatura inicial da amostra de lodo, T é a temperatura da amostra do lodo durante o processo de aquecimento no instante de tempo t e $\log A$ é o coeficiente linear da reta ajustada aos resultados da operação $\log Y$. A Figura 2 ilustra um

diagrama esquemático do procedimento matemático adotado para calcular a difusividade térmica das amostras de lodo de esgoto a partir de dados obtidos experimentalmente.

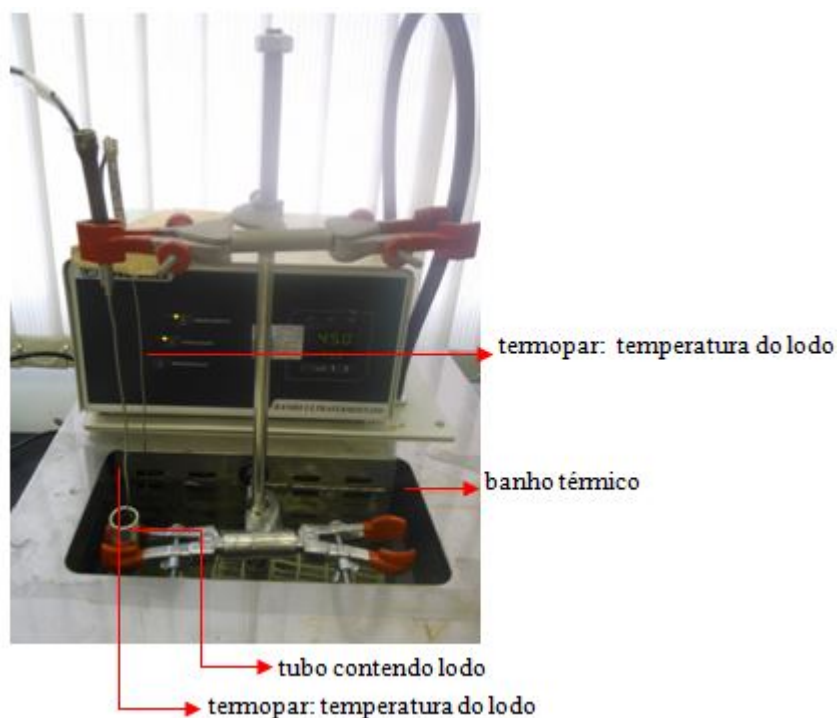


Figura 1: Foto do arranjo experimental montado para mensurar a difusividade térmica do lodo de esgoto.

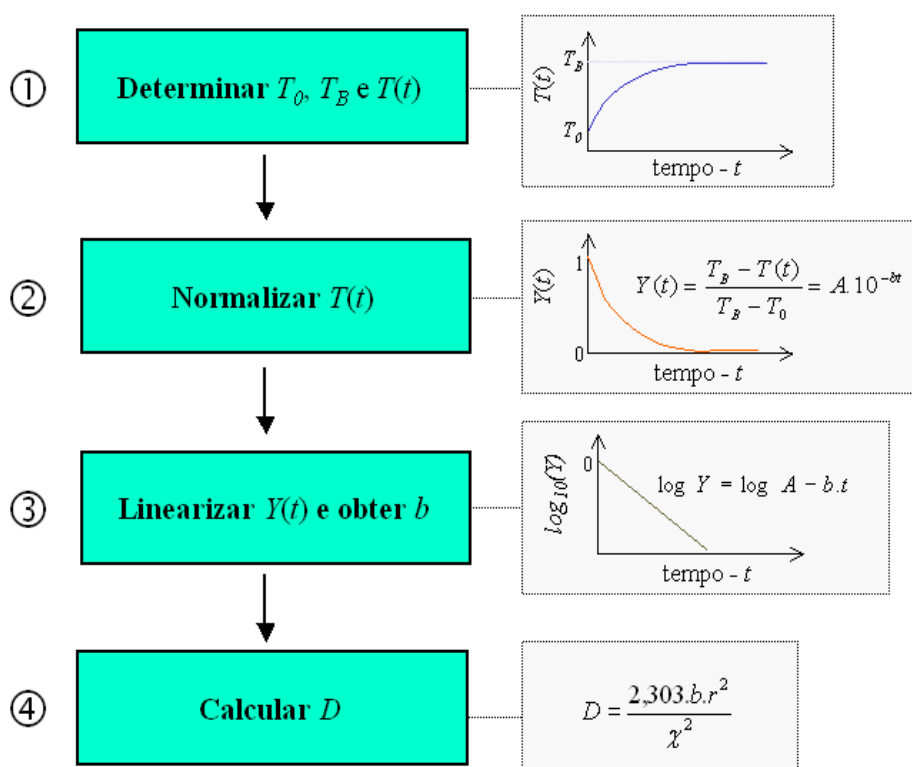


Figura 2: Diagrama esquemático do procedimento matemático adotado para determinar a difusividade térmica de cada amostra de lodo de esgoto avaliada neste estudo.

Os procedimentos experimentais para determinação da difusividade térmica das amostras de lodos aqui consideradas foram realizados em triplicata, em condições de reprodutibilidade. Os dados obtidos experimentalmente foram tratados no programa OriginPro[®] versão 8.0, a partir do qual foram gerados gráficos, linearizações e regressões, assim como foram calculadas a média e a incerteza padrão combinada (com nível de confiança de 68,3%) para as difusividades térmicas obtidas para cada amostra de lodo sob investigação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados das medições de temperatura das amostras de lodos contendo diferentes teores de sólidos totais em função do tempo quando submetidas ao processo de aquecimento com auxílio do banho térmico. De modo geral, observou-se que o aquecimento das amostras de lodo foi não linear e que as taxas de aquecimento foram distintas.

As amostras de lodo contendo até 55,0% de sólidos totais atingiram temperaturas próximas a temperatura de equilíbrio, ditada pela temperatura da água no reservatório do banho térmico (cerca de 45 °C), em pouco mais de 200 segundos. Por outro lado, para o lodo contendo 90,0% sólidos totais foi verificado um processo de aquecimento mais demorado em relações às demais amostras analisadas, pois o intervalo de tempo para atingir a temperatura de equilíbrio foi superior a 300 segundos.

Segundo Clivati (1991) para o método utilizado, as amostras “secas” chegam à temperatura de equilíbrio em torno de 240 a 360 segundos, enquanto amostras “úmidas” atingem tal temperatura em torno de 180 a 210 segundos. Portanto, os comportamentos verificados neste estudo foram condizentes com aquele preconizado na literatura.

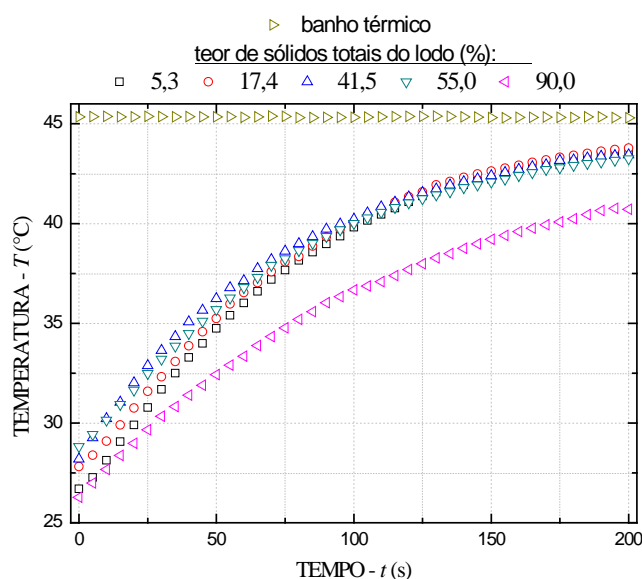


Figura 3: Temperaturas das amostras de lodo de esgoto contendo diferentes teores de sólidos totais durante o processo de aquecimento controlado com auxílio de um banho térmico configurado para operar a $(45,4 \pm 0,2)$ °C.

A Figura 4 apresenta os dados de medição de temperatura das amostras de lodo em função do tempo, normalizados de acordo com a equação 2. Um comportamento não linear e decrescente foi observado para todas as amostras de lodo, sendo que as taxas de decaimento ($-b$) foram diferentes entre si e dependentes do teor de sólidos totais intrínseco à amostra de lodo sob análise.

Esses comportamentos foram linearizados com o auxílio da função logaritmo na base 10, conforme ilustra a Figura 5. Aos pontos dessa figura foram ajustadas funções lineares, sendo obtidos coeficientes de correlação maiores que 0,99. Os coeficientes angulares das retas ajustadas representaram os valores absolutos das taxas de decaimento, possibilitando, por conseguinte, a determinação de diferentes valores de difusividade térmica do

lodo em função do teor de sólidos presente em sua composição, a partir do uso da equação 1. Esses resultados estão sumarizados na Tabela 1 e na Figura 6.

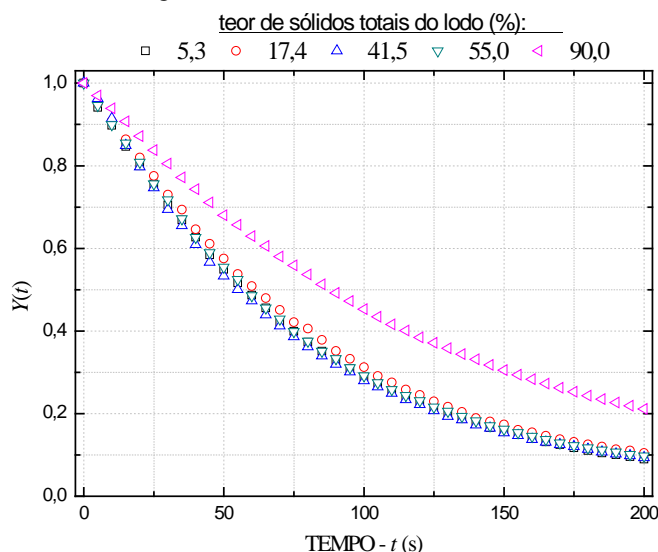


Figura 4: Temperaturas das amostras de lodo de esgoto contendo diferentes teores de sólidos totais durante o processo de aquecimento controlado, normalizadas de acordo com a equação 2.

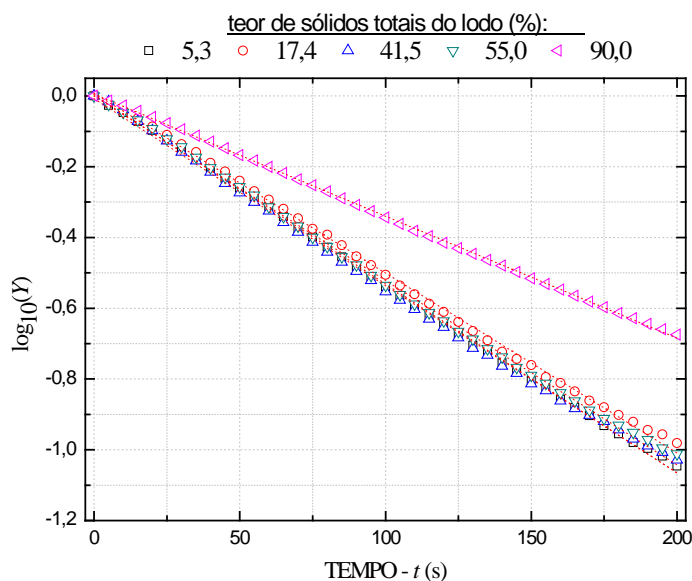


Figura 5: Temperaturas das amostras de lodo de esgoto contendo diferentes teores de sólidos totais durante o processo de aquecimento controlado, normalizadas de acordo com a equação 2 e linearizadas a partir da função logaritmo na base 10. As linhas pontilhadas representam as retas ajustadas aos pontos experimentais para cada amostra de lodo avaliada.

Tabela 1: Difusividade térmica das amostras de lodo contendo diferentes teores de sólidos totais.

Teor de sólidos totais - ST (%)	Difusividade térmica - D ($\text{cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$)
$5,3 \pm 0,1$	$2,02 \pm 0,02$
$17,4 \pm 0,1$	$1,95 \pm 0,02$
$41,5 \pm 0,1$	$1,84 \pm 0,02$
$55,0 \pm 0,1$	$1,68 \pm 0,09$
$90,0 \pm 0,1$	$1,25 \pm 0,02$

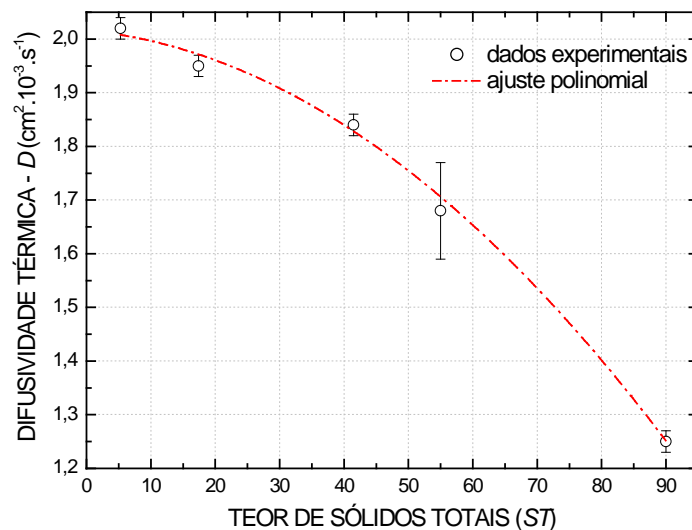


Figura 6: Difusividade térmica das amostras de lodos em função do teor de sólidos totais.

De modo geral, verificou-se que a difusividade térmica do lodo diminui com o aumento do teor de sólidos totais nele contido e que essa diminuição não é linear. A amostra de lodo com teor de sólidos de totais de 90,0% apresentou a menor difusividade térmica ($1,25 \pm 0,02$) $\text{cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ dentre aquelas obtidas neste estudo, enquanto a amostra de lodo com 5,3% de sólidos totais exibiu a maior difusividade térmica ($2,02 \pm 0,02$) $\text{cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ dentre as aquelas que foram determinadas. Dessa maneira, a difusividade térmica reportada por Telles *et al.* (2000) para o lodo contendo 5% de sólidos totais é cerca de 2,6 vezes maior que aquela aqui obtida para a amostra de lodo contendo teor de sólidos aproximadamente igual. Por sua vez, os valores reportados por Silva *et al.* (2001) para a faixa de concentrações entre 5,0 e 20,0% foram cerca de 1,5 vezes menores que aqueles aqui obtidos para amostras no mesmo intervalo de concentrações.

A diminuição da difusividade térmica do lodo com o aumento do teor de sólidos totais presentes em sua composição indica que os sólidos totais separados por vazios preenchidos com ar dificultam o fluxo de calor pelo material e que a água atua como um agente facilitador desse fluxo, pois maximiza a área de contato entre as partículas sólidas (CLIVATI, 1991). Isso ocorre porque a condutividade térmica do ar ($0,06 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) é cerca de 30 vezes menor que aquela da água ($1,40 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) (CLIVATI, 1991). Assim, em lodos contendo “baixas” concentrações de sólidos totais a difusividade térmica é basicamente controlada pela água que é um bom condutor de calor (SILVA *et al.*, 2001). No entanto, para lodos com “altas” concentrações de sólidos totais, a difusividade térmica passa a ser influenciada por características como as quantidades de sólidos voláteis, de sólidos fixos e de metais (SILVA *et al.*, 2001).

Um polinômio de segunda ordem foi ajustado aos pontos obtidos experimentalmente, revelando um coeficiente de determinação maior que 0,997. Dessa maneira, a difusividade térmica do lodo avaliado neste trabalho (D), dada em $\text{cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$, em função do teor de sólidos totais (ST) presentes em sua composição, expresso em %, pode ser descrita pelo seguinte modelo matemático:

$$D = a_0 + a_1 \cdot ST + a_2 \cdot ST^2 \quad (3),$$

em que, $a_0 = (2,02 \pm 0,02) \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$; $a_1 = (-1,15 \times 10^{-3} \pm 1,37 \times 10^{-3}) \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \%^{-1}$; e, $a_2 = (-8,17 \times 10^{-5} \pm 1,36 \times 10^{-5}) \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \%^{-2}$.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que a difusividade térmica do lodo de esgoto depende do teor de sólidos totais presentes em sua composição, que essa relação não é linear e que o aumento do teor de sólidos dificulta o fluxo de calor pelo material.

As difusividades térmicas experimentalmente determinadas para amostras de lodo oriundas de reatores anaeróbios alimentados com esgoto doméstico contendo 5,3, 17,4, 41,5, 55,0 e 90,0% de sólidos totais foram, respectivamente: $(2,02 \pm 0,02)$, $(1,95 \pm 0,02)$, $(1,84 \pm 0,02)$, $(1,68 \pm 0,09)$ e $(1,25 \pm 0,02) \text{ cm}^2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$.

Esses dados permitiram a obtenção inédita de um modelo matemático não linear capaz de descrever a relação entre a difusividade térmica do lodo de esgoto doméstico de origem anaeróbia e o teor de sólidos totais presentes em sua composição, para uma ampla faixa de concentrações de sólidos totais.

Dessa forma, dirimiram-se algumas dúvidas acerca de dados divergentes relatados na literatura, gerando-se parâmetros mais precisos e acurados para a simulação e o dimensionamento de sistemas que utilizem a temperatura como agente para promover a secagem e a higienização de lodos, em especial de equipamentos de secagem térmica e de pasteurização.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio operacional da Sanepar, em especial aos colaboradores da Unidade de Serviços de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba (USEG) lotados na ETE Atuba Sul e ETE Padilha Sul.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo. 164 p. São Paulo, 2001.
2. ANDREOLI, C. V., SPERLING, M. V., FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais; Companhia de Saneamento do Paraná. Belo Horizonte, 2001.
3. CHUNG, P. K., JACKSON, M. L. Thermal diffusivity of low conductivity materials. *Industrial and Engineering Chemistry*, v. 46, n.12, p. 2563-2566, 1954.
4. CLIVATI, A. A. Método proposto para determinação da difusividade térmica de meios porosos. 92 f. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia na área de Concentração de Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.
5. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro, 2011.
6. POSSETTI, G. R. C., JASINSKI, V. P., ANDREOLI, C. V., BITTENCOURT, S., CARNEIRO, C. Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETEs de médio e pequeno porte. XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2012.
7. SILVA, A. L. B., PASSAMANI, F. R. F., SPAVIER, L. C., CRIBARI, B. S., GONÇALVES, R. F. Influência da difusividade térmica na eficiência da pasteurização de lodos de esgoto. 21^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001.
8. TELLES, C. R., ANDREOLI, C. V., BERNERT, P. M. Difusividade térmica do lodo de esgoto. Operacionalização das alternativas de secagem e higienização do lodo de esgoto. Prosab 2, Tema 4, Sanepar, Curitiba, 2000.