

II-212 - ESTUDO DO PROCESSO DE BIOSSECAGEM DE LODO DE ETE

Tayná Barros Mazer Lucatti⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Cali Laguna Achon⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) e Pós-doutora pelo Departamento de Engenharia Civil da UFSCar com bolsa FAPESP. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv-UFSCar) e Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar (PPGEU/UFSCar).

Renan Felício dos Reis⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), de Presidente Prudente - SP, Mestre e Doutor em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com desenvolvimento de pesquisa na modalidade doutorado sanduíche na *Universitat Autònoma de Barcelona* (UAB/Espanha). Professor do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Câmpus São Roque.

João Sergio Cordeiro⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar (DECiv/UFSCar), Professor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da UFSCar (PPGEU/UFSCar).

Jorge Akutsu⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (DECiv-UFSCar).

Endereço⁽¹⁾: Rua Rotary Clube, 405, Apartamento 03 – Vila Celina – São Carlos - SP - CEP: 13566-450 - Brasil - Tel: (17) 99111-4209 - e-mail: taynalucatti@gmail.com

RESUMO

No processo de tratamento de esgoto sanitário são gerados resíduos, como o lodo, que precisam ser tratados e destinados de forma ambientalmente adequada. Os sistemas de tratamento de lodo consistem basicamente na remoção de água através do desaguamento e secagem. Uma das alternativas de tratamento para o lodo de esgoto é a biossecagem. Esta consiste em um processo que reduz a umidade do lodo através do aquecimento produzido pela atividade microbiana. Dentre os fatores que influenciam no processo de biossecagem estão o teor de umidade inicial, a vazão de ar na entrada do reator, a proporção da mistura entre o lodo e o material estruturante, o tipo de material estruturante e o revolvimento da massa. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o processo de biossecagem de lodo anaeróbio gerado em Estação de Tratamento de Esgoto, variando a vazão de entrada de ar nos reatores e as porcentagens de material estruturante (cavaco de madeira) na composição da mistura com o lodo. Para compor o sistema de biossecagem foram construídos dois reatores em chapas de inox com isolamento das paredes, fundo e tampa em material refratário, sendo este totalmente vedado, evitando a perda de temperatura e vapor. Assim, foram realizados três experimentos que avaliaram a influência da porcentagem de mistura e da variação da entrada de ar no sistema de biossecagem. A partir desses ensaios foi possível observar que a mistura com lodo anaeróbio não conseguiu atingir temperaturas mais elevadas, superiores a 40°C. E também notou-se que a umidade inicial da mistura tem um papel importante na elevação da temperatura dentro do reator. Por fim, embora o estudo do processo de biossecagem seja relativamente recente, necessitando assim do desenvolvimento de maiores pesquisas acerca do tema, pôde-se observar o grande potencial dessa tecnologia na redução do volume e na reutilização do lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Biossecagem, Lodo de ETE, Desaguamento, Secagem, Sistema Natural.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETE) geram resíduos sólidos que devem ser destinados de forma ambientalmente adequada. Dentre estes o principal é o lodo de esgoto (LETE), decorrente de processos predominantemente biológicos.

Dependendo da tecnologia de tratamento de esgoto adotada (sistema anaeróbio e/ou aeróbio), formas de remoção do lodo, tempo de acúmulo do lodo nas unidades (idade do lodo), o LETE pode apresentar cerca de 95% de umidade ou mais, que corresponde respectivamente a teores de sólidos totais abaixo de 5%.

Devido ao alto teor de umidade é necessário que o lodo seja destinado a um sistema de desaguamento para que seja viável e factível o reuso ou reciclagem. O desaguamento ou remoção de parcela de água do lodo tem como objetivo a redução do volume, gerando massa com maior concentração de sólidos, possibilitando o reuso de água e dos sólidos resultantes.

De acordo com Davis e Hall (1997) o sistema de tratamento de lodo representa cerca de metade do custo total de uma estação de tratamento de águas residuais. Segundo Dentel (2013) os custos do tratamento do lodo de ETE se equiparam ao custo do tratamento de esgoto em si, seja na implantação como na operação.

O desaguamento do lodo pode ser realizado através de sistemas naturais ou mecânicos. A grande maioria das ETES deságua o lodo em sistemas mecânicos, incluindo centrífugas ou filtros prensa, obtendo-se teores de sólidos totais de aproximadamente 20% a 25%. Os sistemas naturais de desaguamento abertos englobam fases de drenagem e adicionalmente secagem natural por evaporação, promovendo maior redução de volume do lodo, obtendo-se teores de sólidos totais acima de 30% dependendo do tempo de ciclo de secagem.

Após passar por um processo de desaguamento, os sólidos resultantes (torta de lodo) podem ser encaminhados para um sistema de secagem térmica, podendo-se obter teores de sólidos da ordem de até 95%, ou seja, 5% de umidade. A secagem térmica do lodo é um processo de evaporação de água para a atmosfera com aplicação de energia térmica (natural ou com aporte energético), com isso o volume final de lodo é reduzido significativamente, assim como pode promover a higienização deste.

Dentre os processos de secagem térmica, uma das alternativas utilizadas para os resíduos orgânicos é a compostagem biológica. Um dos objetivos deste processo é estabilizar a matéria orgânica, sendo que, os micro-organismos oxidam parte da matéria existente no meio produzindo calor e levando à redução da umidade, devido à conversão bioquímica e evaporação da água.

A biossecagem ou *biodrying* é outro tipo de processo térmico que recentemente tem sido investigado com o intuito de reduzir a umidade do LETE. Este processo é similar a compostagem, porém com objetivos finais distintos. Enquanto a compostagem visa à produção de um composto orgânico (biossólido) para aplicação na agricultura, a biossecagem tem por objetivo produzir um combustível derivado de resíduo (CDR), preservando parcialmente o poder calorífico do material final e, portanto, favorecendo sua combustão e aproveitamento energético.

A biossecagem consiste em um processo de compostagem parcial do lodo, através de controle de aeração, incorporação de materiais auxiliares (material estruturante) e revolvimento. Dentre os fatores que podem influenciar o processo de biossecagem estão o tipo e características do lodo, teor de umidade inicial, a vazão de ar de entrada, a proporção de mistura de material estruturante, o tipo e características do material estruturante, e o revolvimento. A mistura do lodo com um material estruturante é necessária, pois a injeção e circulação de ar fornecerão oxigênio aos microrganismos aeróbios, que irão decompor a matéria orgânica e, a partir do seu metabolismo, gerar calor e proporcionar a evaporação da água do lodo.

Ensaio de *biodrying* realizados por Huilliñir e Villegas (2015) demonstraram que o teor de umidade da mistura (lodo e cavaco de madeira), após o processo, resultou em valores entre 50 e 60% para oito dias de duração. Winkler et al. (2013) realizaram aplicações em escala real com vinte e quatro dias de duração e os resultados demonstraram que o teor de umidade final da mistura (lodo, lodo biosseco e cavaco de madeira) foi de 33%. Os resultados dos ensaios realizados por Cai et al. (2012), com vinte dias de duração, demonstraram

que a umidade final da mistura (lodo, lodo biosseco e cavaco de madeira) atingiu 54,7% e, segundo Cai et al. (2013), ensaios realizados com o mesmo tempo de duração resultaram em valores de 48,7%.

Portanto, o presente trabalho visa investigar o processo de biossecagem de lodo gerado em estações de tratamento de esgoto.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o processo de biossecagem de lodo anaeróbio gerado em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) variando a vazão de entrada de ar nos reatores e as porcentagens de material estruturante (cavaco de madeira) na composição da mistura com o lodo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Antes de se iniciar os experimentos de biossecagem foi realizada uma busca bibliográfica sobre o tema e estudo dos conceitos básicos e procedimentos laboratoriais. Em seguida, montou-se o sistema de biossecagem apresentado na Figura 1.

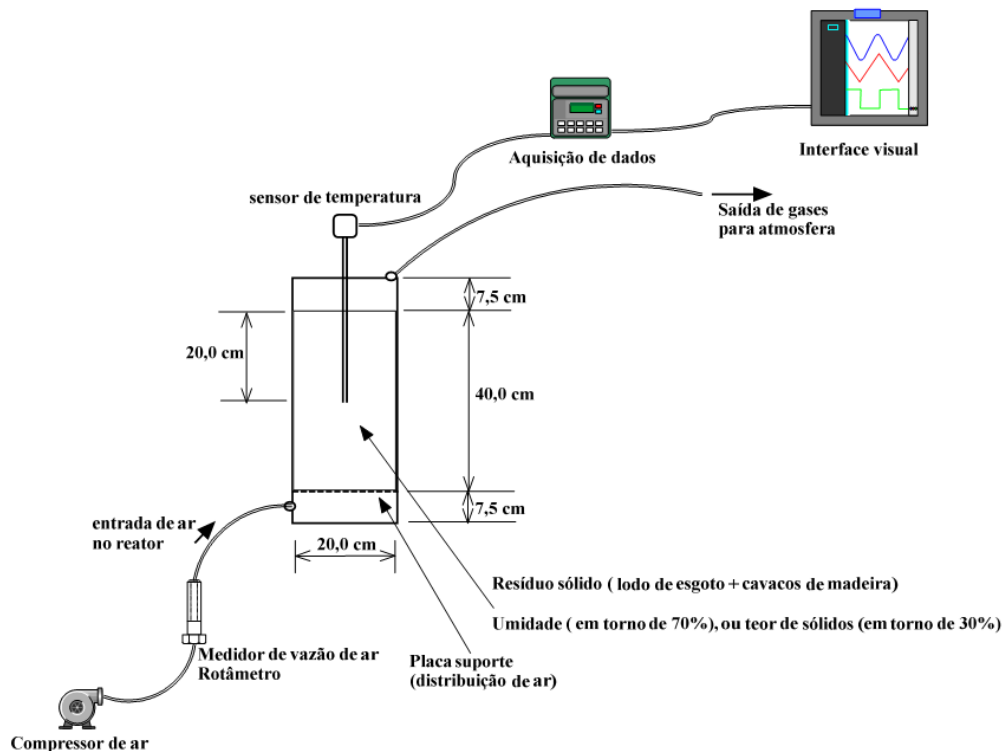


Figura 1: Esquema do sistema de biossecagem.

O sistema apresentado na Figura 1 foi instalado no laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar (DECiv). Para compor esse sistema, foram construídos dois reatores em chapas de inox com isolamento das paredes, fundo e tampa em material refratário, sendo estes totalmente vedados, evitando a perda de temperatura e vapor (ar quente), conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Foto ilustrativa dos reatores utilizados.

Para a realização dos ensaios foram coletadas amostras de lodo anaeróbio desaguado no Leito de Drenagem piloto instalado na ETE Monjolinho em São Carlos-SP. Esta estação possui tratamento anaeróbio seguido de físico-químico, sendo que o lodo desaguado no Leito de Drenagem é proveniente apenas dos reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e sem adição de condicionante (polímero).

Já o material estruturante empregado nos experimentos é o cavaco de madeira (Figura 3), coletado em serralherias. Para a seleção das partículas maiores de cavaco, o material estruturante foi peneirado e somente as partículas retidas na peneira foram utilizadas nos ensaios realizados.



Figura 3: Foto ilustrativa do cavaco de madeira utilizado nos ensaios.

Nesta pesquisa foram realizados três ensaios de biossecagem, primeiramente, o Ensaio 1 com 15% em massa de cavaco de madeira; o Ensaio 2 com 10% e 15% em massa de estruturante e, por fim, realizou-se o Ensaio 3 com 10% em massa de cavaco de madeira.

Antes do início de cada ensaio foi determinado o teor de sólidos totais das amostras do lodo bruto desaguado. Em seguida, preparou-se e homogeneizou-se a mistura de lodo desaguado com porcentagem de material estruturante em relação ao lodo pré-determinada para cada ensaio. Na sequência coletaram-se amostras para determinação do teor de sólidos totais da mistura, que foram levadas à estufa a 100-105°C por 24 horas. Assim, as misturas foram inseridas nos dois reatores, sendo estes fechados e acoplados às mangueiras de entrada e saída de ar.

Para o controle da vazão de entrada de ar nos reatores foi utilizado um rotâmetro, assim, fez-se necessário transformar a vazão fixa de ar em termos de quilogramas de sólidos totais (Kg_{ST}) para L/min. A partir do teor de sólidos totais da amostra da mistura coletada no início de cada ensaio, determinou-se, através das equações 1 e 2, a vazão a ser colocada no rotâmetro.

$$M_{ST\text{lodo}} = (ST_{\text{lodo}}/100) \times M_{\text{amostra}} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo: $M_{ST\text{lodo}}$: massa de lodo seco na amostra [Kg]; ST_{lodo} : teor de sólidos totais do lodo desaguado [%] e M_{amostra} : Massa da amostra de lodo desaguado [Kg]

$$T_{Ar} = T_{AST} \times M_{ST\text{lodo}} \quad \text{equação (2)}$$

Sendo: T_{Ar} : Taxa de entrada de ar no rotâmetro em L/min e T_{AST} : Taxa de ar em termos de sólidos secos [L/min Kg_{ST}]

Durante os ensaios monitorou-se a temperatura no interior dos reatores de forma automatizada, a fim de avaliar as variações e oscilações ao longo do processo de biossecagem. Para os Ensaios 1 e 2, variou-se a vazão de entrada de ar e o revolvimento da mistura. No Ensaio 2, em particular o reator A foi mantido aberto a partir do revolvimento realizado no 17º dia.

No Ensaio 3 utilizou-se uma vazão de ar fixada em 1,0L/min Kg_{ST} e intervalos de revolvimento de 4 dias, com o intuito de verificar a influência desses na temperatura da mistura dentro do reator. Ademais, a frequência de revolvimento e a duração dos ensaios também variaram, buscando avaliar as respostas do processo durante os ensaios.

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros para as condições iniciais dos três ensaios realizados.

Tabela 1: Valores dos parâmetros para as condições iniciais dos ensaios realizados.

Ensaio	Reator	U% ⁽¹⁾ inicial do lodo (%)	ST % ⁽²⁾ inicial do lodo (%)	Porcentagem de material estruturante (%)	U% inicial da mistura (lodo + estruturante) (%)	Massa inicial da mistura (Kg) _{b.u.} ⁽⁴⁾
1	A	74,3	25,7	15%	68,2	3,63
	B				69,8	7,26
2	A	73,9	26,1	15%	64,6	4,60
	B			10%	67,3	11,43
3	A	61,8	38,2	10%	53,4	4,25
	B					4,37

Nota: ⁽¹⁾ U%: porcentagem de umidade; ⁽²⁾ ST%: teor de sólidos totais; ⁽³⁾ L:E (m:m): Lodo:material estruturante em massa por massa em base úmida; ⁽⁴⁾ b.u.: base úmida.

Os principais parâmetros monitorados durante os ensaios são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Principais parâmetros controlados durante os três ensaios realizados.

Ensaio	Reator	Intervalo de vazão de ar (L/min.KgST) _{b.s.} ⁽¹⁾	Data de Revolvimento	Duração do experimento
1	A	0,43 – 1,30	5º dia e 7º dia	10 dias
	B	0,46 – 1,37		
2	A	0,92 – 1,84	11º dia e 17º dia	20 dias
	B	0,40 – 0,57		
3	A	1,00	4º dia, 8º dia e 16º dia	20 dias
	B			

Nota: ⁽¹⁾ b.s.: base seca.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os resultados de vazão de ar e temperatura ao longo do tempo para o Ensaio 1. Ressalta-se que os pontos destacados com seta são os dias em que foram realizados os revolvimentos e coleta de amostras para determinação de sólidos totais da mistura, ou seja, próximos ao quinto e sétimo dia.

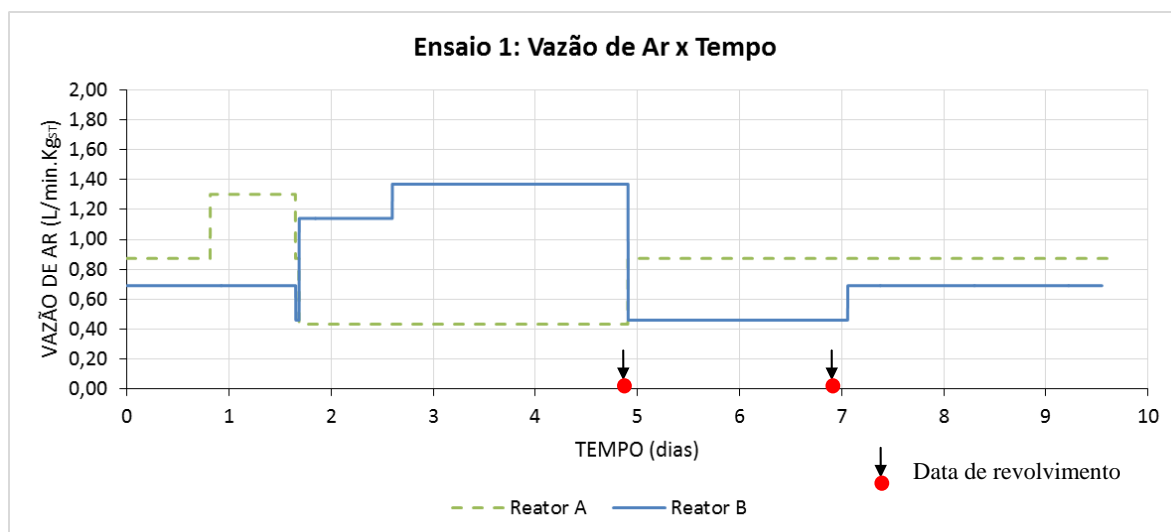


Figura 4: Gráfico da variação da vazão de ar nos reatores A e B para o Ensaio 1.

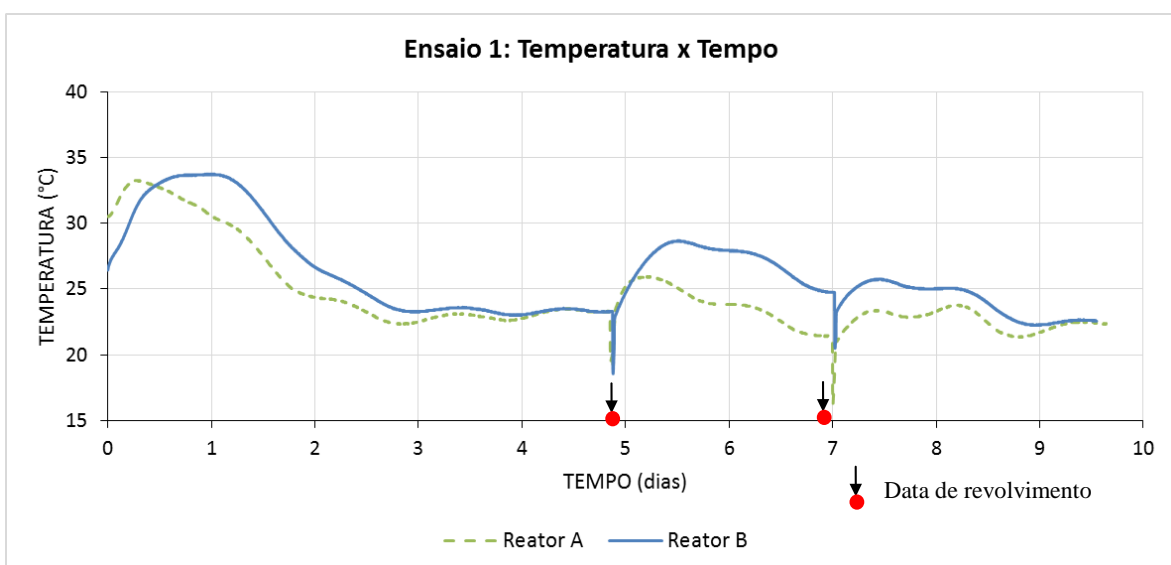


Figura 5: Gráfico da variação da temperatura nos reatores A e B para o Ensaio 1.

Analisando as Figuras 4 e 5 observou-se que mesmo com diferentes vazões de entrada de ar nos reatores (vazão inicial de 0,69 e 0,87 L/min.Kg_{ST}) a temperatura se elevou no início para os dois reatores, ficando próxima de 34°C (33,25 e 33,75°C). No primeiro dia do Ensaio 1 a vazão de ar foi aumentada para 1,30 L/min.Kg_{ST} apenas no reator A, conforme Figura 4, buscando-se verificar se havia falta de oxigênio para o processo biológico devido à tendência de decréscimo da temperatura observada neste reator. Porém, a temperatura continuou decaindo. Assim, considerando que o acréscimo de vazão de ar estava resfriando a mistura, no segundo dia alterou-se novamente a vazão de ar no reator A, porém desta vez foi reduzida para 0,43 L/min.Kg_{ST}. Apesar disto, a temperatura continuou decaindo neste reator e se manteve sempre inferior à temperatura da mistura no reator B, até por volta do quarto dia. No caso do reator B, entre o segundo e quinto dia a vazão de ar estava superior ao do reator A, porém manteve a mesma tendência.

No quinto dia do Ensaio 1 realizou-se o primeiro revolvimento, obtendo-se resposta rápida de aumento da temperatura, mesmo as vazões de entrada de ar sendo distintas nos dois reatores (0,46 e 0,87L/min.Kg_{ST}), a temperatura apresentou uma segunda elevação para valores de 26,25 e 28,62 °C.

O reator B com menor vazão de ar (0,46L/min.Kg_{ST}) entre o quinto e o sétimo dia respondeu positivamente, mantendo temperaturas superiores ao reator A. Neste período, especificamente, pode-se inferir que menores vazões de ar tendem a manter temperaturas mais elevadas na mistura, uma vez que o excesso de ar pode retirar o calor devido ao processo convectivo.

Após o sexto dia a temperatura voltou a decair e foi realizado o segundo revolvimento próximo ao sétimo dia, e a temperatura voltou a se elevar, de forma similar ao que ocorreu após o primeiro revolvimento. Notou-se, portanto, que o revolvimento contribui de forma significativa nas reações biológicas e consequentemente na elevação da temperatura.

Na Figura 6 estão apresentados os resultados da variação do teor de umidade na mistura dos reatores A e B para o Ensaio 1.

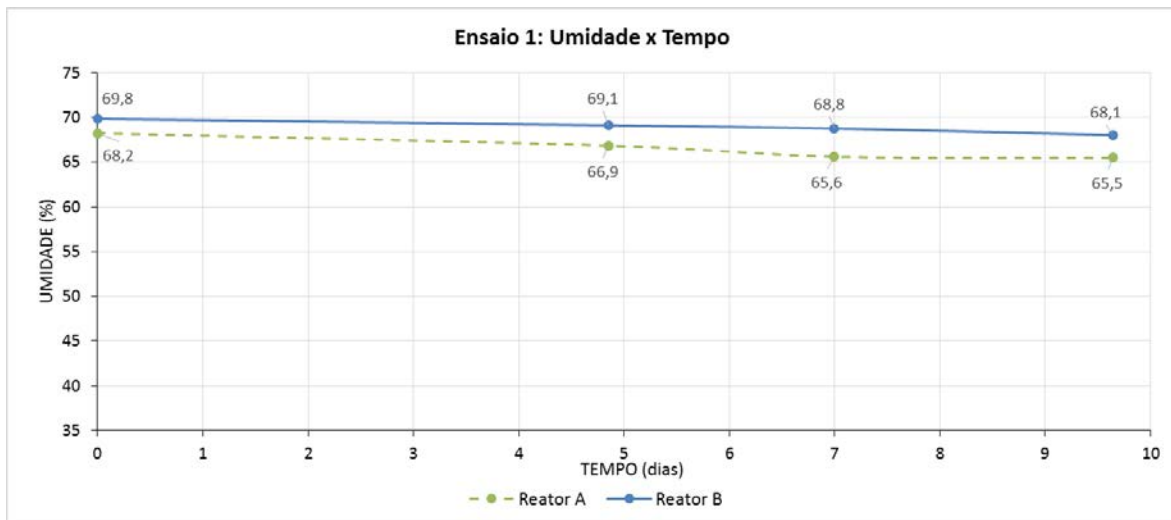


Figura 6: Gráfico da variação do teor de umidade da mistura nos reatores para o Ensaio 1.

A partir da Figura 6 é possível observar que a umidade da mistura (lodo anaeróbio+material estruturante) reduziu de 69,8 para 68,1% no reator B e de 68,2% para 65,5% no reator A, em 10 dias. Assim, as reduções de umidade em ambos os reatores podem ser consideradas semelhantes, sendo a menor umidade final obtida na mistura do reator A, apesar de neste reator a temperatura ter se mantido um pouco inferior durante todo Ensaio 1.

Nos gráficos das Figuras 7 e 8 são ilustradas a variação da vazão de ar na entrada nos reatores e a temperatura da mistura durante os 20 dias de duração do Ensaio 2.

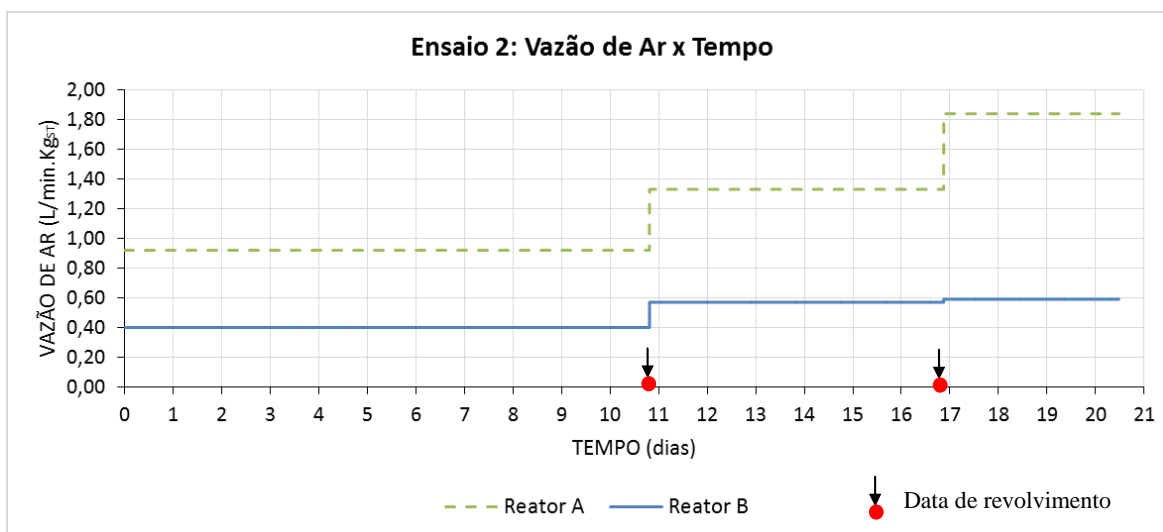


Figura 7: Gráfico da variação da vazão de ar nos reatores A e B para o Ensaio 2.

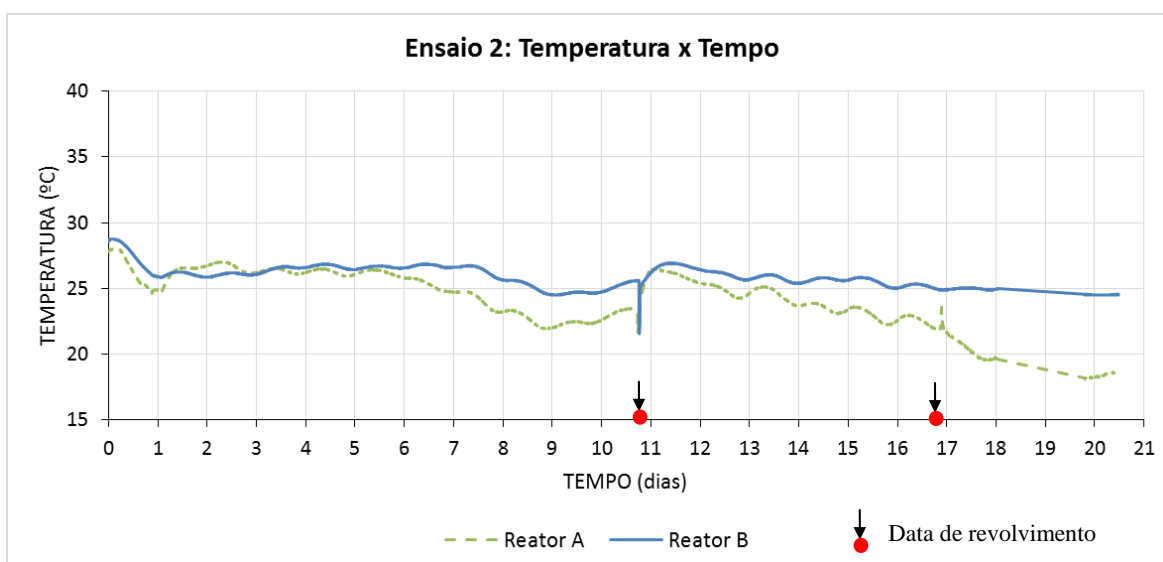


Figura 8: Gráfico da variação da temperatura nos reatores A e B para o Ensaio 2.

Analisando os resultados de temperatura apresentados na Figura 8, pode-se observar que as mesmas variaram muito pouco ao longo do Ensaio 2 para ambos os reatores. De forma geral as vazões de entrada de ar no reator A foram mantidas sempre superiores à vazão de ar no reator B, conforme Figura 7. Nota-se também neste ensaio que o revolvimento quase não influenciou na alteração das temperaturas da mistura nos reatores A e B.

Embora as vazões de entrada de ar do Ensaio 2 até o 17º dia se apresentaram na mesma faixa das aplicadas no Ensaio 1, as temperaturas não se elevaram, ficando sempre abaixo de 30°C, inferindo que pode não ter ocorrido reações biológicas significativas neste Ensaio 2.

Após o segundo revolvimento (em torno do 17º dia), a vazão de ar no reator A foi aumentada para (1,84 L/min.KgST) acima da faixa do Ensaio 1 e este reator foi mantido aberto (sem tampa) a fim de verificar a reposta em relação à umidade da mistura. Nota-se que neste período a temperatura no reator A igualou-se a temperatura ambiente, prevalecendo o processo convectivo de secagem do resíduo.

Na Figura 9 estão apresentados os resultados da variação do teor de umidade para os reatores A e B no Ensaio 2.

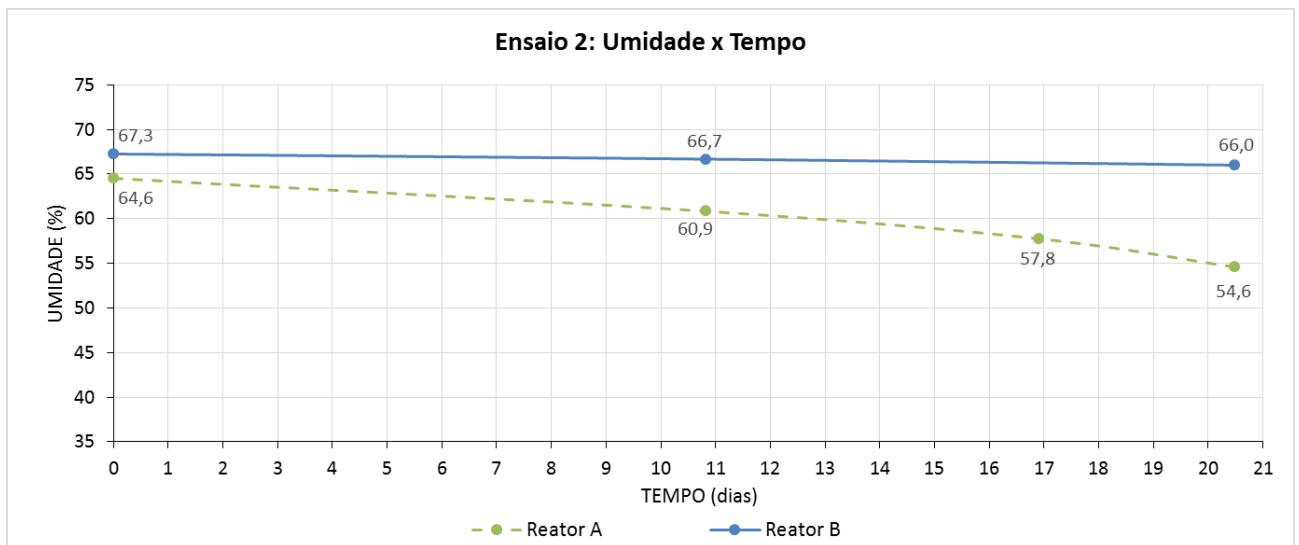


Figura 9: Gráfico da variação do teor de umidade da mistura nos reatores para o Ensaio 2.

A partir da Figura 9 é possível verificar que no reator B a redução de umidade da mistura não foi significativa (67,3% para 66,0%). No reator A o comportamento foi um pouco distinto, sendo que até o 17º dia, durante o qual o reator A se manteve fechado, a redução de umidade foi de 64,6% para 57,8%. Após este período, com a abertura do reator A e elevação de vazão de entrada de ar, ocorreu substancial redução de umidade, sendo que no 21º dia alcançou 54,6%.

Efetuada-se uma análise paralela das temperaturas e umidades do Ensaio 2, conforme Figuras 8 e 9, pode-se inferir que um dos fatores preponderantes na redução de umidade da mistura nos reatores é o fator convectivo devido à vazão de entrada de ar.

Nas Figuras 10 e 11 apresentam-se os resultados de vazão de ar e temperatura com o tempo para o Ensaio 3.

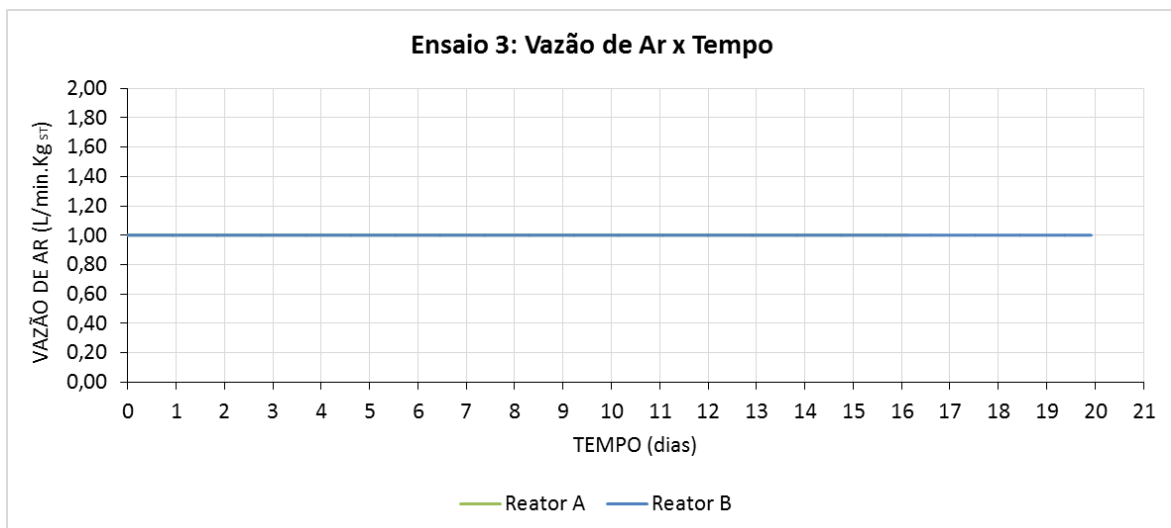


Figura 10: Gráfico da variação da vazão de ar nos reatores A e B para o Ensaio 3.

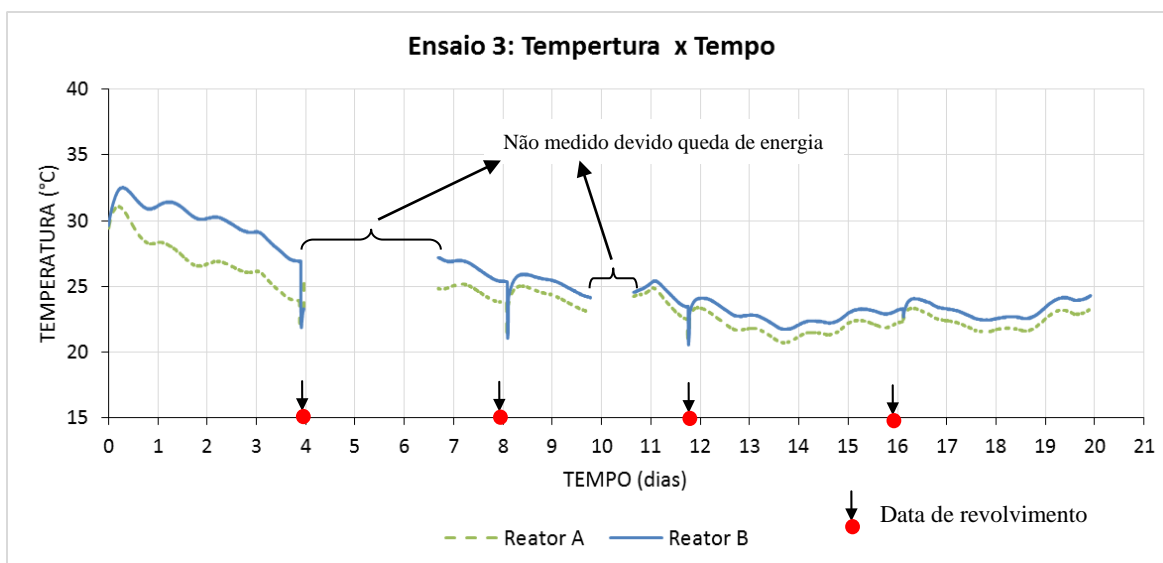


Figura 11: Gráfico da variação da temperatura nos reatores A e B para o Ensaio 3.

Analisando as Figuras 10 e 11, observa-se que para a mesma vazão de entrada de ar (1,00 L/min.Kg_{ST}) nos reatores A e B a temperatura se elevou no início para os dois reatores, ficando próxima de 32°C.

No quarto dia do Ensaio 3 realizou-se o primeiro revolvimento, contudo, ocorreu uma queda de energia, impossibilitando o registro da leitura do sensor de temperatura. Já no segundo revolvimento, realizado próximo ao oitavo dia, observou-se que houve um discreto aumento de temperatura para cerca de 25°C. Nos revolvimentos realizados no 12º e 16º dias observou-se a mesma tendência de elevação de temperatura.

Na Figura 12 pode-se verificar o comportamento do teor de umidade para o Ensaio 3.

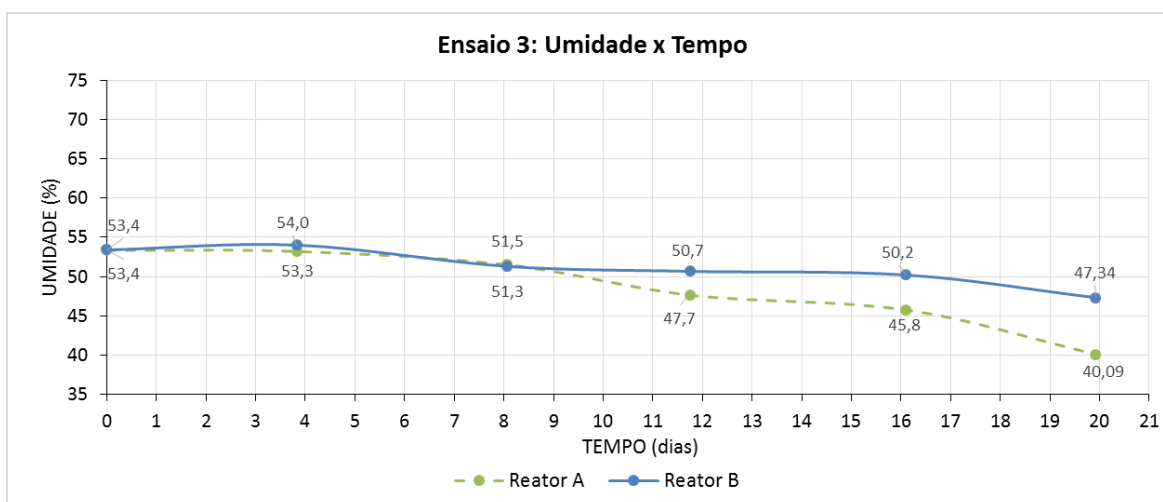


Figura 12: Gráfico da variação do teor de umidade da mistura nos reatores para o Ensaio 3.

Analisando a Figura 12 nota-se que a umidade da mistura (lodo anaeróbico + material estruturante) no Ensaio 3 reduziu de 53,4% para 40,1 no reator A e para 47,3% no reator B, em 20 dias.

Além disso, observou-se que o teor de umidade inicial da mistura se apresentou muito próximo ao limite mínimo sugerido na literatura (50% de umidade) para favorecer o desenvolvimento de atividade biológica. Assim, a umidade inicial desse ensaio pode ter afetado a atividade biológica dentro do reator e, consequentemente, prejudicado o aumento da temperatura durante o ensaio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que a temperatura da mistura com lodo anaeróbio não atingiu temperaturas superiores a 40°C. Um dos fatores que pode ter contribuído para a pequena elevação da temperatura pode estar associado ao alto grau de estabilização do lodo anaeróbio. Pesquisas reportadas na literatura demonstraram que o processo de biossecagem pode atingir temperaturas acima de 60°C, porém todas estas foram conduzidas utilizando lodo aeróbio ou lodo misto (aeróbio, anaeróbio, anóxico e/ou biosseco).

Notou-se que o revolvimento pode ser considerado um fator de grande influência na elevação da temperatura, devido à ativação do processo biológico.

Com exceção do primeiro ensaio, o teor de umidade final da mistura atingiu valores próximos aos relatados na literatura, ou seja, entre 45 e 60%, sendo os melhores resultados obtidos no Ensaio 3, com vazão de entrada de ar constante e realização de três revolvimentos.

Considerando o grande volume de lodo de esgoto gerados e as alternativas tradicionais comumente utilizadas, como sistemas mecânicos de desaguamento, o resíduo sólido (lodo desaguado) gerado nestes sistemas ainda possui grande potencial de redução de volume e reutilização, sendo a biossecagem uma alternativa promissora.

O processo de biossecagem tem potencial para redução do teor de umidade do lodo anaeróbio, mesmo sem a ocorrência de grandes elevações da temperatura.

Por fim, como o estudo do processo de biossecagem para LETE é algo relativamente recente e inovador, observa-se a necessidade de pesquisas futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa (Processo FAPESP N°. 2016/12981-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CAI, L., GAO, D., CHEN, T.-B., LIU, H.-T., ZHENG, G.-D., YANG, Q. W. (2012) Moisture variation associated with water input and evaporation during sewage sludge bio-drying. *WaterResearch*. 117, p. 13-19.
2. CAI, L., CHEN, T.-B., GAO, D., ZHENG, G.-D., LIU, H.-T., PAN, T.-H. (2013) Influence of forced air volume on water evaporation during sewage sludge bio-drying. *WaterResearch*. 47, p. 4767-4773.
3. DAVIS, R.D., HALL, J.E. Production, treatment and disposal of wastewater sludge in Europe from a UK perspective. *Water Pollut. Contr.* 7, p. 9-17.
4. DENTEL, S. Perspectives on Holistic Sludge Management. In: 1st International IWA Conference on Holistic Sludge Management. IWA specialist conference, 6-8 May 2013, Västerås, Sweden. Disponível em <<http://www.hsm2013.se/about-the-event/topics-programme/keynote-presentations>>, acesso em 20/08/2013.
5. HUILINIR, C.; VILLEGAS, M. (2015) Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge. *Water Research*, 82, p. 118-128.
6. WINKLER, M.-K.H.; BENNEMBROEK, M.H.; HORSTINK, F.H.; VAN LOOSDRECHT, 433 M.C.M.; VAN DE POL, G.-J. (2013) The biodrying concept: an innovative technology creating energy from sewage sludge. *Bioresource Technology*, 147, 2013.p. 124-129.
7. YANG, B. ZHANG, L.; JAHNG, D. (2014). Importance of Initial Moisture Content and Bulking Agent for Biodrying Sewage Sludge. ISSN: 0737-3937 e 1532-2300. DOI: 10.1080/07373937.2013.795586. *Drying Technology*, 32: 135-144, 2014.
8. ZHAO, L.; GU, W.-M.; HE, P.-J.; SHAO, L.-M. (2010) Effect of air-flow rate and turning frequency on bio-drying of dewatered sludge. *Water Research*, 44, p. 6144-6152.