

II-333 - DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE SECAGEM DO LODO E DA ESCUMA PROVENIENTES DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Karina Kriguel⁽¹⁾

Tecnóloga em Processos Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre pelo Programa Internacional de Mestrado Profissional Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) pela 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 e Doutor em Ciências pela UTFPR. 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).

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) 3777-7293 - e-mail: karinak@sanepar.com.br

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) têm por finalidade remover as impurezas presentes nos efluentes. No entanto, esses processos de tratamento geram resíduos, tais como o lodo e a espuma. O gerenciamento desses materiais pode representar mais da metade dos custos operacionais de uma planta. Por isso, alternativas para o manejo e a disposição final vêm sendo discutidas no setor de saneamento. A secagem térmica é uma técnica que promove a higienização e a redução do volume dos materiais, porém a quantidade de água influencia no processo de secagem desses materiais. A curva de secagem é importante para avaliar a forma com que a fração de massa perde umidade ao longo do processo de aquecimento de um determinado material. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar experimentalmente as curvas de secagem do lodo e da espuma provenientes do tratamento anaeróbico do esgoto doméstico em dois diferentes patamares térmicos, com o intuito de auxiliar na compreensão e na otimização de processos de secagem térmica. Para a determinação da curva de secagem, utilizou-se um medidor de umidade termogravimétrico operando a 103 °C e a 140 °C. As curvas de secagem e taxas de variação dos teores de sólidos totais em função do tempo de secagem para o lodo e para a espuma apresentaram comportamento similares e relação de sólidos fixos e sólidos voláteis semelhantes, pois ambos os materiais são provenientes do mesmo processo de tratamento de efluentes. Além disso, as curvas de secagem mostraram que os tempos de secagem são dependentes da temperatura e que a 140 °C a secagem apresentou ser mais rápida que a 103 °C. Assim, em processos que possuem elevada quantidade de lodos e escumas destinados para a secagem térmica, um aumento na temperatura pode ser interessante para reduzir o tempo de secagem, desidratar uma maior quantidade de material e, por sua vez, facilitar o manejo e a disposição final desses resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Curva de secagem, Secagem térmica, Estação de tratamento de esgoto, Lodo, Espuma.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) têm por finalidade remover impurezas presentes nos efluentes que nelas chegam e assim produzir efluentes com características que respeitem a qualidade do corpo hídrico receptor, a capacidade de autodepuração do rio e os requisitos legais outorgados (ANDRADE; NETO;

CAMPOS, 1999). Esses processos geram, no entanto, resíduos, tais como o lodo e a espuma que precisam ser gerenciados adequadamente em prol da saúde pública e da conservação do meio ambiente.

O gerenciamento desses materiais pode representar mais da metade dos custos operacionais de uma ETE e está vinculada a qualidade de esgoto a ser tratado, tipo de tratamento, processamento e destinação final (FERNANDES *et al.*, 2001). Por isso, nos últimos anos, alternativas para o manejo e para a disposição final de lodos e espumas vêm sendo discutidas no setor de saneamento.

A secagem térmica tem sido apontada como a técnica capaz de otimizar rotinas e minimizar custos operacionais inerentes ao gerenciamento desses materiais. Isso porque essa técnica promove simultaneamente a redução do volume e a higienização dos materiais, dispensando o uso de produtos químicos (POSSETTI *et al.*, 2015).

Segundo Von Sperling e Gonçalves (2001), a quantidade de água nos sólidos influenciam as propriedades mecânicas, o manuseio, o volume e a disposição final de lodos e espumas. A água contida nesses materiais pode ser dividida nas seguintes classes, em função da facilidade de separação: água livre, água intersticial, água superficial ou vicinal e água de hidratação ou intracelular (CHEN *et al.*, 2006; VAXELAIRE; CÉZAC, 2004; VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

A água livre não está associada aos flocos dos materiais e pode ser facilmente removida por gravidade (adensamento, flotação). A água intersticial, por sua vez, é a parcela de água que fica presa dentro de fendas e espaços intersticiais dos flocos, podendo se tornar água livre se o floco for destruído por força mecânica, pois as partículas estão unidas fisicamente por forças capilares. Já a água superficial ou vicinal refere-se a água presa à superfície das partículas por adsorção e adesão, podendo ser removida por força mecânica ou pelo uso de floculante, sem que ocorra a ruptura do floco. Por fim, a água de hidratação ou intracelular é a água ligada quimicamente às partículas de lodos ou espumas. Como essa água faz parte da fase sólida só pode ser removida por processos térmicos que promovam uma mudança no estado de agregação da água, ou seja, por meio de processos específicos de secagem (CHEN *et al.*, 2006; VAXELAIRE; CÉZAC, 2004).

Segundo Chen *et al.* (2006), a água que pode ser removida por processos de desidratação mecânica é denominada água livre e a água que permanece é chamada de água ligada. A água livre inclui verdadeiramente as águas livre e intersticial e uma parcela da água superficial, enquanto que a água ligada inclui a água intracelular e uma parcela da água superficial.

Luo *et al.* (2013) avaliaram as características da secagem térmica de lodos desidratados em digestores anaeróbios por meio de um analisador termogravimétrico. Os autores consideraram que a evaporação da umidade foi dividida em etapas, sendo a primeira etapa a da taxa de evaporação constante, onde a água livre foi reduzida. Na segunda etapa ocorreu a evaporação da água intersticial. Já na terceira etapa, a água da superfície foi perdida assim que a água intersticial foi evaporada completamente.

Cabe destacar, contudo, que os dados de curvas de secagem para lodos e espumas são pouco citados na literatura, o que mostra a necessidade de estudos sobre o assunto. A forma como ocorre a perda de umidade desses materiais, o tempo de secagem adequado em diferentes temperaturas e as vantagens quando se aplica uma temperatura mais elevada para a secagem dos materiais podem ser verificados por meio de curvas de secagem. Para tanto, deve-se considerar a faixa de teor de sólidos totais que se pretenda atingir ao final da secagem, pois dependendo do destino a ser dado aos lodos e espumas, não é necessário a secagem total dos materiais.

Diante do exposto, o levantamento de dados experimentais referente à curvas de secagem de lodos e espumas é importante para avaliar a forma com que a fração de massa desses materiais perde umidade ao longo do processo de aquecimento, auxiliando na compreensão e na otimização de seus processos de secagem térmica.

OBJETIVO DO TRABALHO

Determinar experimentalmente as curvas de secagem do lodo e da espuma provenientes do tratamento anaeróbio do esgoto doméstico, considerando dois diferentes patamares térmicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

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

Em seguida, em ambiente laboratorial, foram determinados os teores de sólidos totais, fixos e voláteis, seguindo o Standart Methods (2012), para as amostras de lodo e espuma com o auxílio de uma estufa de secagem (marca Quimis, modelo Q317-52) operando a 103 °C e de uma mufla (marca Quimis, modelo Q1000) operando a 550 °C. Colocaram-se aproximadamente 40 gramas das amostras em cápsulas de porcelanas, previamente secas em mufla, e encaminhadas para a estufa por um período de 24 horas. Após esse período, as cápsulas foram retiradas em um dessecador e ao atingirem a temperatura ambiente foram medidas as massas residuais das amostras para se obter o teor de sólidos totais.

Posteriormente as cápsulas de porcelanas contendo as amostras secas foram colocadas em uma mufla a 550 °C por período de uma hora. Após esse período, as amostras foram retiradas em um dessecador e assim que atingiram a temperatura ambiente foram medidas as massas residuais para se obter o teor de sólidos fixos e voláteis. Os resultados de sólidos totais, fixos e voláteis foram utilizados para a comparação entre o lodo e a espuma.

Determinaram-se as curvas de secagem por meio dos teores de sólidos totais em função do tempo de secagem das amostras para as temperaturas de 103 e 140 °C, utilizando uma balança termogravimétrica (marca Sartorius, modelo MA35), com resolução de 1 mg (Figura 1).

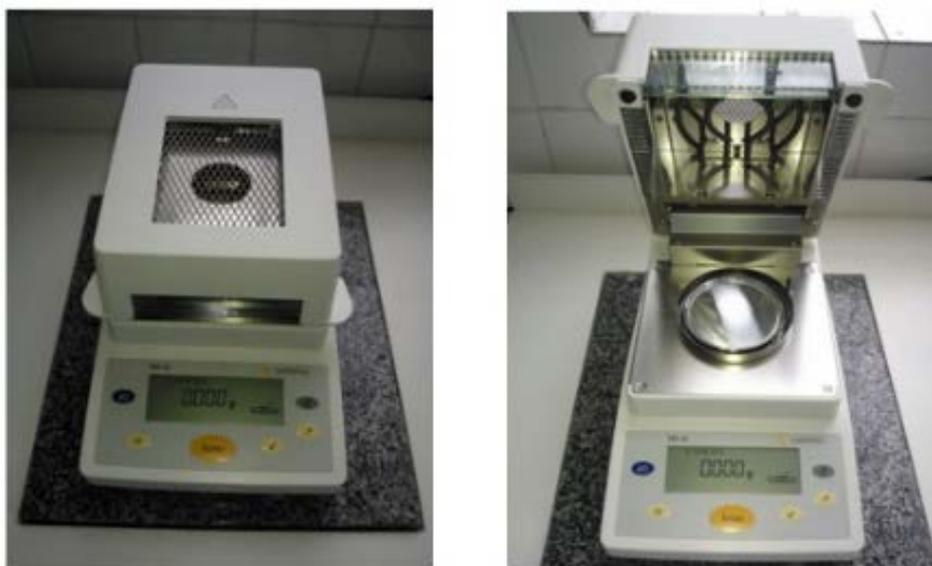


Figura 1: Foto da balança termogravimétrica

Para tanto, a balança foi preliminarmente zerada, a partir de um prato metálico previamente seco em uma estufa de secagem a 103 °C. Após, colocaram-se aproximadamente 12 g de uma determinada amostra no prato metálico, encaminhando-o para o interior da balança. Verificou-se, então, a cada dois minutos o teor de umidade das amostras sob avaliação até o resultado constante, ou seja, por um período suficiente para a retirada da umidade na amostra, restando apenas os sólidos totais. A umidade dos sólidos refere-se à quantidade de água associada ao sólido, seja na forma ligada ou livre. Ao final do experimento, ou seja, até a massa constante, o lodo, isento de umidade, possui apenas sólidos totais em sua composição. Esse procedimento foi repetido para dois diferentes patamares térmicos: 103 e 140 °C. A temperatura de 103 °C foi definida por ser a temperatura recomendada pelo Standart Methods (2012) para determinação de sólidos totais. Já o patamar de 140 °C foi escolhido por ser a temperatura máxima de análise no medidor termogravimétrico.

Os resultados foram apresentados em gráficos, os quais mostram as curvas de secagem do lodo e da espuma ao longo do tempo nas temperaturas distintas. O eixo “y” foi expresso em fração de massa (X), ou seja, refere-se

às quantidades de água que as massas de lodos e espuma perderam ao longo do processo de aquecimento e o eixo “x” representa o tempo de secagem (t), em minutos.

Para a comparação entre as amostras de lodos e espumas foi elaborado um gráfico que apresenta as taxas de variação do teor de sólidos totais ao longo do tempo por meio de derivadas numéricas ($dST.dt^{-1}$).

Os procedimentos experimentais para determinação das curvas de secagem para lodo e espuma anaeróbia foram realizados em triplicata, sob condições de reprodutibilidade. Os dados obtidos experimentalmente foram tratados no programa OriginPro[®], versão 8.0, a partir do qual foram gerados gráficos e calculadas a média e a incerteza expandida para um nível de confiança de 95%. Os dados apresentados nos gráficos representam a média dos resultados obtidos nos experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 sumariza os teores de sólidos totais presentes nas amostras de lodo e de espuma investigadas, bem como o tempo necessário para secagem total das amostras a 103 e 140 °C. Considerando a faixa de incerteza das medições, os resultados dos teores de sólidos totais para as temperaturas de 103 e 140 °C foram similares, demonstrando que durante os processos de secagem houve perda somente de água, salvaguardando as demais substâncias presentes nos materiais.

Tabela 1: Teores de sólidos e tempos para secagem total do lodo e da espuma

PARÂMETROS	LODO		ESPUMA	
	103 °C	140 °C	103 °C	140 °C
Sólidos totais (%)	5,38 ± 0,23	5,45 ± 0,10	18,38 ± 0,80	17,54 ± 0,60
Tempo para secagem total (min)	41 ± 3	24 ± 2	44 ± 6	27 ± 2

A Figura 2 apresenta as curvas de secagem dos materiais nos dois patamares de temperatura considerados. De modo geral, verificou-se que a perda da umidade das amostras de lodos e espumas ao longo do tempo é decrescente, não apresenta período de secagem constante e é não linear para ambas as temperaturas avaliadas.

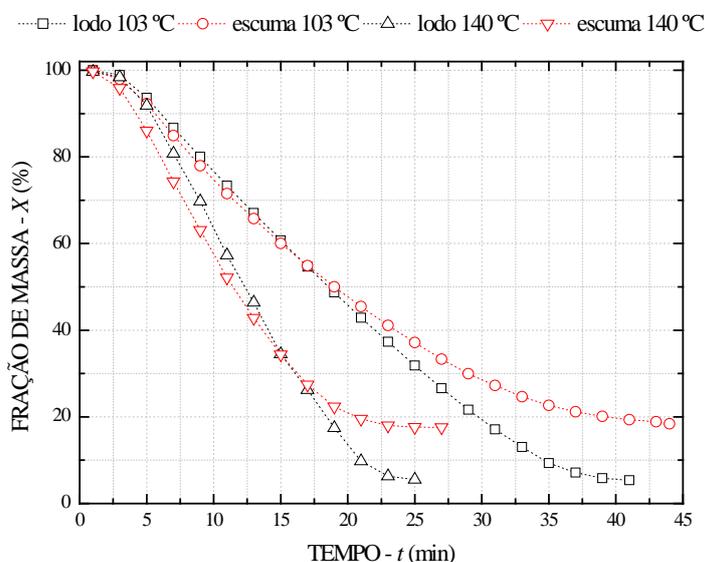


Figura 2: Curvas de secagem do lodo e da espuma

Constatou-se que a diminuição da água aconteceu mais rapidamente com aplicação de temperatura mais elevada, pois a 103 °C, o tempo necessário para a massa constante foi de (41 ± 3) minutos para o lodo e de (44 ± 6) minutos para a espuma, enquanto que a 140 °C esses intervalos de tempo foram de (24 ± 2) minutos e (27 ± 2) minutos, respectivamente. Assim, a elevação da temperatura reduziu em aproximadamente 40% o intervalo de tempo necessário para a secagem das amostras.

A Figura 3 apresenta as taxas de variação dos teores de sólidos totais em função do tempo de secagem para as amostras de lodo e de espuma. A taxa de variação é menor e, de fato, o período de secagem é mais longo a 103 °C.

Adicionalmente, observou-se que, a 103 °C, durante os primeiros sete minutos de secagem, a taxa de variação de sólidos totais foi elevada, sendo que a taxa ($dST.dt^{-1}$) variou aproximadamente -3,50 %/min, ou seja, nesse período a umidade contida nas amostras foi removida rapidamente. Após os sete minutos iniciais até o 29º minuto, as amostras apresentaram um período levemente decrescente, sendo as taxas variando de -2,38 %/min para o lodo e de -1,50 %/min para a espuma, demonstrando que a umidade contida nas amostras estava sendo removida com mais dificuldade. Após esse período, as amostras passaram por uma nova etapa decrescente até a remoção total da umidade, apresentando taxas de variação entre -2,14 e -0,24 %/min e entre -1,32 e -0,46 %/min para o lodo e espuma, respectivamente.

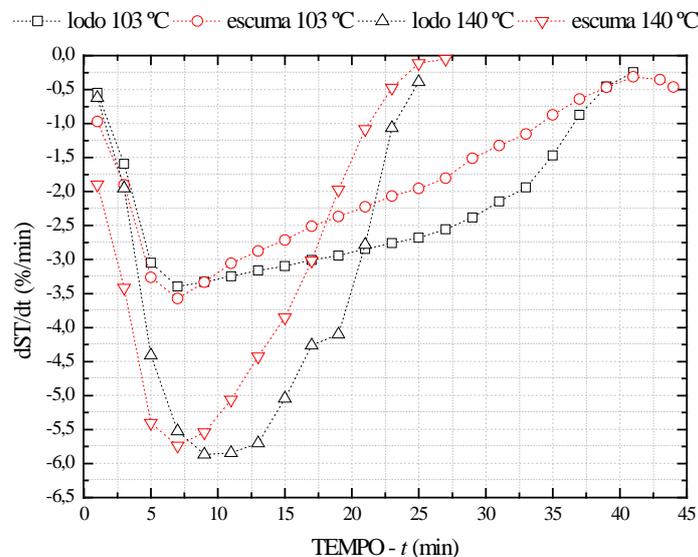


Figura 3: Taxas de variação dos teores de sólidos totais em relação ao tempo para as amostras de lodo e espuma

Verificou-se que a 140 °C, durante os primeiros sete minutos a umidade foi ligeiramente retirada das amostras, pois a taxa de variação dos teores de sólidos totais foi de -5,52 e de -5,73 %/min para o lodo e a espuma, respectivamente. Entre o 7º e 13º minuto de secagem, observou-se um período de taxa levemente decrescente, ou seja, um período em que a remoção da umidade ocorreu lentamente, com taxas variando de -5,86 até -5,70 %/min, para o lodo, e de -5,54 até -4,42 %/min, para a espuma. A partir do 13º minuto ocorreu um período de decréscimo acentuado até a remoção total da umidade, caracterizando assim o final do experimento, sendo as taxas de variação oscilantes entre -5,04 e -0,38 %/min e entre -3,85 e -0,04 %/min para o lodo e para a espuma, respectivamente.

Logo, para ambas as temperaturas e amostras analisadas verificaram-se três períodos de secagem, ou seja, primeira etapa de decréscimo acentuado, segunda etapa de taxa levemente decrescente e terceira etapa de taxa com decréscimo acentuado, variando-se o tempo final de experimento para cada amostra.

Assim, pode-se deduzir que na primeira etapa de decréscimo acentuado a água livre, que é a água de fácil remoção, foi retirada dos materiais. Já na segunda etapa, no período levemente decrescente, a água intersticial,

ou seja, a água presa nas fendas e nos espaços intersticiais dos flocos, pode ter sido removida, enquanto que na terceira etapa com decréscimo acentuado, a água superficial, ou seja, a água aderida à superfície das amostras e a água intracelular, ou seja, água ligada quimicamente às partículas do lodo, pode ter sido retirada dos materiais restando assim, somente os sólidos totais. Dessa maneira, resultado semelhante foi reportado por Luo *et al* (2013) durante a avaliação da secagem térmica de lodos desidratados, onde inferiu-se que as umidades dos lodos removidas durante o período de taxa constante correspondiam à água livre, no primeiro período de queda foi removida a água intersticial e no segundo período de queda foi retirado a água de superfície.

Notou-se ainda que, de modo geral, as curvas de secagem e as taxas de variação dos teores de sólidos totais em função do tempo de secagem para o lodo e para a espuma apresentaram comportamentos similares. Isso pode ser explicado pelo fato dos materiais serem provenientes do mesmo processo de tratamento de efluentes e apresentarem relação de sólidos fixos (SF) e sólidos totais (ST), próximas, sendo a relação SF/ST de 40,52% para o lodo e de 36,45% para a espuma, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Sólidos totais, fixos e voláteis do lodo e da espuma e as relações entre SF/ST e SV/ST

AMOSTRAS	SÓLIDOS TOTAIS (%)	SÓLIDOS FIXOS (%)	SÓLIDOS VOLÁTEIS (%)	RELAÇÃO SF/ST (%)	RELAÇÃO SV/ST (%)
Lodo	5,38 ± 0,23	2,18 ± 0,21	3,20 ± 0,21	40,52	59,48
Escuma	18,38 ± 0,62	6,70 ± 0,58	11,68 ± 0,58	36,45	63,55

Em processos de tratamento de efluentes que produzem grandes quantidades de lodos e espumas, a secagem térmica é uma alternativa para higienização e redução de volume desses materiais. Assim, um aumento na temperatura de secagem pode ser interessante para reduzir o tempo de secagem e desidratar uma maior quantidade de resíduos, facilitando o manejo e a disposição final dos lodos e espumas. No entanto, estudos mais detalhados devem ser conduzidos para verificar os gastos energéticos ao se elevar à temperatura no processo de secagem térmica.

CONCLUSÕES

Por meio das curvas de secagem dos lodos e espuma foi possível concluir que o tempo de secagem é dependente da temperatura e a 140 °C a secagem apresentou ser mais rápida que a 103 °C. Verificou-se que as curvas de secagem dos materiais apresentaram comportamentos decrescentes, não-lineares para os dois patamares térmicos avaliados. Além disso, não se verificou períodos de secagem constante.

Para as taxas de variação do teor de sólidos totais em função do tempo de secagem para as amostras de lodo e espuma, a 103 e a 140 °C, identificaram-se três períodos característicos. Inferiu-se que na primeira etapa, de decréscimo acentuado, a água livre foi retirada dos materiais. Por sua vez, na segunda etapa, levemente decrescente, deduziu-se que a água intersticial foi removida. Por fim, na terceira etapa, de decréscimo acentuado, provavelmente ocorreu a retirada da água superficial do lodo e da espuma.

Portanto, a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que em processos que possuem elevada quantidade de lodos e espumas destinados para a secagem térmica, um aumento na temperatura pode ser interessante para reduzir o tempo de secagem, desidratar uma maior quantidade de material e facilitar o gerenciamento desses resíduos. Sendo assim, as curvas de secagem do presente trabalho podem ser utilizadas para otimizar o processo de secagem dos materiais investigados, pois dependendo da destinação final, a secagem total não é viável, sendo necessária apenas a retirada parcial da umidade, ou seja, a remoção da água livre que incluiu a água verdadeiramente livre, intersticial e uma parcela da água superficial, evitando gastos energéticos desnecessários para a remoção da água ligada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE NETO, Cícero O.; CAMPOS, José R. Introdução. In: CAMPOS, José R.(coord.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: Prosab,1999.
2. CHEN, G.; YUE, P.L.; MUJUMDAR, A.S. Dewatering and drying of wastewater treatment sludge. In: MUJUMDAR, A.S. Handbook of Industrial Drying. 3ª ed., CRC Press. p. 887-904. 2006.
3. FERNANDES, F.; LOPES, D. D.; ANDREOLI, C. V.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coord.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte. Editora Segrac, p. 299-317. 2001.
4. LUO, F.; DONG, B.; DAI, L.; HE, Q.; DAI, X. Change of thermal drying characteristics for dewatered sewage sludge based on anaerobic digestion. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. V. 114. p. 307–312. 2013.
5. POSSETTI, G. R. C., RIETOW, J. C. GERVASONI, R., ALTHOFF, C. A., CARNEIRO, C. Investigação experimental de um sistema piloto de secagem térmica de lodo movido a biogás. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Rio de Janeiro, 2015.
6. STANDARD METHODS For the Examination of Water and Wastewater. 22ª edição. 2012.
7. VAXELAIRE, J.; CÉZAC, P. Moisture distribution in activated sludges: a review. Water Research. V 38, p. 2215–2230. 2004.
8. VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodos de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coord.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte. Editora Segrac 2001.