Estudo da cinética de secagem de lodos digeridos provenientes de ETE de indústria de colágeno e gelatina

Study of drying kinetics of digested sludge from a wastewater treatment plant of the collagen and gelatine industry

DOI:10.34117/bjdv8n6-209

Recebimento dos originais: 21/04/2022
Aceitação para publicação: 31/05/2022

Araceli Scalcon
Doutora em Engenharia Química
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Avenida Max Planck, 3797, Edifício Charles Darwin, Toledo – PR, CEP: 85919-899
E-mail: araceliscalcon@gmail.com

Ana Paula Sone
Doutorado em Engenharia Quimica
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Rua Hugo Zenni, 157, Industrial, CEP: 85905530, Toledo - Paraná
E-mail: anapaulasone@hotmail.com

Jessica Angela Pandini Klauck
Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos Naturais
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Rodovia Estadual BR, 182, Edifício Charles Darwin, CEP: 85919-899
E-mail: jespandini@gmail.com

Graziella Melissa de Vignalli Florence Miola
Mestrado em Biotecnologia
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Rodovia Estadual BR, 182, Edifício Charles Darwin, CEP: 85919-899
E-mail: graziella.florence77@gmail.com

Letycia Lopes Ricardo
Pós-doutorado
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Rodovia Estadual BR, 182, Edifício Charles Darwin, CEP: 85919-899
E-mail. letycialopesr88@gmail.com

Luís Felipe Priester
Mestrado em Tecnologias em Biociências
Instituição: Associação de Pesquisa e Extensão, Faculdade Biopark
Endereço: Rodovia Estadual BR, 182, Edifício Charles Darwin, CEP: 85919-899
E-mail: luisf.priester@gmail.com

Melissa Gurgel Adeodato Vieira
Pós-doutorado
Instituição: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Endereço: Cidade Universitária Zeferino Vaz - Barão Geraldo, Campinas - SP, CEP: 13083-970
E-mail: melissagav@feq.unicamp.br

Marcelino Luiz Gimenes
Doutorado
Instituição: Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Endereço: Av. Colombo, 5790, Zona 7, Maringá - PR, CEP: 87020-900
E-mail: marcelino.gimenes@gmail.com

RESUMO
Os lodos de indústria de gelatina apresentam potencial de utilização como biofertilizante, entretanto possuem elevado teor de umidade (98%). Este trabalho objetivou analisar a influência de três diferentes vazões mássicas do ar de secagem (0,3, 0,4 e 0,5 kg.min-1) para uma temperatura fixa de 110ºC na secagem deste lodo em um secador convectivo. Foram utilizados os modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico para ajuste aos modelos. Os resultados mostraram que, para a menor vazão, o tempo de secagem foi maior. Já para as duas maiores vazões o tempo de secagem foi o mesmo, mostrando que a velocidade de secagem não apresentou tanta influência. Os modelos apresentaram bons ajustes para as vazões de 0,3 e 0,5 kg.min^{-1}, destacando-se osmodelos de Page e Logarítmico, com coeficientes de correlação de aproximadamente 99,85%. Entretanto, para a vazão de 0,4 kg.min^{-1} os modelos não apresentaram bons ajustes, com coeficientes de correlação de aproximadamente 86,94%.

Palavras-chave: lodo, secagem, biofertilizate.

ABSTRACT
The sludge from gelatine industry has potential for use as biofertilizer, however have high moisture content (98%). This paper aimed to analyze the influence of three different mass flow rates of drying air (0.3, 0.4 and 0.5 kg.min-1) for a fixed temperature of 110ºC on the drying of this sludge in a convective dryer. Lewis, Page, Henderson and Pabis and Logarithmic models were used for model fitting. The results showed that, for the lower flow rate, the drying time was longer. For the two highest flow rates, the drying time was the same, showing that the drying speed did not have as much influence. The models presented good fits for the flow rates of 0.3 and 0.5 kg.min-1, with Page and Logarithmic models standing out, with correlation coefficients of approximately 99.85%. However, for the flow rate of 0.4 kg.min-1 the models did not present good fits, with correlation coefficients of approximately 86.94%.

Keywords: sludge, drying, biofertilizer.

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos, inerente a qualquer atividade realizada pelo homem, vem crescendo continuamente, entre esses, encontram-se os resíduos sólidos (Morejon *et al.*,

2012; Bennamoun, 2012; Arlabosse *et al.*, 2012). Por esta razão, a abordagem de temas relacionados ao tratamento, à redução e à disposição ambientalmente adequada destes resíduos é de especial interesse (Freire *et al.*, 2014).

Do processo de fabricação de gelatina resultam grandes quantidades de resíduos orgânicos na forma líquida. O tratamento destes resíduos líquidos gerados no processo de fabricação de gelatina dá origem a resíduos sólidos (lodos), e estima-se que a cada tonelada de gelatina produzida são geradas 6toneladas de resíduos sólidos (Reimann, 2005).

Devido à composição desses lodos, que possuem micronutrientes e macronutrientes, incorporá- lo na agricultura é uma interessante opção de destinação final. Entretanto, esta solução não pode ser realizada sem a eliminação de componentes perigosos e redução da concentração de poluentes pormeio da aplicação de alguns tratamentos (Bennamoun *et al.*, 2013a).

lém disso, outra característica que limita o uso agrícola do lodo é o seu elevado teor de umidade, de aproximadamente 98%. Este fato favorece a aceleração dos processos de fermentação e degradação e também dificulta atividades típicas de gestão ambiental, tais como o tratamento físico, otransporte e o armazenamento em condições favoráveis (Freire *et al.*, 2014; Guidi, 2012; Taniguchi, 2010; Guimarães, 2009).

Por esta razão, a secagem constitui uma importante etapa de tratamento, pois reduz comeficiência o teor de umidade do lodo, reduzindo consequentemente seu volume e custos com manuseio, transporte e armazenamento (Bennamoun *et al.*, 2013a). Quando desidratado de umaconcentração de 2% de sólidos para 20% de sólidos, o lodo tem seu volume é reduzido em até 90% (Nielsen e Willoughby, 2005; Vaxelaire *et al.*, 2004; Vaxelaire *et al.*, 1999).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a secagem de lodo proveniente de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de gelatina por meioda análise da influência de três vazões mássicas do ar de secagem (0,3, 0,4 e 0,5 $kg.min^{-1}$) para uma temperatura fixa de 110ºC na secagem deste lodo em um secador convectivo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA E PREPARO DO LODO

O lodo utilizado neste trabalho é um lodo de origem industrial, gerado na estação de tratamento de efluentes (ETE) da indústria de gelatina GELITA, unidade de Maringá.

Este lodo foi coletado após passar por processos de biodigestão anaeróbia e lagoas de aeração, sendo designado como lodo biológico de gelatina (LBG).

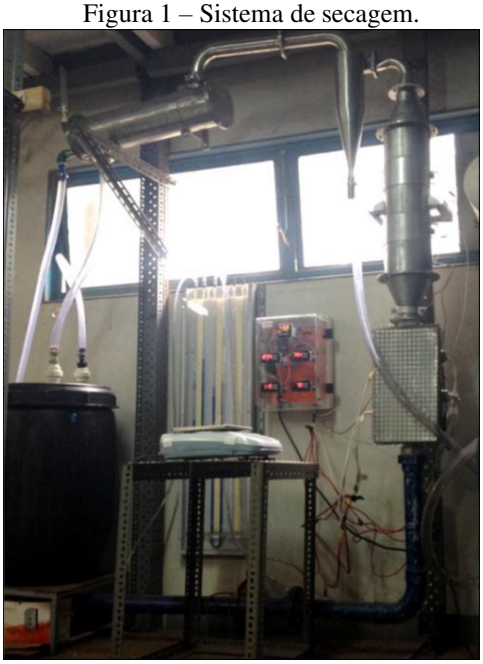
Devido ao seu alto teor de umidade e heterogeneidade (fase aquosa na parte superior, e a lama decantada), foi necessário submeter o lodo a algumas etapas de preparação. Primeiramente, foiretirada a água sobrenadante do lodo aeróbio com o auxílio de um sifão. Após a retirada inicial de água o lodo foi levado a um decantador, onde permaneceu por aproximadamente 24 horas. O lodo decantado foi então filtrado em um filtro a vácuo. O lodo retido no meio filtrante foi acondicionado em recipientes herméticos e armazenado à temperatura de 4 °C aproximadamente.

2.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A análise de sólidos foi realizada por meio do método gravimétrico que é considerado uma metodologia clássica de acordo com Standard Methods (APHA, 1998).

O sistema de secagem foi cedido pela Faculdade de Engenharia Química da UniversidadeEstadual de Campinas para o Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá e conta com as seguintes peças: soprador e acessórios, resfriador de ar, leito de sílica, medidor de vazão, aquecedor elétrico, câmara de secagem, medida e registro de temperatura, ciclone, condensador e sistema de eliminação de odores, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Sistema de secagem.



Para a realização dos experimentos da cinética de secagem ligava-se o secador e regulava-se a velocidade do ar e a temperatura do ar desejada. Aguardava-se a estabilização das condições selecionadas. Em seguida, pesava-se a bandeja separadamente e depois pesava-se uma massa de 600 gde lodo, e este era levado ao secador. Nos primeiros 90 minutos a massa de sólidos era determinada em intervalos de 10 minutos e, a partir daí, em intervalos de 30 minutos. Juntamente com a massa eram monitoradas as temperaturas medidas pelos termopares. Também se acompanhava continuamente a temperatura ambiente e umidade relativa do ar durante os ensaios. Após a secagem,o lodo seco era triturado, quarteado e acondicionado em recipientes plásticos vedados e identificados para posteriores análises. Foram avaliadas três condições diferentes de vazões mássicas do ar de secagem (0,3, 0,4 e 0,5 $kg.min^{-1}$) para uma temperatura fixa de 110ºC.

Por meio dos dados experimentais obtidos plotou-se as curva de secagem e curva da taxa de secagem. Para o ajuste dos dados experimentais da cinética de secagem são utilizados os modelos de Lewis (1921), Page (1949), Henderson & Pabis (1961) e Logarítmico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo de umidade inicial obtido para o lodo bruto 99,18 ± 0,19 %. Este valor está dentro da faixa de valores encontrados na literatura e próximo ao resultado fornecido no boletim de análise realizado periodicamente pela Empresa (99,4 %). Este resultado confirmou a necessidade de um processo preliminar de desidratação mecânica. Após esta etapa, obteve-se um teor de umidade de 92,21 ± 0,009. Nas Figuras 2 e 3 são mostradas a cinética e taxa de secagem para as condições estudadas.

Figura 2 – Cinética de secagem para as condições estudadas.

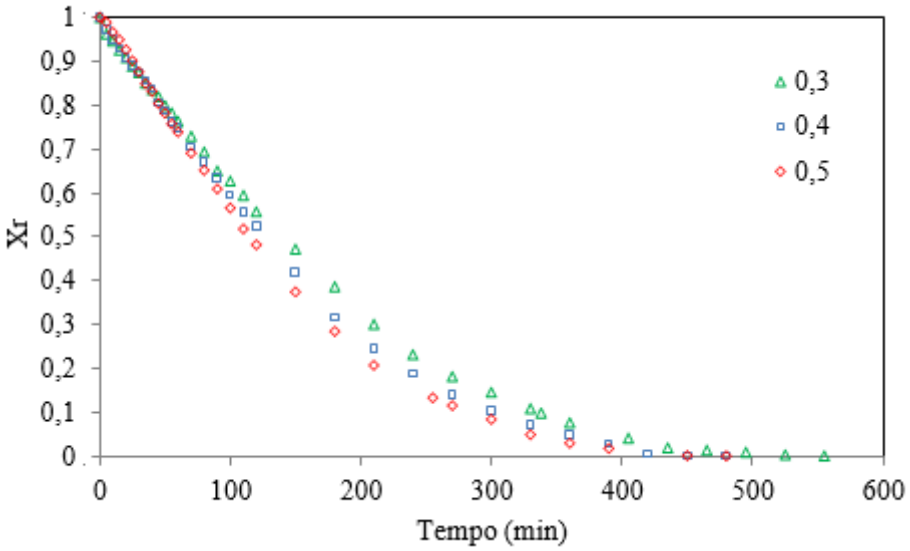
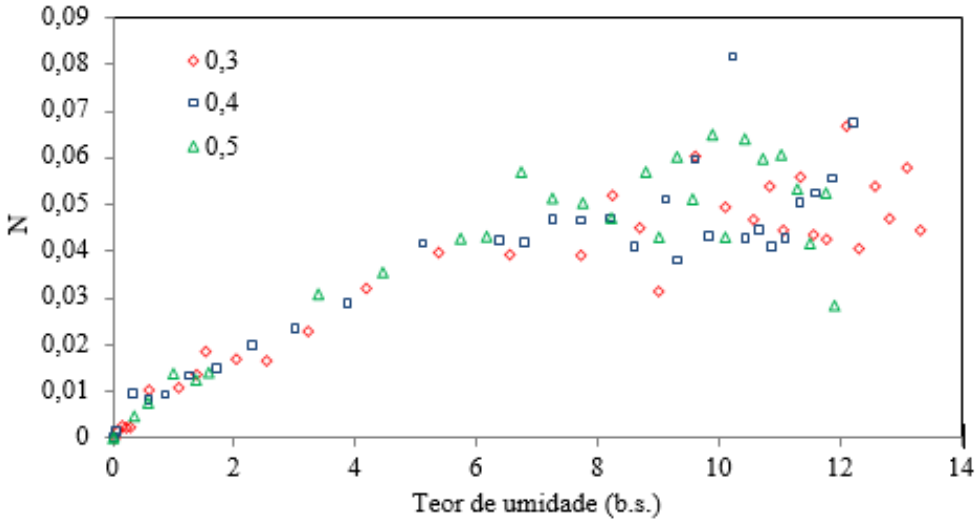


Figura 3 – Taxas de secagem para as condições estudadas.



No ensaio de secagem verificou-se por meio das taxas de secagem que houve um período inicialde aquecimento do material. Este período durou 30 minutos, desde o início da secagem, quando o material encontrava-se com teor de umidade de 13 (b.s.) até que a amostra atingisse atingir um conteúdo de umidade de aproximadamente 6 (b.s.).

Em seguida, iniciou-se o período de taxa decrescente. Nesta fase observou-se visualmente entre as pesagens que a torta começava a apresentar um enrijecimento da camada superficial e, posteriormente, apareceram fissuras e quebras na torta, além do início da redução do volume.

Este fenômeno de quebra ou fissura da torta foi observado por diversos autores

(Li et al, 2015a; Li et al, 2015b; Bennamoun *et al.*, 2014; Bennamoun *et al.*, 2013b; Hsu *et al.*, 2010), os quais afirmaram que, em virtude da água presente fazer parte da estrutura do sólido, a mesma é afetada pela remoção da umidade. As camadas superficiais tendem a secar mais rapidamente do que no seuinterior, e quando a taxa de secagem decresce, é possível que se estabeleçam diferenças significativas no teor de umidade no interior da amostra, provocando fissuras ou deformação (encolhimento), ou ainda, é possível que se forme um revestimento relativamente impermeável de material parcialmente seco inibindo o prosseguimento da secagem no interior do sólido.

A secagem ocorreu até que o teor de sólidos estivesse entre 92-95% (CONAMA, 2006; EPA, 2003). O tempo de secagem foi de 585 minutos para a vazão de 0,3 $kg.min^{-1}$ e 480 minutos para as vazões de 0,4 e 0,5 $kg.min^{-1}$. Percebe-se que o aumento da vazão mássica de ar diminui a sua influência no tempo de secagem do lodo.

Os dados de secagem foram ajustados aos modelos apresentados anteriormente e, para avaliar a adequação destes aos dados experimentais, foram utilizados o coeficiente de correlação ajustado (R^2 ajustado), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de correlação ajustado (R^2 ajustado) para as condições estudadas.

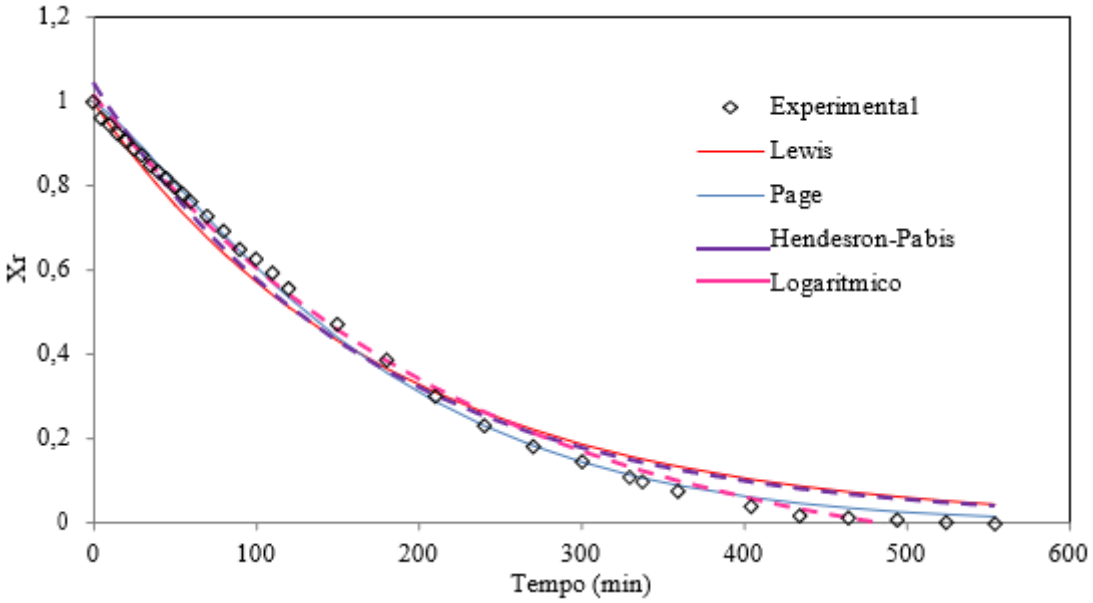
VAZÃO ($KG.MIN^{-1}$)	**LEWIS**	**PAGE**	**HENDERSON-PABIS**	**LOGARÍTMICO**
0,3	0,99276711	0,998699	0,994469	**0,998562**
0,4	0,86600063	0,870721	0,866926	**0,874078**
0,5	**0,99014391**	**0,999754**	**0,994626**	**0,998224**

Os modelos apresentaram bons ajustes para as vazões de 0,3 e 0,5 kg.min-1, destacando-se os modelos de Page e Logarítmico, com coeficientes de correlação de aproximadamente 99,85%. Entretanto, para a vazão de 0,4 kg.min-1 os modelos não apresentaram bons ajustes, com coeficientes de correlação de aproximadamente 86,94%. A Tabela 2 apresenta os parâmetros dos modelos ajustados para o ensaio com vazão de 0,3 $kg.min^{-1}$. Com o ajuste paramétrico desenvolveu-se a simulação do processo de secagem nesta condição, mostrada na Figura 4.

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos ajustados para o ensaio (T=110ºC e Qar = 0,3 kg.min-1)

Modelos	Parâmetros a	k	n	c
Lewis, 1921		0,005531		
Page, 1949		0,263856	1,231748	
Henderson e Pabis, 1961	1,044553	0,353527		
Logaritmico	1,155730	0,264007		-0,140367

Figura 4 – Cinética de secagem para o ensaio (T=110ºC e Qar = 0,3 kg.min-1) e dados preditos pelos modelos ajustados.



4 CONCLUSÕES

Por meio da análise dos resultados conclui-se que o alto teor de umidade torna essencial a aplicação de uma etapa de tratamento dos lodos de indústria de gelatina. Além da operação de secagem, prevista desde o início do trabalho, notou-se também a necessidade de uma etapa preliminarde desidratação que diminuiu com êxito o teor de umidade.As curvas de cinética de secagem obtidas para o lodo apresentaram comportamento típico deste tipo de material, com um período inicial de aquecimento do material (adaptação) e um período de taxa decrescente. Além disso, houve enrijecimento da camada superficial, fissuras e quebras na torta, além do início da redução do volume, fenômenos que serão estudados em trabalhos futuros.

A análise dos resultados obtidos para o tempo de secagem mostra que, para a vazão de 0,3 kg.min^{-1}, o tempo foi maior, enquanto que para as vazões de 0,4 e 0,5 kg.min^{-1} o tempo foi menor. Apesar das vazões diferentes, para ambas as condições o tempo de

secagem foi o mesmo. Percebe-se então que o aumento da vazão mássica de ar diminui a sua influência no tempo de secagem do lodo.

Os modelos apresentaram bons ajustes para as vazões de 0,3 e 0,5 $kg.min^{-1}$, destacando-se os modelos de Page e Logarítmico. No entanto, não representaram adequadamente a cinética de secagempara a vazão intermediária.

REFERÊNCIAS

ARLABOSSE P.; FERRASSE J. H.; LECOMPTE D,; CRINE M.; DUMONT Y.; LÉONARD A.

Efficient sludge thermal processing: from drying to thermal valorisation. *Modern DryingTechnology: EnergySavings* v.4, p. 296-329, 2012.

BENNAMOUN, L.; ARLABOSSE, P.; LÉONARD, A. Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 28, p. 29-43, 2013a.

BENNAMOUN, L.; CRINE, M.; LEONARD, A. Convective drying of wastewater sludge: introduction of shrinkage effect in mathematical modeling. *Drying Technology.* V. 31, P. 643-654, 2013b.

BENNAMOUN, L. Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 16, p. 1061-1073, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO No 375 Define
critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações detratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências, 2006.

EPA - United States Environmental Protection Agency - Code of Federal Regulations 40 CFRPart 503 “Standards for the Use and Disposal of Sewage Sludge”, 2003.

FREIRE, F. B., FREIRE, F. B., FREIRE, J. T., PERAZZINI, H. Tópicos em tratamento de
resíduos e meio ambiente. São Carlos: Animeris, 2014. 368 p.

GUIDI, I. M. *Uso do lodo biológico de indústria de gelatina para adubação de cana-de-açúcar.*
2012. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

GUIMARÃES, R. C. M. Atributos químicos em solos tratados com lodo biológico de indústriade gelatina. 2009. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

HSU, J.P.; TAO, T.; SU, A.; MUJUMDAR, A.S.; Lee, D.J. Model for sludge cake drying accounting for developing cracks. *Drying Technology*. v. 28, n. 7, p. 922-926, 2010.

LI, J.; PLOUGONVEN, E.; FRAIKIN, L.; SALMON, T.; TOYE, D.; LEONARD, A. Image
analysis of X-ray tomograms of sludge during convective drying in a pilot-scale fixed bed.Chemical Engineering Science. v. 134, p. 222-229, 2015a.

LI, J.; FRAIKIN, L.; SALMON, T.; BENNAMOUN, L.; TOYE, D.; SCHREINEMACHERS, R.;

LEONARD, A. Investigation on convective drying of mixtures of sewage sludge and sawdust in a fixed bed. Drying Technology. v. 33, p. 704-712, 2015b.
NIELSEN, S.; WILLOUGHBY, N. Sludge treatment and drying reed bed systems in Denmark.

Water and Environment Journal, v.19, n.4, p. 296–305, 2005.

TANIGUCHI, C. A. K. Mineralização do lodo biológico de indústria de Gelatina, atributos químicos de solo e uso fertilizante para produção de milho. 2010. 109f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade EstadualPaulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

VAXELAIRE J, CÉZAC P. Moisture distribution in activated sludges: a review. *Water Research*,v. 38 p. 2215–230, 2004.

VAXELAIRE, J.; BONGIOVANNI, J.M.; PUIGGALI J.R. Mechanical dewatering and thermaldrying of residual sludge, *Environmental Technology,* v. 20, n.1, p. 29–36, 1999.

MOREJON, C. F. M.; LIMA, J. F de; ROCHA JR.; W. F., DALLA POSSA R. New model of
municipal solid waste management. *Int. J. Environment and Sustainable Development*, v. 11, n. 3, 2012.

REIMANN, P. Gelatina tem mercado promissor. Gazeta Mercantil, São Paulo, 28 mai. 2005.