

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO DESAGUAMENTO DE LODO EM GEOXTEEL® SOB INFLUÊNCIA PLUVIAL

Rodrigo Ronchi Rossi Costa¹ (rodrigo.costa@sbvengenharia.com.br)

Resumo

O desaguamento de lodos é uma etapa fundamental na gestão de resíduos industriais e de estações de tratamento de efluentes, influenciando diretamente a eficiência operacional e os custos de disposição final. Em regiões com alta pluviosidade, a reumidificação das tortas pode comprometer o desempenho dos sistemas baseados em geotêxteis. Este estudo avaliou a eficiência do desaguamento em Geoxteel® sob simulações de chuva, utilizando dois tipos de lodo: um de mineração e outro de ETE. Os resultados indicaram variações significativas de teor de sólidos conforme o regime de pulverização, evidenciando que a chuva pode reduzir a eficiência do processo, especialmente em resíduos de maior compactabilidade. O estudo reforça a importância de integrar variáveis climáticas no planejamento de sistemas de desaguamento e na definição de parâmetros operacionais.

Palavras-chave: Desaguamento de lodo;

Geotêxtil; Simulação de chuva; Eficiência operacional; Gestão de resíduos.

Abstract

Sludge dewatering is a key stage in industrial and wastewater treatment processes, directly affecting operational efficiency and final disposal costs. In regions with high rainfall, sludge rewetting can compromise the performance of geotextile-based systems. This study evaluated the dewatering efficiency of Geoxteel® under simulated rainfall conditions using two types of sludge (one from mining and another from a wastewater treatment plant (WWTP)). The results showed significant variations in solids content depending on the spray regime, indicating that rainfall can reduce process efficiency, especially in residues with higher compactability. The study highlights the importance of integrating climatic variables into the design and operation of dewatering systems to ensure stability

¹. SBV Engenharia Ambiental – São Paulo, Brasil

and predictability in humid tropical environments.

Keywords: *Sludge dewatering; Geotextile; Rain simulation; Operational efficiency; Waste management.*

1. Introdução

O desaguamento de lodos constitui uma etapa essencial na cadeia de tratamento de efluentes e resíduos industriais, sendo determinante para a viabilidade técnica e econômica das operações de disposição final. Essa etapa visa reduzir o conteúdo de umidade do material, concentrando os sólidos e, conseqüentemente, diminuindo o volume a ser transportado e disposto (SANTOS *et al.*, 2019). Em termos operacionais, a eficiência do desaguamento está diretamente relacionada à economia de transporte, à estabilidade do material e à conformidade ambiental segundo as diretrizes de disposição previstas pela ABNT NBR 10004:2004. Neste contexto, o presente estudo avaliou o desempenho de um sistema geotêxtil confinado do tipo *Geoxtee/®*, aplicado ao desaguamento de lodos de diferentes origens sob influência de simulações pluviais.

Entre as diferentes tecnologias disponíveis (como centrífugas, filtros prensa, leitos de secagem e geotêxteis), destaca-se o uso de sistemas confinados, como sistemas geotêxteis, que vêm sendo amplamente aplicados por sua versatilidade, facilidade de operação, modulação e baixo custo energético. O *Geoxtee/®* avaliado é caracterizado por resistência mecânica adequada às solicitações operacionais, permeabilidade compatível com processos de drenagem gravitacional e capacidade de retenção de sólidos conforme especificações técnicas do material.

Apesar de suas vantagens, o desempenho desses sistemas pode ser sensivelmente afetado por condições ambientais, especialmente a pluviosidade, que altera o equilíbrio hídrico das tortas formadas. Em regiões tropicais e subtropicais, onde os índices pluviométricos anuais frequentemente ultrapassam 1.500 mm (INMET, 2021), a exposição a chuvas pode causar reumidificação, redução do teor de sólidos e instabilidade física do lodo desaguado. Esses efeitos repercutem diretamente na logística de transporte, na estabilidade de aterros e no custo global de disposição (COSTA & RIBEIRO, 2020).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender os mecanismos que regem a interação entre o lodo desaguado, o geotêxtil e a água de precipitação, de modo a subsidiar decisões de projeto e operação mais robustas.

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o comportamento do desaguamento de lodos submetidos à influência pluvial em um sistema geotêxtil confinado, sem o objetivo de realizar comparações diretas com outras tecnologias de desaguamento. Os objetivos incluem avaliar o comportamento de lodos de origens distintas (mineral e biológica) quanto à retenção de sólidos; analisar a influência de diferentes regimes de pulverização simulada na eficiência do sistema; comparar os resultados obtidos com padrões de desempenho relatados na literatura técnica; discutir medidas preventivas e corretivas aplicáveis em contextos de alta pluviosidade.

O estudo contribui para o avanço da compreensão técnico-operacional dos processos de desaguamento com geotêxtis em regiões tropicais,

oferecendo subsídios práticos para engenheiros, consultores e gestores ambientais envolvidos no manejo de resíduos e efluentes.

2. Fundamentação teórica

O desaguamento de lodos visa a separação da fase líquida e sólida do material gerado em estações de tratamento, promovendo o aumento do teor de sólidos totais (TST). Essa separação pode ser realizada por métodos mecânicos (centrífugas, filtros prensa), naturais (leitos de secagem) ou confinados.

De acordo com Metcalf & Eddy (2016), o objetivo principal é maximizar a remoção de água livre e intersticial sem comprometer a integridade física do floco formado durante o condicionamento químico. Em sistemas geotêxteis, essa remoção ocorre predominantemente por filtração gravitacional e percolação, sendo o gradiente de pressão hidráulica o principal agente de drenagem.

A eficiência depende de variáveis como:

- Tipo e concentração de polímero floculante;
- Granulometria, carga superficial, teor de matéria orgânica);
- Permeabilidade e resistência do geotêxtil;
- Tempo de drenagem e condições ambientais.

Quando o desaguamento ocorre em áreas abertas, a interação com a chuva altera significativamente as condições de equilíbrio do sistema. O retorno de umidade às tortas (fenômeno conhecido como reumidificação) pode dissolver parcialmente os flocos, reduzir a compactação e reativar a mobilidade de partículas finas (SILVA *et al.*, 2015).

Os geotêxteis são materiais sintéticos permeáveis fabricados a partir de polímeros como

polipropileno (PP) ou poliéster (PET), utilizados em diversas aplicações geotécnicas, ambientais e hidráulicas. No contexto de tratamento de efluentes, são empregados em estruturas conhecidas como *geotubes* ou *geobags*, onde o lodo é confinado e drenado progressivamente.

O sistema geotêxtil confinado representa uma dessas soluções, caracterizado por alta resistência mecânica, elevada permeabilidade e excelente capacidade de retenção de sólidos. Durante o enchimento, o lodo previamente condicionado com polímero é bombeado para o interior da estrutura, onde ocorre a formação de uma torta de sólidos. A drenagem do filtrado ocorre por gravidade através do tecido, que atua como barreira seletiva, permitindo a passagem do líquido e retraindo o material particulado (RIVAS *et al.*, 2010).

Estudos internacionais (CHEN *et al.*, 2019; LEE *et al.*, 2020) indicam que a eficiência do processo é fortemente influenciada pela relação entre o tamanho dos poros do geotêxtil e a distribuição granulométrica do lodo, além da força de coesão dos flocos. Assim, o desempenho pode variar amplamente entre diferentes tipos de resíduos, mesmo sob as mesmas condições operacionais.

Em ambientes tropicais, a pluviosidade elevada representa um desafio adicional para sistemas de desaguamento em campo. A água de chuva atua sobre a torta de lodo promovendo a dissolução parcial dos flocos poliméricos, rearranjo estrutural de partículas finas e aumento da umidade superficial (COSTA & RIBEIRO, 2020).

A literatura técnica (SILVA *et al.*, 2015; MENDES *et al.*, 2022) destaca três mecanismos principais pelos quais a chuva interfere no processo: a

reumidificação superficial, reduzindo a densidade aparente e dificultando a compactação; erosão e arraste superficial, levando à perda de massa sólida; e redistribuição de partículas finas, que pode obstruir parcialmente os poros do geotêxtil, reduzindo a permeabilidade.

Tais efeitos dependem não apenas da intensidade e frequência das precipitações, mas também das propriedades do resíduo. Lodos com maior teor de matéria orgânica ou elevada carga coloidal tendem a absorver mais água, mantendo-se saturados por mais tempo.

O controle do teor de sólidos não é apenas um parâmetro técnico de processo, mas um indicador de sustentabilidade e eficiência operacional. Lodos com baixa concentração de sólidos implicam em aumento significativo no custo de transporte e disposição, podendo elevar as emissões de CO₂ associadas.

Sob o ponto de vista ambiental, a estabilidade física das tortas condiciona o sucesso da disposição final e o controle de percolados. A umidade excessiva favorece a lixiviação de compostos orgânicos e metais, podendo comprometer o desempenho de bacias de contenção e aterros industriais.

Assim, compreender os efeitos da chuva e desenvolver estratégias mitigadoras (como cobertura temporária, ajuste de polímero e planejamento sazonal) é fundamental para a gestão integrada de resíduos e efluentes.

3. Metodologia

A metodologia adotada para avaliar a eficiência do desaguamento de lodo no sistema *Geotexteel®* sob simulação pluvial envolveu o uso de duas amostras de lodo de diferentes origens.

Amostras de Lodo:

- Amostra 1: Proveniente de rejeito de mineração de ouro de uma mineradora localizada no Rio Grande do Norte.
- Amostra 2: Proveniente de rejeito de lagoa anaeróbia de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) localizada em Alagoas.

O teor de sólidos da amostra bruta foi determinado previamente por método gravimétrico (secagem a 105 °C por 24 horas), apresentando valores de 20% para a Amostra 1 (rejeito de mineração) e 18% para a Amostra 2 (rejeito biológico). Esses valores indicam lodos de elevada umidade inicial e justificam a necessidade de aplicação de polímero para alcançar adensamento adequado antes do confinamento no geotêxtil.

Ambas as amostras foram submetidas ao processo de desaguamento por meio do sistema geotêxtil confinado em escala piloto com capacidade para 5 litros, com o lodo condicionado por meio da aplicação de polímero aniônico para promover a floculação. O condicionamento químico foi realizado mediante a adição de 5 mL de solução de polímero aniônico a 0,2% (m/m) para cada 250 mL de amostra de lodo, correspondendo a uma dosagem fixa aplicada a ambas as amostras. Essa dosagem foi mantida constante ao longo de todos os ensaios, com o objetivo de isolar o efeito da pluviosidade sobre o desempenho do desaguamento.

Para fins de interpretação dos resultados e das estimativas de massa seca, adotou-se uma densidade média representativa do lodo úmido. Considerando a natureza dos resíduos avaliados, assumiu-se densidade próxima à da água para o lodo de origem biológica e ligeiramente superior

para o rejeito mineral, sendo utilizada, para efeitos de cálculo, densidade média de 1,1 t/m³, valor compatível com lodos adensados e parcialmente desidratados reportados na literatura técnica (ANDREOLI *et al.*, 2016).

A caracterização granulométrica dos lodos foi considerada de forma qualitativa, com base na sua origem e comportamento observado durante o condicionamento e o desaguamento. O rejeito de mineração apresentou predominância de partículas minerais finas, enquanto o lodo de ETE apresentou elevada fração coloidal e maior teor de matéria orgânica, características reconhecidas como fatores que influenciam a drenabilidade e a compactação do material.

Para simular a influência de eventos de precipitação, dois cenários foram testados sobre os corpos de prova:

- Pulverização Múltipla (Simulação Intensiva): Pulverizações de 75 mL de água cinco vezes ao dia durante o período de teste.
- Pulverização Única (Simulação Leve): Pulverização de 75 mL de água uma vez ao dia.

O objetivo foi avaliar a capacidade de reten-

ção de sólidos do sistema geotêxtil confinado após a aplicação de volumes controlados de água, representando chuvas médias da região.

A ausência de uma caracterização quantitativa detalhada da densidade, da granulometria e da dosagem ótima de polímero limita a reprodutibilidade estrita dos ensaios e a extrapolação direta dos valores absolutos para outras condições operacionais.

Dez minutos após cada aplicação de água, foi realizada a coleta da amostra retida para a determinação do teor de sólidos. A determinação do teor de sólidos foi feita utilizando a metodologia gravimétrica padrão (secagem em estufa). A variação do teor de sólidos e da umidade da torta de lodo foi analisada ao longo de diferentes tempos de repouso após o desaguamento (Imediato, 60 minutos, 24, 48, 72 e 168 horas).

4. Resultados

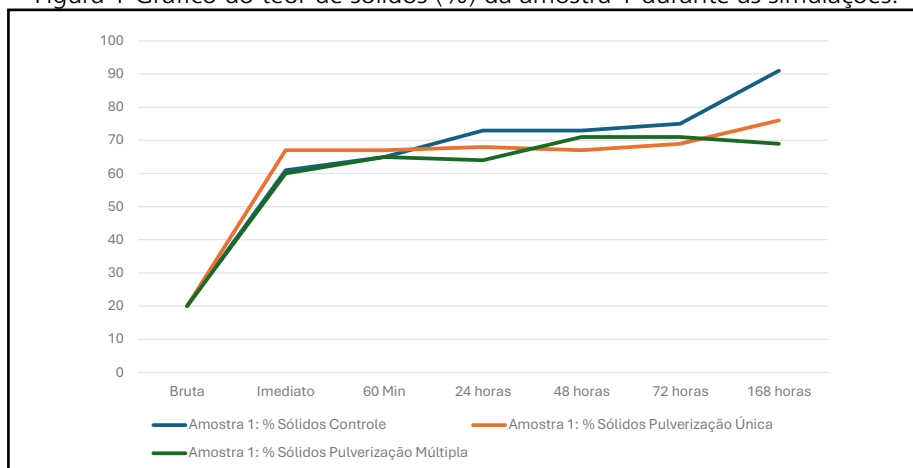
Os resultados experimentais de teor de sólidos (em porcentagem) para as Amostras 1 (Mineradora) e 2 (ETE), submetidas às condições Controle (sem chuva), Pulverização Única e Pulverização Múltipla, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Resultados de teor de sólidos (%) durante as simulações.

Tempo de Repouso	Amostra 1: % Sólidos Controle	Amostra 1: % Sólidos Pulverização Única	Amostra 1: % Sólidos Pulverização Múltipla	Amostra 2: % Sólidos Controle	Amostra 2: % Sólidos Pulverização Única	Amostra 2: % Sólidos Pulverização Múltipla
Bruta	20	N/A	N/A	18	N/A	N/A
Imediato	61	67	60	9	12	16
60 Min	65	67	65	12	16	22
24 horas	73	68	64	22	18	23
48 horas	73	67	71	23	23	24
72 horas	75	69	71	26	28	28
168 horas	91	76	69	41	41	42

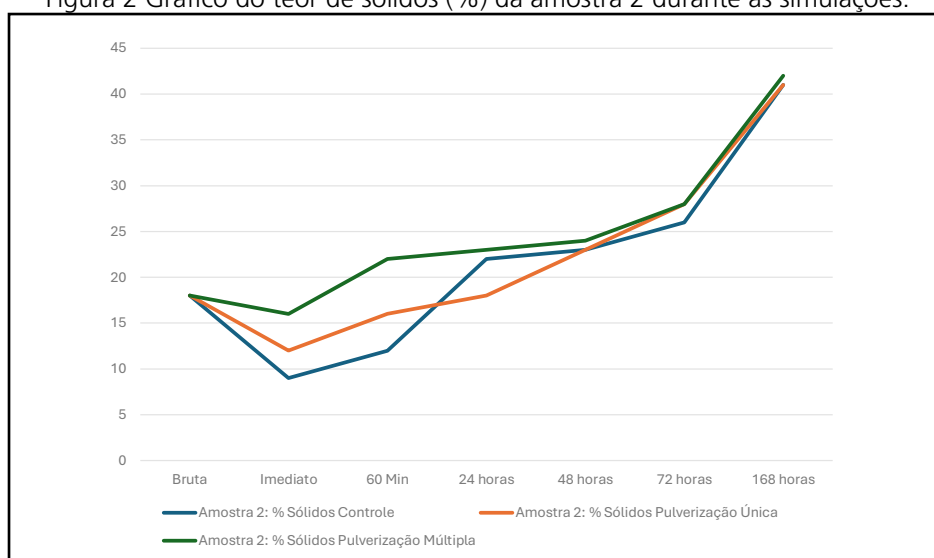
Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Figura 1 Gráfico do teor de sólidos (%) da amostra 1 durante as simulações.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Figura 2 Gráfico do teor de sólidos (%) da amostra 2 durante as simulações.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

5. Discussão

A análise dos dados experimentais evidenciou um comportamento significativamente contrastante entre as duas amostras de rejeito, o que reforça a premissa de que a eficiência de desaguamento é uma função intrínseca da natureza físico-química do resíduo e da estabilidade dos flocos formados, além das condições ambientais.

A Amostra 1 (rejeito de mineração) apresentou maior teor de sólidos no cenário controle, atingindo 91% após 168 horas de desaguamento. Este resultado sugere uma alta compatibilidade entre o

polímero aniônico e a Amostra 1, promovendo a formação de flocos densos e estáveis por meio de mecanismos de neutralização de carga e ponteammento interpartículas (Rivas *et al.*, 2010).

A vulnerabilidade dessa alta eficiência à precipitação foi confirmada pelo regime de Pulverização Múltipla. Sob essa simulação intensiva, o teor de sólidos da Amostra 1 caiu para 69% em 168 horas, uma redução de aproximadamente 24% em relação ao controle. Aplicações sucessivas de água (Pulverização Múltipla) demonstraram impactar mais a eficiência do que a pulverização única,

conforme observado por Chen *et al.* (2019) em estudos com geotêxteis submetidos a regimes hidrodinâmicos variáveis.

Em contrapartida, a Amostra 2 (rejeito de ETE) obteve um desempenho máximo de apenas 42% de teor de sólidos. De acordo com Metcalf & Eddy (2016), rejeitos de origem biológica ou com alta carga coloidal tendem a apresentar maior resistência à compactação e à drenagem devido à granulometria fina e elevada capacidade de retenção de água. Neste caso, o polímero aniônico pode não ter sido totalmente eficaz na superação dessas resistências intrínsecas, resultando em flocos menos densos e mais hidratados. Curiosamente, a exposição à água de chuva na Amostra 2 não comprometeu a performance; em alguns cenários (Pulverização Múltipla), observou-se uma ligeira melhoria. Em rejeitos de baixa densidade ou coesão, a presença de água pode atuar como um agente facilitador da compactação secundária, preenchendo vazios ou redistribuindo o material de forma a promover um adensamento mais eficiente.

A diferença de desempenho entre as amostras, onde a chuva foi prejudicial para o lodo de maior coesão (Amostra 1) e neutra/benéfica para o de menor coesão (Amostra 2), reforça a importância da caracterização detalhada do resíduo e da adoção de estratégias mitigadoras específicas, como cobertura temporária ou ajuste na dosagem de floculantes (Mendes *et al.*, 2022).

Para contextualizar os resultados obtidos em escala laboratorial, realizou-se uma estimativa simplificada para um cenário de projeto. Considerou-se uma operação contínua com vazão de 10 m³/h de lodo com características semelhantes à Amos-

tra 1 (rejeito de mineração). Para fins de cálculo, adotou-se densidade média do lodo úmido igual a 1,1 t/m³, valor compatível com lodos adensados e parcialmente desidratados, conforme faixas típicas reportadas na literatura de engenharia sanitária (ANDREOLI *et al.*, 2016).

Nessas condições, a vazão mássica de lodo úmido corresponde a aproximadamente 11 t/h. Considerando um teor final de sólidos de 91% após 168 horas no cenário controle, a massa de sólidos secos estimada é da ordem de 10 t/h. Ressalta-se que esse valor representa uma estimativa de referência para análise do impacto da pluviosidade sobre o desempenho do desaguamento, não constituindo uma projeção exata de operação em escala industrial.

Entretanto, sob condições de pluviosidade intensa (pulverização múltipla), o teor final reduzido para 69% implica um aumento de aproximadamente 32% no volume final de torta úmida, elevando diretamente o custo de transporte e disposição. Em um horizonte anual, isso pode representar acréscimo de até 2.800 m³/ano de material úmido transportado, além de incremento proporcional nas emissões de CO₂ e na demanda logística.

No caso da Amostra 2 (ETE), com teor inicial de 18% de sólidos e desempenho final máximo de 42%, o impacto da pluviosidade é mais neutro. Considerando o mesmo regime de operação (10 m³/h), a massa seca equivale a cerca de 0,76 t/h, variando pouco entre os cenários de chuva leve e intensa. Contudo, o baixo teor final de sólidos implica em aumento do volume transportado de até 120% em relação à Amostra 1, o que torna fundamental a avaliação econômica do custo por tonelada seca removida.

Esses resultados demonstram que, em projetos de engenharia, o efeito da chuva sobre o desaguamento não é apenas operacional, mas estrutural e financeiro. Sistemas instalados em regiões de alta pluviosidade devem considerar dispositivos de proteção (lonas retráteis, drenagem periférica e planejamento sazonal de enchimento) e ajustes de dosagem polimérica, a fim de manter a previsibilidade de desempenho e otimizar o custo total de disposição.

6. Conclusão

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do desaguamento de lodo no sistema geotêxtil confinado (*Geoxtee/®*) sob a influência de simulações pluviais. Os ensaios foram conduzidos em ambiente controlado, com monitoramento das condições ambientais locais, como temperatura e umidade relativa do ar, as quais não foram objeto de variação sistemática neste estudo. Os achados demonstram de forma robusta que a incidência de chuvas é um fator climático que deve ser rigorosamente integrado no planejamento técnico operacional, pois seu impacto na estabilidade do teor de sólidos é altamente dependente das características físico-químicas do resíduo.

A principal conclusão é que o efeito da reumidificação pluvial é contextual: em lodos de alta compactabilidade (Amostra 1: mineral), a chuva (Pulverização Múltipla) promoveu uma queda do teor de sólidos de 91% para 69% e confirmando a desestruturação de flocos estáveis. Contudo, em lodos com baixa coesão (Amostra 2: biológica), a água de chuva teve efeito neutro ou levemente benéfico, possivelmente por favorecer o adensamento secundário dos flocos.

Mesmo diante dos desafios climáticos inerentes a regiões tropicais, os resultados obtidos indicam que o sistema geotêxtil confinado avaliado apresentou comportamento operacional consistente nos cenários estudados, sendo aplicável ao desaguamento de lodos de diferentes origens, desde que corretamente dimensionado e operado.

As implicações para o setor de gerenciamento de resíduos e efluentes são críticas: a redução na eficiência de desaguamento implica em maior umidade, aumentando o volume e, consequentemente, o custo de transporte e disposição, podendo elevar as emissões de CO₂ associadas.

Embora a dosagem de polímero tenha sido mantida constante e explicitada ao longo dos ensaios, a densidade e a granulometria dos lodos foram consideradas a partir de estimativas médias e de caracterização qualitativa, o que limita a reprodutibilidade estrita dos valores absolutos e reforça o caráter comparativo e exploratório do estudo.

O estudo reforça a necessidade de incorporar avaliações da interação clima-lodo nas fases preliminares de projetos de tratamento em regiões de alta pluviosidade. Como proposta de continuidade, sugere-se a avaliação da influência do aumento da dosagem de polímero em amostras submetidas à chuva, a fim de verificar a possibilidade de compensar a perda de desempenho e garantir maior previsibilidade operacional por meio da formação de flocos mais estáveis.

Como proposta de continuidade, sugere-se a avaliação da influência do ajuste da dosagem de polímero, associada a uma caracterização quantitativa da densidade e da granulometria dos lodos, sob diferentes condições climáticas.

7. Referências

ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.). Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

CHEN, M.; LI, Y.; ZHANG, J.; WANG, X. Dewatering performance of geotextile tubes under variable hydrodynamic conditions. *Journal of Environmental Management*, v. 235, p. 306-314, 2019.

COSTA, M. R.; RIBEIRO, A. M. Avaliação de métodos de desaguamento de lodo e os efeitos de variáveis climáticas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 25, n. 3, p. 1-12, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas do Brasil: 1991–2020. Brasília: INMET, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inmet/pt-br>. Acesso em: 29 abr. 2025.

LEE, J. S.; KIM, H. J.; PARK, S. H. Dewatering performance of geotextile tubes: influencing factors and research trends. *Geosynthetics International*, v. 27, n. 4, p. 385-401, 2020.

MENDES, L. G.; SOUZA, R. T.; OLIVEIRA, P. H. Impact of tropical rainfall on waste dewatering systems: a review of management strategies. *Journal of Environmental Management*, v. 310, p. 114125, 2022.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and resource recovery. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, DF: CONAMA, 2011.

RIVAS, F. J.; BELTRÁN, F. J.; GIMENO, O.; CARBAJO, M. Application of polyelectrolytes in sludge treatment: fundamentals and industrial practice. *Chemical Engineering Journal*, v. 165, n. 3, p. 353-363, 2010.

SANTOS, A. P. dos; LIMA, C. R.; FERREIRA, M. A. A

importância do desaguamento de lodo para o gerenciamento de estações de tratamento de efluentes. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 223-230, 2019.

SILVA, M. S.; ALMEIDA, J. R.; PEREIRA, L. C. Influência da reumidificação em processos de desaguamento de lodos industriais. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2015.

GeoTerragua
Prestação de
Serviços Ambientais



Seu parceiro de campo no Sul do Brasil. Execução técnica com agilidade, confiança e presença local.

ESPECIALISTAS EM:

-  Sondagens (trado, hollow, SPT, direct push, rotativa)
-  Instalação de poços (2", 4", vapor, sub-slab, injeção)
-  Coleta de amostras (solo, água, resíduos, vapor)
-  Ensaios hidráulicos e geotécnicos
-  Acompanhamento técnico de campo



 **+20 anos de experiência**
Equipe capacitada e equipamentos próprios

 **(51) 9 9933 1909**  **(51) 3031 0930**

geoterragua@terragua.net.br
www.geoterragua.com.br