

Teor de umidade inicial e sua influência no processo de biossecagem de lodo

Initial moisture content and its influence on the sludge biodrying process

Contenido de humedad inicial y su influencia en el proceso de bio-secado de lodos

Luiza Pinatti Astolphi

Discente, UFSCar, Brasil
luizapinatti@estudante.ufscar.br

Juliana da Silva Oliveira

Discente, UFSCar, Brasil
juliana.oliveira@estudante.ufscar.br

Cali Laguna Achon

Professora Doutora, UFSCar, Brasil
caliachon@gmail.com

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto têm grande impacto na saúde pública, pois tratam o esgoto doméstico com o objetivo de devolvê-lo aos corpos d'água como efluente líquido limpo ou para reaproveitamento. Esse tipo de processo produz uma grande quantidade de lodo, que é classificado como resíduo sólido e, portanto, deve ser recuperado, reaproveitado ou reciclado, sendo o aterro o último recurso. O tratamento do lodo é dividido em cinco etapas, sendo estas: adensamento, digestão, desaguamento, secagem e aproveitamento (ou destinação final), de forma a obter uma massa com volume reduzido devido à retirada de água. Uma das opções de processo de secagem é a biossecagem ou biodrying, a qual, utiliza o calor gerado pela fermentação aeróbia de microrganismos para remover a água combinada com o lodo. A vantagem desse procedimento é que ele retém o poder calorífico da massa final, permitindo sua queima e aproveitamento energético. Algumas condições afetarão o processo de biossecagem, entre as quais podemos citar: o teor de umidade inicial, a taxa de aeração, a proporção de mistura dos materiais estruturantes, o revolvimento da massa e a adição de componentes biológicos auxiliares (*bulking agents*). Este artigo tem como objetivo avaliar, a partir da literatura, a importância e o impacto da alteração do teor de umidade inicial do lodo no processo de biossecagem.

PALAVRAS-CHAVE: biossecagem, secagem de lodo, lodo anaeróbico, umidade inicial, teor de umidade inicial ótimo.

ABSTRACT

Sewage treatment plants have a great impact on public health, as they treat domestic sewage with the aim of returning it to water bodies as clean liquid effluent or for reuse. This type of process produces a large amount of sludge, which is classified as solid waste and therefore must be recovered, reused or recycled, with landfill as the last resort. The sludge treatment is divided into five stages, namely: densification, digestion, dewatering, drying and use (or final destination), in order to obtain a mass with reduced volume due to the removal of water. One of the drying process options is biodrying or bio-drying, which uses the heat generated by the aerobic fermentation of microorganisms to remove the water combined with the sludge. The advantage of this procedure is that it retains the calorific power of the final mass, allowing it to be burned and used for energy. Some conditions will affect the biodrying process, among which we can mention: the initial moisture content, the aeration rate, the mixing ratio of the structuring materials, the turning of the mass and the addition of auxiliary biological components (bulking agents). This article aims to evaluate, from the literature, the importance and impact of changing the initial moisture content of the sludge in the biodrying process.

RESUME

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen un gran impacto en la salud pública, ya que tratan las aguas residuales domésticas con el objetivo de devolverlas a los cuerpos de agua como efluente líquido limpio o para su reutilización. Este tipo de procesos produce una gran cantidad de lodos, que se clasifican como residuos sólidos y, por tanto, deben ser recuperados, reutilizados o reciclados, con el vertedero como último recurso. El tratamiento de los lodos se divide en cinco etapas, a saber: densificación, digestión, deshidratación, secado y uso (o destino final), con el fin de obtener una masa con volumen reducido debido a la remoción de agua. Una de las opciones del proceso de secado es el bio-secado o bio-secado, que utiliza el calor generado por la fermentación aeróbica de los microorganismos para eliminar el agua combinada con los lodos. La ventaja de este procedimiento es que retiene el poder calorífico de la masa final, lo que permite quemarla y utilizarla como energía. Algunas condiciones afectarán el proceso de biosecado, entre las que podemos mencionar: el contenido de humedad inicial, la tasa de aireación, la proporción de mezcla de los materiales estructurantes, el volteo de la masa y la adición de componentes biológicos auxiliares (agentes de carga). Este artículo tiene como objetivo evaluar, a partir de la literatura, la importancia y el impacto de cambiar el contenido de humedad inicial de los lodos en el proceso de bio-secado.

1 Introdução

As estações de tratamento de esgoto têm grande impacto na saúde pública, pois tratam o esgoto doméstico com o objetivo de devolvê-lo aos corpos d'água como efluente líquido limpo ou para reaproveitamento. Ainda assim, apenas 1.513 dos 5.564 municípios brasileiros possuem tratamento de esgotos, sendo que as tipologias mais utilizadas seguem a seguinte ordem decrescente: lagoa facultativa, valo de oxidação, lagoa anaeróbia, filtro biológico, lagoa de maturação, reator anaeróbio, lagoa aeróbia, outro, wetland, lagoa aerada, lagoa mista, lodo ativado, e fossa séptica (REIS, 2017).

Os processos citados anteriormente geram volumes consideráveis de lodo de esgoto (LETE), sendo que este varia de 1 a 3% do volume total do esgoto tratado (ACHON et al., 2017). O LETE é classificado como resíduo sólido segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010) e, portanto, deve ser recuperado, reusado ou reciclado e, apenas em última instância, ser disposto como rejeito em aterros sanitários.

Ainda que as legislações e normas se façam presentes o alto custo do tratamento do LETE (cerca de 60% dos custos operacionais de uma ETE segundo Achon et al. (2017)) e a complexidade do seu manejo instigam atitudes que já se tornaram corriqueiras no cotidiano das ETEs brasileiras, que consiste em remover a água apenas parcialmente, gerando um resíduo com 15-25% de teor de sólidos que é disposto em aterros sanitários como rejeito (REIS, 2017), proporcionando a destinação inadequada deste resíduo sólido.

Vale salientar que esse problema tende a se agravar devido à pressão legal no país para ampliar a cobertura do tratamento de esgoto, resultando em mais LETE. Portanto, sua gestão deve ser aprimorada a fim de obter um produto adequado e

de menor volume para economizar nos processos subsequentes e garantir que esses resíduos tenham a destinação adequada (ACHON et al., 2017).

A composição do LETE é muito variável, pois depende inteiramente das características do esgoto, além da sazonalidade e do tipo de tratamento utilizado. Sua base constituinte contém substâncias orgânicas e inorgânicas, e mais de 95% do seu volume é na verdade água (Von Sperlling, 2005); esse percentual pode variar dependendo da tecnologia de tratamento de esgoto (sistema anaeróbio e / ou aeróbio), formas de remoção do lodo, tempo de acúmulo do lodo nas unidades, dentre outras variáveis. Isto posto, ficam evidentes as motivações da complexidade de manejo e subsequente destinação adequada.

Após retirar o LETE do sistema ETE, ele deve ser desaguado. Vários são os fatores que influenciam na escolha do tipo de sistema de desaguamento, entre eles: a área necessária, a distância entre a estação e o destino final, o clima, o orçamento disponível e a possibilidade de uso de sistemas naturais ou mecânicos. Entre os processos mecânicos podemos citar: centrífugas, filtros prensa de placa, filtro prensa de esteira, filtros de vácuo, etc. Esses métodos utilizam equipamentos eletromecânicos para remover água e obter lodo com um teor de sólidos totais de 20 a 25%. Por exigirem o uso de eletricidade e produtos químicos, os custos operacionais desses processos são elevados (ACHON et al., 2017).

Já dentre os métodos naturais pode-se mencionar: lagoas de lodo, leitos de secagem, leitos de drenagem, leitos solares, BAGs e disposição no solo. Todos os sistemas naturais, exceto os BAGs, são abertos e, por isso, apresentam secagem por evaporação conjuntamente com o

desaguamento resultando em um teor de sólidos totais superior aos dos sistemas mecânicos, ultrapassando os 20-25%. No entanto, estes sistemas também apresentam desvantagens uma vez que necessitam de grandes áreas para sua aplicação, além de exigirem mais tempo para realizar o processo de desaguamento (ACHON et al., 2017).

Segundo David, 2002, durante o processo de desaguamento o lodo passa de um estado aquoso inicial (95-99,9% de umidade) para uma pasta e, por fim, para uma torta de lodo (48-70% de umidade), a qual pode ser encaminhada para o processo de secagem, onde passará para o estado de grãos ou pó (REIS, 2017).

Os processos de secagem demandam mais energia, dentre estes pode-se citar: convectivos, condutivos, solares (leito de secagem e leito de drenagem), biológicos (biossecagem e compostagem) e térmicos (aquecimento convencional, fritura e micro-ondas). Alguns tipos de desaguamento também podem ser classificados como secagem, haja visto que são capazes de alcançar teores de sólidos totais superiores a 30% (ACHON et al., 2017).

A biossecagem e a compostagem são processos semelhantes, todavia estas divergem no objetivo final uma vez que a biossecagem, ou biodrying, não visa atingir a mineralização completa dos resíduos, mas sim utilizar o calor metabólico para remover água do resíduo no menor tempo de residência e causando a menor biodegradação possível, preservando, assim, seu poder calorífico. Outra distinção a ser citada é a duração, enquanto a compostagem é um processo lento, de 30 a 50 dias, a biossecagem é rápida levando entre 7 e 20 dias apenas, tornando a segunda mais viável para utilização em larga escala.

A biossecagem pode ter seu rendimento e resultado final afetados por alguns parâmetros, sendo estes: adição de componentes biológicos auxiliares (bulking agents), revolvimento da massa, teor de umidade inicial, vazão de ar de entrada, proporção de mistura.

A adição de bulking agents se faz necessária uma vez que o LETE possui pouca matéria orgânica biodegradável, elevada umidade e/ou baixa porosidade. Alguns materiais que podem ser utilizados como bulking agents são: serragem, cavaco de madeira, palha, lodo biosseco, pó de café, cascas de arroz, etc (HAO, YANG e JAHNG, 2018).

No tocante ao revolvimento da massa sua influência pode ser notada no aumento da porosidade, da atividade microbiana e da degradação orgânica, haja visto que proporcional a homogeneização da matriz, removendo a umidade e reduzindo a temperatura da massa para a temperatura ambiente. Logo em seguida a temperatura sobe novamente, corroborando para a remoção de água, entretanto sem retomar a temperatura anterior ao revolvimento (ZHAO et al., 2010).

É frequentemente explicitado na literatura que a biossecagem possibilita a remoção da água ligada (intersticial, superficial e intracelular) do lodo e que os revolvimentos ao longo do processo são essenciais para a retomada das atividades biológicas a quais, dessa forma, proporcionam um maior teor de sólidos totais na amostra final (REIS, 2017).

A importância do controle de umidade se dá uma vez que se este for muito elevado limitará o transporte de oxigênio, portanto prejudicando a atividade microbiana, todavia, caso este seja muito reduzido a atividade microbiana será retardada. Segundo Cai et al., 2012, obtém-se bons resultados com teor de umidade abaixo de 59%, pois a eficiência da biodegradação é aumentada; entretanto o balanço energético indica que a maior produção energética ocorre

com teor de umidade igual a 68%. A umidade inicial da massa possui efeito significativo nos perfis de temperatura, teor de umidade, espaços de ar livre e no consumo de sólidos voláteis (HULLIÑIR e VILLEGAS, 2015).

O último fator relevante a ser citado é a taxa de aeração, a qual, caso seja elevada, pode impedir a matriz de atingir a fase termofílica, resultando em uma secagem majoritariamente realizada por fenômenos físicos; em contrapartida valores reduzidos são insuficientes para que a fermentação aeróbia ocorra plenamente (HULLIÑIR e VILLEGAS, 2015).

À vista disso, este artigo pretende revisar os dados existentes na literatura a fim de verificar a influência do teor de umidade inicial no resultado final da biossecagem.

2 Objetivos

O objetivo desta pesquisa é revisar os dados existentes na literatura a fim de verificar a influência do teor de umidade inicial no resultado final da biossecagem. Como objetivos específicos, tem-se:

- Analisar a influência do teor de umidade inicial no processo de biossecagem;
- Avaliar a redução de volume e massa considerando teores diferentes de umidade inicial da matriz;
- Avaliar a evolução do teor de sólidos totais (ST) e teor de umidade (U); comparando os diferentes teores de umidade inicial da matriz;
- Avaliar a evolução da temperatura, para cada teor de umidade inicial da matriz.

3 Metodologia

Esta pesquisa foi concebida a partir de duas etapas, sendo a primeira um levantamento de pesquisas científicas e a segunda, mais aprofundada, uma análise dos resultados obtidos em cada caso, partindo da visão da influência do teor de umidade inicial no processo de biossecagem.

Na primeira etapa foi realizado levantamento bibliográfico de artigos científicos, teses e dissertações, no período compreendido entre os anos 2000 a 2021, ligados à biossecagem. Para isso foram utilizadas palavras-chaves, relacionadas ao mesmo.

A biossecagem foi avaliada a partir de pesquisas que abordavam dos mais variados pontos de vista. Todavia nesta pesquisa o foco foi a realização de comparativos entre os teores de umidade inicial e os resultados obtidos. Este levantamento foi realizado a nível nacional e internacional.

Para o desenvolvimento da segunda etapa foram selecionados sete artigos que apresentavam teores de umidade inicial variados, a fim de obter-se um panorama mais amplo. Após esta seleção realizou-se uma análise comparativa dos resultados obtidos em cada artigo, avaliando numericamente os efeitos das variações de umidade no processo de biossecagem em comparação com os dados dispostos na literatura.

4 Resultados

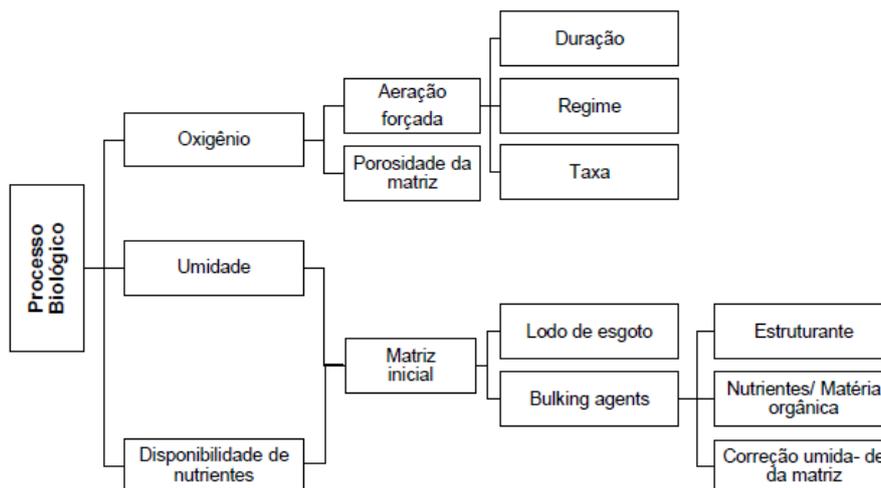
A matriz inicial da biossecagem é constituída por lodo e bulking agents, uma vez que o lodo por si só limita o processo dada sua baixa porosidade, alto teor de umidade e baixa quantia de nutrientes, por isso se faz necessário o uso dos bulking agents. Pode-se observar que o lodo observado na literatura tem as mais diversas origens, comprovando a versatilidade do processo de biossecagem para diferentes tipos de lodo.

Ao observar a literatura nota-se a falta de padronização dos parâmetros analisados, dos quais apenas o teor de umidade se faz constante na maioria dos trabalhos, variando de 61,8% a 88,5%.

A biossecagem do lodo de ETE ocorre devido à processos biológicos e físicos. Os processos biológicos são fundamentados nas atividades microbianas de degradação da matéria orgânica que produzem calor, possibilitando a evaporação da água e, conseqüentemente, removendo-a da matriz. Já os processos físicos consistem na remoção de água da matriz e nas trocas de calor.

Isso posto, é vital que sejam garantidas as condições de oxigênio, umidade da matriz e disponibilidade de nutriente para os microrganismos (NAVAEE-ARDEH; BERTRAND; STUART, 2010; YUAN et al., 2019). A Figura apresenta um esquema dos principais fatores que influenciam o processo biológico da biossecagem do lodo de ETE.

Fluxograma 1 - Esquema dos principais fatores que influenciam o processo biológico da biossecagem do lodo de ETE



Fonte: Efeito da taxa de aeração, da proporção mássica e da umidade da matriz inicial no processo de biossecagem de lodo de ETE

Microrganismos necessitam de água para realizar a degradação da matéria orgânica. Todavia, caso a umidade da matriz seja muito elevada os poros estarão saturados não havendo, assim, os espaços livres necessários para a movimentação do ar e, conseqüentemente, não haverá disponibilidade de oxigênio para os microrganismos aeróbicos, impactando negativamente o processo de biossecagem (YANG; ZHANG; JAHNG, 2014).

Como o lodo de ETE possui alta umidade, se comparado aos resíduos sólidos urbanos

(ZHAO et al., 2010, 2011a), é necessário deixá-lo secar e/ou adicionar bulking agents que possuem teores de umidade menores para que a matriz alcance a umidade ótima. Segundo Yang, Zhang e Jahng (2014) umidade ótima representa a relação entre as necessidades microbianas de água (umidade) e do suprimento adequado de oxigênio.

Huiliñir e Villegas (2014) realizaram a biossecagem de lodo sob três teores de umidade inicial distintos, estes descobriram que, com um teor de sólidos totais igual a 30%, a temperatura da matriz e o consumo de sólidos voláteis aumenta, apresentando maior remoção de umidade para menores valores iniciais da mesma. A umidade inicial da matriz exerce um efeito mais significativo nos perfis de temperatura, teor de umidade, espaço de ar livre, e sólidos voláteis.

Já em 2015, Huiliñir e Villegas, estudaram os efeitos simultâneos do teor de umidade inicial e a taxa de aeração sobre o processo de biossecagem. Para realização dos ensaios laboratoriais os autores utilizaram lodo previamente desidratado em filtro prensa, com adição de floculantes orgânicos a fim de atingir um teor de sólidos igual a 11,75%. Dentro do estudo Huiliñir e Villegas realizaram ao todo nove ensaios, utilizando três taxas de aeração (1, 2 e 3L / min kg (TS)) e três teores de sólidos iniciais (do mais seco para o mais úmido: 41, 32 e 22%). O trabalho evidenciou os efeitos da umidade inicial e da taxa de aeração em perfis de temperatura, remoção de água, remoção de sólidos voláteis, equilíbrio energético e eficiência da biossecagem. Os ensaios que apresentaram maiores atividades microbianas e atingiram temperaturas mais altas foram os que apresentavam o teor de umidade inicial igual à 68%. Enquanto isso em umidades mais elevadas (teor de sólidos igual a 22%) foi necessário um tempo maior para atingir às temperaturas máximas, que ainda assim se mostraram inferiores às outras condições de umidade estudadas. Tal fato atribui-se à baixa atividade microbiana. Por fim, o estudo concluiu que quanto maior o teor de sólidos da amostra inicial, mais rápido será atingido a primeira temperatura máxima e, portanto, mais eficiente será o processo.

Yang, Zhang e Jahng (2014) tiveram como objetivo avaliar a influência do teor de umidade inicial no processo de biossecagem e identificar qual o melhor bulking agent entre: lodo seco por aeração, lodo biosseco, borracha picada e serragem. O trabalho destacou que o teor de sólidos inicial ideal seria na faixa de 30 a 50% e que quando esse valor era demasiado alto ou baixo a atividade microbiana era prejudicada. Os autores explicam que, quando o teor de sólidos inicial é muito baixo, o excesso de umidade preenche os poros e impossibilita o transporte de oxigênio, o que impede que a atividade microbiana ocorra. Já quando o teor de sólidos é muito alto a atividade microbiana é retardada por falta de umidade, reduzindo o desempenho da biossecagem.

A expressão “teor ótimo de umidade inicial” visa otimizar a relação entre a demanda de umidade dos microrganismos e suas necessidades de oxigênio. Além disso visa a manutenção de altas temperaturas pelo maior tempo possível, a fim de remover efetivamente a água no processo de biossecagem.

5 Conclusão

Ao fim desta revisão é possível concluir que a obtenção de um teor de umidade inicial ideal para a mistura de lodo e bulking agents favorece fortemente a ocorrência da atividade biológica, uma vez que o aumento de temperatura durante o processo de biossecagem é diretamente relacionado à redução de sólidos voláteis durante degradação, indicando o sucesso das atividades biológicas e, por conseguinte, garante a maior remoção de água da matriz, o que resulta em um material mais seco.

Apesar da falta de padronização nas pesquisas que discorrem sobre a biossecagem de lodo o teor de umidade inicial ótimo é um dos poucos, se não o único, que apresenta certa conformidade em todos os estudos. Segundo Yang, Zhang e Jahng (2014) a umidade inicial ótima da matriz oscila entre 50 e 70%, já para Huiliñir e Villegas (2015) afirmaram que a umidade inicial da matriz igual a 68% resulta em maiores valores de temperatura e maior remoção de umidade.

Torna-se digno de nota que todos os artigos explicitados nesta revisão são recentes, datando de 2014 em diante, o que demonstra que a biossecagem é uma temática que tem muito a oferecer para estudos futuros.

6 Referências

Abnt (2004). **Associação Brasileira De Normas Técnicas**. Nbr 10.004:2004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio De Janeiro, 2004, 77p.

Achon, C. L. Kellner, E. Akutsu, J. **Subsídios para a gestão de esgotamento sanitário: abordagem da fase sólida**. In: Américo-Pinheiro, J. H. P. Et. Al. (Org.). Recursos Hídricos: Gestão E Sustentabilidade. 2. Ed. Tupã: Anap, 2017. 224p.

Almeida, M. C. R.; Lucatti, T. B. M.; Achon, C. L.; Reis, R. F.; Akutsu, Jorge (2019). **Influência da taxa de aeração no processo de biossecagem de lodo gerado em estação de tratamento de esgoto**. In: 30 Congresso Da Abes 2019, 2019, Natal/Rn. 30º Cbesa Da Abes - Associação Brasileira De Engenharia Sanitária E Ambiental.

Brasil (2010). Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional De Resíduos Sólidos**. Congresso Nacional, Brasília, Df, 2010.

Brasil (2019). Ministério Do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional De Saneamento – Sns. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2017**. Brasília: Sns/Mdr, 2019, 226 P.: Il.

Cai, L.; Chen, T.-B.; Gao, D.; Zheng, G.-D.; Liu, H.-T.; Pan, T.-H. **Influence of Forced Air Volume on Water Evaporation During Sewage Sludge Bio-Drying**. Water Research. 47, P. 4767-4773. 2013.

Cai, L.; Chen, T.-B.; Zheng, S.-W.; Liu, H.-T.; Zheng, G.-D. **Decomposition of lignocellulose and readily degradable carbohydrates during sewage sludge biodrying, insights of the potential role of microorganisms from a metagenomic analysis**. Chemosphere 2018, 201, 127–136. Doi: 10.1016/J. Chemosphere.2018.02.177.

Cai, L.; Gao, D.; Chen, T.-B.; Liu, H.-T.; Zheng, G.-D.; Yang, Q.-W. **Moisture variation associated with water input and evaporation during sewage sludge**

Cai, L.; Gao, D.; Hong, N. **The effects of different mechanical turning regimes on heat changes and evaporation during sewage sludge biodrying**. Drying Technology: An International Journal, 33:10, 1151-1158, 2015.

Cai, L.; Krafft, T.; Chen, T.-B.; Gao, D.; Wang, L. **Structure modification and extracellular polymeric substances conversion during sewage sludge biodrying process**. Bioresour. Technol. 2016, 157, 414–421. Doi: 10.1016/J. Biortech.2016.05.102.

Cai, L.; Krafft, T.; Chen, T.-B.; Lv, W.-Z.; Gao, D.; Zhang, H.-Y. **New insights into biodrying mechanism associated with tryptophan and tyrosine degradations during sewage Sludge Biodrying**. Bioresour. Technol. 2017, 244, 132–141. Doi:

10.1016/J.Biortech.2017.07.118.

Cai, L.; Zheng, S.-W.; Shen, Y.-J.; Zheng, G.-D.; Liu, H.-T.; Wu, Z.-Y. **Complete genome sequence provides insights into the biodrying-related microbial function of bacillus thermoamylovorans isolated from sewage sludge biodrying material.** *Bioresour. Technol.* 2018, 260, 141–149. Doi: 10. 1016/J.Biortech.2018.03.121.

Cordeiro, J. S. **Processamento de lodos de estações de tratamento de água (etas).** In: Andreolli, C. V. (2001) Coord. Resíduos Sólidos Do Saneamento: Processamento, Reciclagem E Disposição Final. Capítulo 9. Rio De Janeiro: Abes.

David, Airton Checoni. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** 2002. 151 P. Tese (Mestrado Em Engenharia) - Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo. São Paulo.

De Almeida, Marina C. R. *Et Al.* **Efeito da taxa de aeração, da proporção mássica e da umidade da matriz inicial no processo de biossecagem de lodo de ETE.** Orientador: Profª. Drª. Cali Laguna Achon. 2020. 152 F. Tese (Mestrado Em Engenharia Civil) - Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Urbana – PPGEU Da Universidade Federal De São Carlos, São Carlos, SP, 2020.

Hao, Z.; Yang, B.; Jahng, D. **Spent coffee ground as a new bulking agent for accelerated biodrying of dewatered sludge.** *Water Research*, V. 138, P. 250-263, 2018.

Huilinir, C.; Villegas, M. **Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge.** *Water Res.* 2015, 82, 118–128. Doi: 10.1016/J.Watres.2015.04.046

Huilinir, C.; Villegas, M. **Simultaneous effect of initial moisture content and airflow rate on biodrying of sewage sludge.** *Water Research*, 82, P. 118-128, 2015.

Lucatti, T. B. M.; Achon, C. L.; Reis, R. F.; Cordeiro, João S.; Akutsu, Jorge (2017). **Estudo do processo de biossecagem de lodo de ETE.** In: Congresso Abes/ Fenasan, 2017, São Paulo. Associação Brasileira De Engenharia Sanitária E Ambiental, 2017

Mortara, F. C (2011). **Utilização de leitos de drenagem no desaguamento de lodos anaeróbios.** 241 P. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo. São Paulo, 2011.

Outwater, A. B. **Reuse of sludge and minor wastewater.** Boca Raton: Lewis Publishers, 1994.

Reis, R. F. **Sistema de remoção de água de lodo gerado em estação de tratamento de esgoto com duas fases: desaguamento inicial em leito de drenagem seguido de biossecagem.** São Carlos, Sp, 2017. 256p.

Reis, Renan Felício; Cordeiro, Joao Sérgio; Font, Xavier; Achon, Cali Laguna (2019). **The biodrying process of sewage sludge - a review.** *Drying technology*, V. 37, P. 1-14, 2019.

Villegas, M.; Huilinir, C. **Biodrying of sewage sludge: kinetics of volatile solids degradation under different initial moisture contents and air-flow rates.** *Bioresour. Technol.* 2014, 174, 33–41

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento De Engenharia Sanitária E Ambiental; Universidade Federal De Minas Gerais, 2005. 452p.

Water input and evaporation during sewage sludge bio-drying. *Bioresour. Resour.* 2012, 117, 13–19.

Winkler, M.-K.H.; Bennenbroek, M. H.; Horstink, F. H.; Van Loosdrecht, M. C. M.; Van De Pol, G.-J. **The biodrying concept: an innovative technology creating energy from sewage sludge.** *Bioresource Technology*, 147, P. 124-129, 2013.

Yang, B., Zhang, L., Jahng, D. **Importance of initial moisture content and bulking agent for biodrying sewage sludge.** *Drying Technology*, V. 32, P. 135-144, 2014.