

## II-957 - INFLUÊNCIA DO PRÉ-TRATAMENTO TÉRMICO NO DESAGUAMENTO DE LODO ANAERÓBIO DE ESGOTO

### **Marcos André Capitulino de Barros Filho** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN. Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

### **Júlio Cezar Rietow** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Especialista em Cadeias Produtivas do Biogás pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre e Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

### **Vitor Renan da Silva** <sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Tecnologia de Alimentos pela UFPR e Doutor em Engenharia de Alimentos pela UFPR. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química da UFPR.

### **Gustavo Rafael Collere Possetti** <sup>(4)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre e Doutor em Ciências na área de Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Gerente de Pesquisa e Inovação da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

### **Miguel Mansur Aisse** <sup>(5)</sup>

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre e Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Professor Sênior do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA/UFPR).

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Centro Politécnico da UFPR, Bloco V, Jardim das Américas, Curitiba - PR, CEP: 82590-300 - Brasil - Tel: +55 (41) 3361-3210 - e-mail: marcos.capitulino@ufma.br.

### **RESUMO**

Uma grande quantidade de lodo é produzida em estações de tratamento de esgoto em todo o mundo e a tendência é de aumento contínuo da produção como consequência do crescimento populacional e aumento da cobertura do sistema de esgotamento sanitário. O desaguamento do lodo consiste em etapa de processamento amplamente investigada, em função de sua importância para reduzir o volume de lodo a ser tratado ou disposto. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do prévio tratamento térmico, a baixa temperatura e curta duração, no desaguamento de lodo anaeróbico de esgoto, atendendo as relações tempo/temperatura estabelecidas na resolução Conama nº498/2020. Para isso, a influência do tratamento térmico foi investigada por meio da realização das análises de viscosidade, Sólidos Totais (ST) e ensaio de desaguamento nos lodos bruto e tratado termicamente, com determinação da concentração de ST nas tortas desaguadas por centrifugação. Os resultados mostraram que o lodo tratado termicamente apresentou rendimento de desaguamento superior ao do lodo *in natura*, com resultados melhores para os tratamentos realizados a 75 e 80° C, para os quais identificaram-se aumento da performance do desaguamento do lodo de 23,4 e 26,6%, respectivamente, em relação ao lodo sem prévio tratamento térmico. Além disso, o viscosímetro do tipo copo Ford não se mostrou adequado para a determinação da viscosidade do lodo, visto que o tempo de escoamento superou o limite estabelecido na NBR 5849/2015, de 20 a 100 s. Por outro lado, o viscosímetro rotacional do tipo Brookfield mostrou-se adequado para a obtenção de propriedades reológicas do lodo de esgoto, sendo necessário um maior número de ensaios para aferição da viscosidade aparente, com especial atenção para a correta homogeneização das amostras, previamente à realização dos testes. Os resultados do presente trabalho irão nortear a seleção de alternativas de projeto a serem propostas para pequenas comunidades, no emprego de um sistema inovador denominado Sistema Térmico de Higienização de Lodo (STHIL).

**PALAVRAS-CHAVE:** desaguabilidade, higienização térmica, lodo anaeróbico de esgoto, sistema térmico de higienização de lodo, viscosidade aparente.

## INTRODUÇÃO

O lodo é um subproduto inevitável do tratamento de esgoto que inclui em sua composição patógenos, metais pesados, poluentes orgânicos e outras substâncias tóxicas. Os componentes do lodo são complexos e variáveis, tais como as Substâncias Poliméricas Extracelulares (SPE). As SPE são hidrofílicas e compressíveis, apresentando-se como uma estrutura altamente hidratada envolvendo a parede celular bacteriana e solta em solução como polímeros de lodo, dificultando o processo de desaguamento (CAO et al., 2021). Como uma etapa importante para reduzir o volume do lodo e facilitar o tratamento posterior, o desaguamento é amplamente investigado (YU et al., 2014).

As SPE consistem em uma mistura complexa de polímeros de alto peso molecular excretada por microrganismos a partir da lise celular, bem como matéria orgânica e inorgânica presente no esgoto, sendo proteínas e carboidratos seus principais constituintes. A natureza química dessas substâncias é importante na determinação de muitas propriedades do lodo, tais como capacidade de floculação, sedimentação e desaguamento (LIU; FANG, 2002; HUANG et al., 2022).

O tratamento térmico é relatado como importante para possibilitar a liberação de carboidratos e proteínas para a fase solúvel (NEYENS; BAEYENS, 2003; APPELS et al., 2010), diminuir a viscosidade e melhorar a desaguabilidade do lodo, além de permitir a sua higienização (HIGGINS et al., 2017; BARBER, 2021). A higienização por via térmica tem sua viabilidade atestada em médias e grandes Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), para as quais equipamentos robustos e geralmente de alto custo são amplamente comercializados, sendo estes uma opção inviável para pequenos sistemas de tratamento. O Sistema Térmico de Higienização do Lodo (STHIL) vem sendo estudado por diversos autores como uma alternativa para ETEs de pequeno porte (WAGNER, 2015; RIETOW et al., 2018; KUK, 2019). O STHIL consiste em leito de secagem modificado, com o fundo aquecido, no qual se utiliza como principal fonte de energia, para aumento da temperatura do lodo, o biogás gerado em reatores anaeróbios.

Os tratamentos térmicos são geralmente divididos em tratamentos de baixa temperatura (<100°C) e de alta temperatura (>100°C), sendo este último denominado hidrólise térmica (NAZARI et al., 2017). Vários estudos reportam os efeitos do pré-tratamento térmico do lodo de esgoto no aumento da produção de metano (CHOI; HAN; LEE, 2018), melhoria da biodegradabilidade do lodo (APPELS et al., 2010) e mudanças na performance do desaguamento (FENG et al., 2014). No entanto, a maior parte desses estudos avaliam os efeitos do pré-tratamento térmico a alta temperatura em lodo aeróbio, proveniente de reatores do tipo lodos ativados, submetidos a posterior digestão anaeróbia. Entre os poucos trabalhos que avaliaram lodo anaeróbio de reatores UASB tratado termicamente estão os conduzidos por FRANÇA (2002) e BORGES et al. (2009). Ambos os estudos relataram que a higienização do lodo foi verificada em condições nas quais a temperatura se encontrava a 67°C, e que o lodo tratado termicamente apresentou rendimento de desaguamento inferior ao do lodo *in natura*.

Estudos envolvendo pré-tratamento térmico a baixa temperatura foram conduzidos em tempos de tratamento longos, como 10 h (NIELSEN et al., 2011), 72 h (FERRER et al., 2008) e até 7 dias (GAVALA et al., 2003). No entanto, um tempo de tratamento muito longo implica em maiores gastos energéticos, podendo inviabilizar o processo. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do tratamento térmico, a baixa temperatura e curta duração, no desaguamento de lodo anaeróbio de esgoto, atendendo as relações tempo/temperatura estabelecidas na resolução Conama nº498/2020 (BRASIL, 2020), visando nortear a seleção de alternativas de projeto a serem propostas para pequenas comunidades, no emprego do STHIL. Tal sistema, em desenvolvimento por meio de estudos entre Universidade e Empresa de Saneamento, visa utilizar o biogás produzido nos reatores anaeróbios das estações de tratamento de esgoto no desaguamento do lodo em leitos de secagem modificados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização do lodo bruto

O lodo analisado no presente estudo foi lodo anaeróbio de reatores de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), provenientes de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) instalada no Sul do Brasil. O lodo

bruto foi caracterizado por meio dos seguintes parâmetros: Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis Totais (SVT) e viscosidade. Os ST e SVT foram determinados de acordo com os métodos padrão da APHA (2012).

Inicialmente, tentou-se determinar a viscosidade do lodo pelo copo Ford, no entanto, o tempo de escoamento superou o limite estabelecido na NBR 5849/2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), de 20s a 100s. Sendo assim, em um segundo momento, a viscosidade foi aferida em Viscosímetro Brookfield, equipado com um sistema para controlar a temperatura a 25°C. As curvas de viscosidade foram determinadas com variação da taxa de cisalhamento entre 10 e 105 s<sup>-1</sup>.

### Tratamento térmico

Para a realização do tratamento térmico, o lodo foi armazenado em recipientes vedados para evitar a saída de água evaporada do sistema, permitindo um elevado teor de umidade presente no meio e favorecendo um maior fluxo de transferência de calor no lodo. Tal prática baseou-se nos trabalhos desenvolvidos por POSSETTI et al. (2012) e WAGNER (2015) de secagem e higienização térmica de lodo de esgoto, cuja metodologia mostrou-se efetiva por permitir melhor aquecimento da massa de lodo, promovendo a sua higienização. Pelo fato de não haver perda de água, assumiu-se que não houve alteração das concentrações de ST e SVT no lodo tratado termicamente.

O aquecimento das amostras de lodo foi realizado, em laboratório, com auxílio de uma chapa aquecedora e de uma estufa. Os ensaios foram realizados em triplicata e as condições de tempo e temperatura foram monitoradas com auxílio de cronômetro e termômetro. Na Tabela 1 estão apresentadas as condições dos ensaios de tratamento térmico realizados no presente estudo. Com as temperaturas previamente definidas, a duração de cada ensaio foi determinada de acordo com os regimes e requisitos preconizados pela Resolução Conama n° 498/2020 (BRASIL, 2020), para os processos de redução de patógenos que garantem a obtenção de bio-sólido classe A.

**Tabela 1: Relações de Tempo/Temperatura Ensaídas no Tratamento Térmico do Lodo.**

LODO EMPREGADO	TEOR DE ST NO LODO (%)	TEMPERATURA DO PROCESSO (°C)	DURAÇÃO DO ENSAIO
Lodo de reator UASB bruto	~4	55	24 horas
		60	5 horas
		65	1 hora
		70	30 minutos
		75	6 minutos
		80	1 min e 20 segs.

Fonte: Os autores (2023)

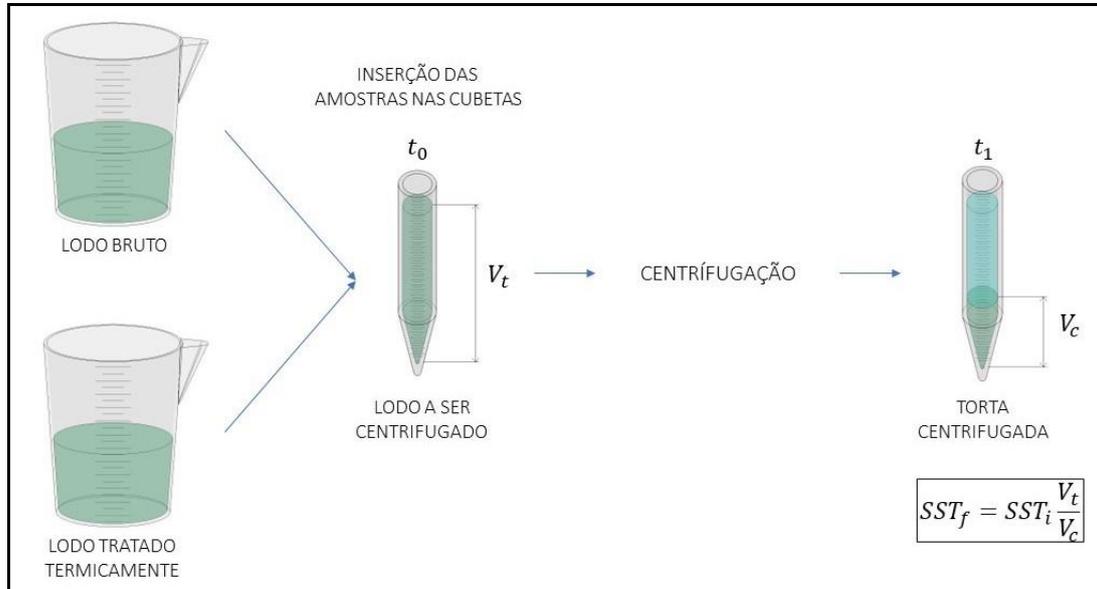
### Desaguamento dos lodos bruto e tratado termicamente

A influência do tratamento térmico foi investigada por meio da realização das análises de viscosidade, Sólidos Totais (ST) e ensaio de desaguamento nos lodos bruto e tratado termicamente, com determinação da concentração de ST das tortas desaguadas centrifugamente. Foi escolhida a centrifugação pela facilidade na condução do estudo preliminar do desaguamento, nesta primeira aproximação do estudo.

A concentração de SST foi determinada no lodo desaguado, em triplicata, considerando duas premissas: 1) o volume interno do frasco de centrifugação contendo a amostra de lodo é um sistema fechado; e 2) todos os sólidos suspensos presentes no lodo estão contidos na torta final gerada após a centrifugação, isto é, considerou-se desprezível a concentração de sólidos suspensos remanescentes no clarificado.

O estudo de desaguamento dos lodos baseou-se em uma adaptação das metodologias propostas por Reali et al. (1999) e Li et al. (2012). As amostras dos lodos bruto e tratado termicamente foram centrifugadas por 20 min a uma força centrífuga relativa de 3.400 rpm. Os sólidos obtidos das separações sólido-líquido formaram as

tortas desaguadas e os teores de ST dessas tortas foram utilizados como índices para avaliar a desaguabilidade dos lodos, de maneira que maiores valores de ST nas tortas indicaram melhor desaguabilidade dos lodos. Esse procedimento foi realizado conforme ilustrado na Figura 1.



**Figura 1: Determinação da concentração de sólidos totais na torta de lodo desaguada centrifugamente.**

Legenda:  $SST_i$  – concentração de sólidos suspensos totais no lodo antes da centrifugação (mg/L).  $SST_f$  – concentração de sólidos suspensos totais no lodo após a centrifugação (mg/L).  $V_t$  – volume de lodo a ser centrifugado (mL).  $V_c$  – volume de lodo centrifugado (torta).

Fonte: Os autores (2023)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do lodo de esgoto bruto

O lodo anaeróbico coletado foi caracterizado por meio das análises de SST e SVT, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização do Lodo de Esgoto Coletado.**

AMOSTRAS	ST (mg/L)	STV (mg/L)	STV/ST
Lodo 1	55.174	34.406	0,62
Lodo 2	27.684	15.508	0,56

Legenda: ST – Sólidos Totais; STV – Sólidos Totais Voláteis.

Fonte: Os autores (2023)

Foram realizados dois ensaios para determinação da viscosidade do lodo sem prévio tratamento térmico, sendo esta análise realizada apenas para uma das amostras (Lodo 1). Para isso, realizaram-se algumas varreduras de tensão/taxa e medidas de viscosidade aparente por taxa. O Teste 1 gerou resultados inconclusivos, sendo necessários ajustes na programação do equipamento para melhor aferição. O Teste 2 apresentou grande oscilação na região de taxa de cisalhamento mais baixa e uma tendência de comportamento para taxas mais elevadas, conforme Figura 2.

A grande oscilação dos valores de viscosidade aparente do lodo para baixas taxas com tendência de decaimento para um valor de aproximadamente 20 cP pode ser resultado do elevado teor de sólidos do lodo, visto que a rotação do cilindro do viscosímetro acaba produzindo um efeito de centrifugação da amostra, modificando a forma como as partículas se organizam e interagem. O efeito do teor de sólidos na viscosidade

do lodo foi examinado em um grande número de estudos, verificando-se que um alto teor de sólidos conduz a interações mais fortes entre as partículas e, portanto, a uma maior viscosidade aparente do lodo (PEVERE et al., 2006; ABU-JDAYIL; BANAT; AL-SAMERAIY, 2010).

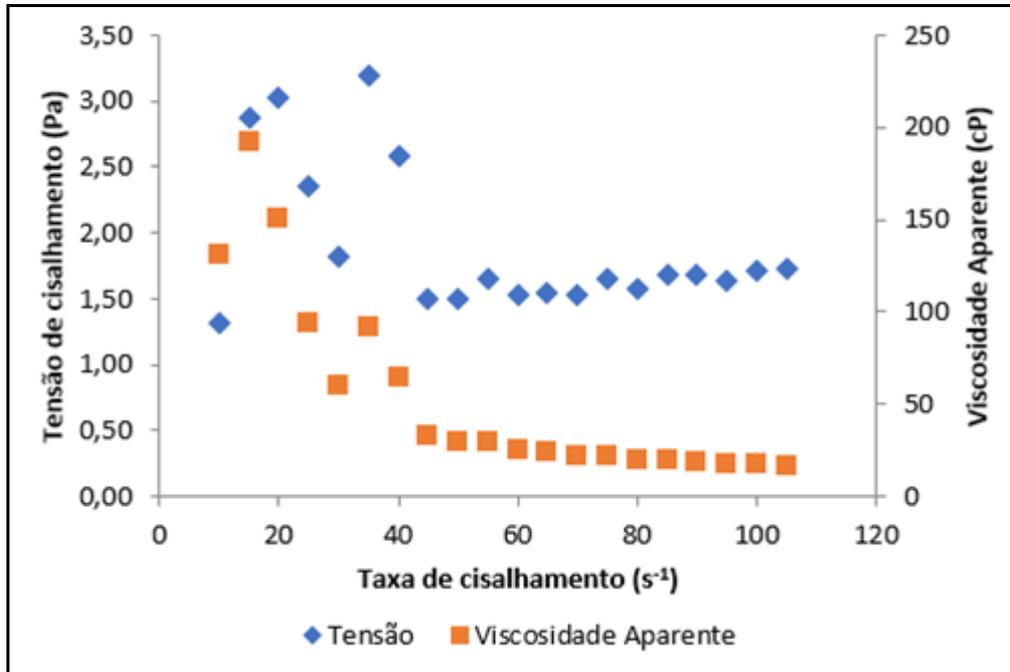


Figura 2. Tensão de cisalhamento e viscosidade aparente do lodo em função da taxa de cisalhamento. Fonte: Os autores (2023)

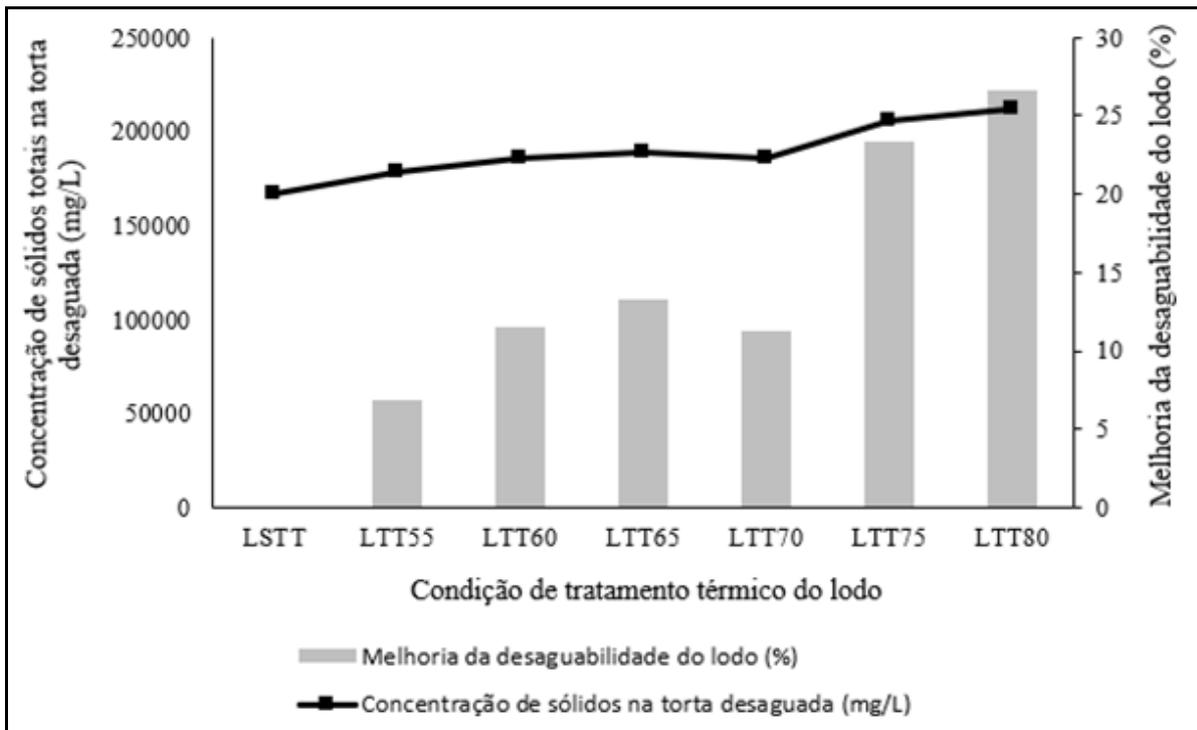
Importante destacar que o viscosímetro rotacional provou ser uma ferramenta útil para a obtenção de propriedades reológicas de lodo de esgoto para projeto e modelagem de processos. Muitos pesquisadores utilizaram esse tipo de viscosímetro para examinar a influência das condições operacionais e propriedades físico-químicas na viscosidade do lodo de esgoto (ESHTIAGHI et al., 2013), confirmando, assim, a adequabilidade do viscosímetro utilizado no presente estudo para avaliação de propriedades reológicas de lodo de esgoto.

### Desaguamento dos lodos bruto e tratado termicamente

O aumento da temperatura nos tratamentos térmicos realizados indicou melhoria na desaguabilidade do lodo, visto que houve aumento da concentração de sólidos totais nas tortas de lodo desaguadas para os ensaios realizados a temperaturas mais elevadas, conforme mostra a Figura 3.

Percebeu-se, ainda, que a condição de tratamento a temperatura de 70° C resultou em um aumento de rendimento de desaguabilidade do lodo próximo a condição realizada a 55° C, com valores de aproximadamente 11,5%. Foram observadas melhorias de desaguabilidade mais pronunciadas para as condições de temperatura mais elevadas (75 e 80° C), para as quais os percentuais foram de 23,4 e 26,6%, respectivamente. Esse resultado vai de encontro àqueles identificados por FRANÇA (2002) e BORGES et al. (2009), mas confirma os resultados encontrados por FENG et al. (2014), para os quais o prévio tratamento térmico aumentou o rendimento de desaguamento do lodo.

No presente trabalho apenas dois testes foram realizados para o tratamento térmico do lodo e sua influência na desaguabilidade, o que impossibilitou a realização de análise estatística. Desta forma, os resultados fornecem alguns *insights* potenciais sobre os efeitos do prévio tratamento térmico na desaguabilidade do lodo de esgoto.



**Figura 3: Variação da concentração de sólidos totais na torta de lodo desaguada e da melhoria da desaguabilidade do lodo em função da condição de tratamento térmico.**

Legenda: LSTT – Lodo Sem Tratamento Térmico; LTT – Lodo Tratamento Termicamente (sigla seguida da respectiva temperatura).

Fonte: Os autores (2023).

## CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

Os resultados sugerem que o lodo tratado termicamente apresentou rendimento de desaguamento superior ao do lodo *in natura*, com resultados melhores para os tratamentos realizados nas temperaturas de 75 e 80° C, para os quais identificaram-se aumento da performance do desaguamento do lodo de 23,4 e 26,6%, respectivamente, em relação ao lodo sem prévio tratamento térmico. Destaque-se os tratamentos térmicos realizados garantem que o lodo foi higienizado atendendo aos regimes e requisitos preconizados pela Resolução Conama nº 498/2020, para os processos de redução de patógenos que garantem a obtenção de bio sólido classe A.

O viscosímetro do tipo copo Ford não se mostrou adequado para a determinação da viscosidade do lodo, visto que o tempo de escoamento superou o limite estabelecido na NBR 5849/2015, de 20 a 100s. Por outro lado, o viscosímetro rotacional do tipo Brookfield é adequado para a obtenção de propriedades reológicas do lodo de esgoto. No entanto, faz-se necessário um maior número de ensaios para a determinação da viscosidade aparente, com especial atenção para a correta homogeneização das amostras, previamente à realização dos testes.

Recomenda-se a determinação da viscosidade do lodo de esgoto tratado termicamente para avaliar o efeito do tratamento térmico nessa propriedade, relacionando-a com a desaguabilidade do lodo.

Os resultados do trabalho, associados a um maior número de ensaios, irão nortear a seleção de alternativas de projeto a serem propostas para pequenas comunidades, no emprego do Sistema Térmico de Higienização de Lodo – STHIL. Tal sistema, em desenvolvimento por meio de estudos entre Universidade e Empresa de Saneamento, visa utilizar o biogás produzido nos reatores anaeróbios das estações de tratamento de esgoto no desaguamento do lodo em leitos de secagem modificados.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pela concessão de bolsa de doutorado e ao apoio da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) para acesso aos laboratórios e acompanhamento durante as coletas na estação de tratamento de esgoto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABU-JDAYIL, B.; BANAT, F.; AL-SAMERAIY, M. *Steady Rheological Properties of Rotating Biological Contactor (RBC) Sludge*. Journal of Water Resource and Protection, v. 02, n. 01, p. 1–7, 2010.
2. APPELS, L. et al. *Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion*. Bioresource Technology, v. 101, n. 15, p. 5743–5748, ago. 2010.
3. APHA (American Public Health Association). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: APHA. 2012.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5849: Tintas - Determinação de viscosidade pelo copo Ford. ABNT: Rio de Janeiro, p. 1–9, 2015.
5. BARBER, W. *Sludge Thermal Hydrolysis: Application and Potential*. London: IWA Publishing, 2021.
6. BORGES, E. S. M. et al. *Tratamento térmico de lodo anaeróbio com utilização do biogás gerado em reatores UASB: avaliação da autossustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 3, p. 337–346, set. 2009.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N°498, de 19 de agosto de 2020. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 19 ago. 2020.
8. CAO, B. et al. *Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: A critical review*. Water Research, v. 189, 1 fev. 2021.
9. CHOI, J. M.; HAN, S. K.; LEE, C. Y. *Enhancement of methane production in anaerobic digestion of sewage sludge by thermal hydrolysis pretreatment*. Bioresource Technology, v. 259, p. 207–213, 1 jul. 2018.
10. ESHTIAGHI, N. et al. *Rheological characterisation of municipal sludge: A review*. Water Research, v. 47, n. 15, p. 5493–5510, out. 2013.
11. FENG, G. et al. *Effects of thermal treatment on physical and expression dewatering characteristics of municipal sludge*. Chemical Engineering Journal, v. 247, p. 223–230, 1 jul. 2014.
12. FERRER, I. et al. *Increasing biogas production by thermal (70 °C) sludge pre-treatment prior to thermophilic anaerobic digestion*. Biochemical Engineering Journal, v. 42, n. 2, p. 186–192, 1 nov. 2008.
13. FRANÇA, M. Avaliação da biodegradabilidade e da biodisponibilidade do lodo de esgoto anaeróbio termohidrolisado pelo uso de biogás. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Florianópolis: UFSC, 2002.
14. GAVALA, H. N. et al. *Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature*. Water Research, v. 37, n. 19, p. 4561–4572, 2003.
15. HIGGINS, M. J. et al. *Pretreatment of a primary and secondary sludge blend at different thermal hydrolysis temperatures: Impacts on anaerobic digestion, dewatering and filtrate characteristics*. Water Research, v. 122, p. 557–569, 1 out. 2017.
16. HUANG, L. et al. *A Review of the role of extracellular polymeric substances (EPS) in wastewater treatment systems*. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 19, p. 1–14, 1 out. 2022.
17. KUK, T. N. Alternativas para implantação de um sistema térmico de higienização e secagem do lodo gerado em estação de tratamento anaeróbio de esgoto sanitário de pequeno porte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) —Iraci: Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2019.

18. LI, H.; ZOU, S.; LI, C. *Liming pretreatment reduces sludge build-up on the dryer wall during thermal drying*. Drying Technology, v. 30, n. 14, p. 1563–1569, nov. 2012.
19. LIU, H.; FANG, H. H. P. *Extraction of extracellular polymeric substances (EPS) of sludges*. Journal of Biotechnology, v. 95, p. 249–256, 2002.
20. NAZARI, L. et al. *Low-temperature thermal pre-treatment of municipal wastewater sludge: Process optimization and effects on solubilization and anaerobic degradation*. Water Research, v. 113, p. 111–123, 2017.
21. NEYENS, E.; BAEYENS, J. *A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability*. Journal of Hazardous Materials, v. 98, p. 51–67, 2003.
22. NIELSEN, H. B. et al. *Anaerobic digestion of waste activated sludge-comparison of thermal pretreatments with thermal inter-stage treatments*. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 86, n. 2, p. 238–245, fev. 2011.
23. PEVERE, A. et al. *Viscosity evolution of anaerobic granular sludge*. Biochemical Engineering Journal, v. 27, n. 3, p. 315–322, jan. 2006.
24. POSSETTI, G. R. C. et al. *Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETES de médio e pequeno porte*. XV Silubesa, Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1–6, mar. 2012.
25. REALI, M. A. P.; PATRIZZI, L. J.; CORDEIRO, J. S. *Desidratação de lodo por centrifugação*. Em: *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. v. 1p. 85–106.
26. RIETOW, J. C. et al. *Estudo comparativo entre alternativas de sistemas de secagem e higienização térmica de lodo para estações de tratamento de esgoto de médio e pequeno porte*. 1º Seminário Nacional sobre Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto. Anais...Curitiba: ISAE-FGV, nov. 2018.
27. WAGNER, L. G. *Sistema térmico de higienização e secagem de lodo de esgoto movido a energia solar e a biogás*. Monografia (Especialização em Energias Renováveis) -Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 8 dez. 2015.
28. YU, J. et al. *The role of temperature and CaCl<sub>2</sub> in activated sludge dewatering under hydrothermal treatment*. Water Research, v. 50, p. 10–17, 1 mar. 2014.