

II-1524 - CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DE LETAs COM DIFERENTES PROCESSOS DE SECAGEM

Rafael Ávila Matos Cardoso⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) – São José dos Campos.

Amanda Dantas de Jesus⁽²⁾

Licenciatura e Mestrado em Química pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Pós doutoranda Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP) – Departamento de Engenharia Ambiental - São José dos Campos.

Carolina Massuci Marciano da Silva⁽³⁾

Graduada em Zootecnia pela Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ/UNESP). Auxiliar de suporte acadêmico do laboratório de solos, geologia e resíduos sólidos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP) – Departamento de Engenharia Ambiental - São José dos Campos.

Fabiana Alves Fiore⁽⁴⁾

Professora do Departamento de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP) – Departamento de Engenharia Ambiental - São José dos Campos - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Doutora em Saneamento e Meio Ambiente (FEC/UNICAMP - 2013), Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG - 2004) e Graduada em Engenharia Civil (UFMG - 2001).

Endereço⁽¹⁾: Rua Riachuelo, 190, apto 10- Jd. Paulista - São José dos Campos - São Paulo- - CEP: 12.216-040- Brasil. Tel.- (12) 99663-2196 - e-mail: rafael.avila@unesp.br

RESUMO

Um dos objetivos de desenvolvimento sustentável, estabelecidos pela ONU, é assegurar a disponibilidade universal de água limpa. A potabilização de águas para consumo humano acarreta a geração de lodo de ETA (LETA), material composto por substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas. No Brasil, grande parte dos LETAs são lançados em corpos d'água sem tratamento prévio, gerando poluição ambiental. Devido à qualidade das águas brutas e dos insumos utilizados no tratamento e desaguamento, as características dos LETAs são muito variáveis. A completa caracterização dos LETAs é fundamental para determinação das alternativas de destinação desses resíduos, pois a partir dela é possível determinar o seu comportamento e sua influência em misturas com outros materiais. Embora a legislação brasileira classifique os lodos de ETA como resíduos sólidos, em grande parte dos estudos os LETAs são caracterizados por meio de Normas Técnicas aplicáveis para os solos. Nesse contexto, o presente estudo foi conduzido com o objetivo de identificar os procedimentos aplicáveis à caracterização geoambiental de LETAs, que foram utilizados para análise de LETAs secos em temperatura ambiente (em unidade provida de reviramento mecanizado) e com o uso de equipamento que opera com temperaturas de 150 a 180°C. Para tal, foi realizada revisão bibliográfica e conduzidos experimentos em escala de bancada, em duplicata, com o uso de normas técnicas aplicáveis para solos e resíduos. Dentre os principais resultados encontrados destacam-se: os diferentes teores de matéria orgânica nos lodos seco em temperatura ambiente e termicamente, em caso de emprego de diferentes normas aplicáveis para solo e para resíduos, bem como as diferentes interpretações de umidade e massa específica para cada norma. O pH das amostras foram pH<7 e a presença de sais metálicos e polímeros dificultaram a execução e interpretação dos ensaios geotécnicos, particularmente a análise granulométrica e de sedimentação, sendo ambos os LETAs considerados não plásticos.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização de resíduos; Lodo de ETA; Caracterização geoambiental; Lodo seco termicamente.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano sempre produziu resíduos sólidos de maneira sistêmica. Devido ao acelerado crescimento da população nos centros urbanos, dispõe-se no meio ambiente de uma ascendente massa de resíduos. A gestão de resíduos sólidos no mundo representa um desafio para a sociedade, tendo em vista que, o aumento da qualidade de vida e o avanço tecnológico tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, além de diversos problemas à saúde (ABRAMOVAY *et al.*, 2013).

Um dos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela ONU é assegurar a disponibilidade universal de água limpa e, com o aumento da população, há crescente demanda por água potável. Antes de ser distribuída, a água bruta captada dos mananciais deve passar por adequação nas estações de tratamento de água (ETAs) para a retirada de resíduos e impurezas. Nesses processos, novos insumos são utilizados e passam a incorporar os resíduos gerados nestas unidades, que são chamados Lodos de Estação de Tratamento de Água (LETAs). No Brasil, os critérios de potabilidade da água para consumo humano são estabelecidos pela Portaria de Consolidação GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021a).

O lodo de ETA é considerado um resíduo sólido (ABNT, 2004) e deve atender aos preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2020) que define os critérios de minimização, reuso e reciclagem de resíduos reversos e disposição exclusiva de rejeitos sem viabilidade técnica ou econômica de reintegração no ciclo produtivo. O arcabouço legal brasileiro também estabelece que o lançamento de resíduos *in natura* em corpos de água como crime ambiental (BRASIL, 1998).

Mesmo sendo a potabilização de águas extremamente benéfica e necessária para o abastecimento seguro das populações urbanas, sendo que essa atividade gera uma crescente massa de resíduos sólidos, inerente ao processo que precisa ser manejada de forma adequada. No Brasil, foram gerados nos 3.712 municípios declarantes ao SNIS (2021b), correspondente a uma população urbana de 136.106.564 habitantes, mais de 78 milhões de toneladas de lodo proveniente de ETA, que apesar de considerável ainda não retrata a quantidade total de geração deste resíduo. No país, do volume total de água potável distribuído, 75,1% recebem tratamento convencional (IBGE, 2017).

Nas estações de tratamento de água (ETA) convencional de ciclo completo, tipo mais comum de tratamento de água superficial no Brasil (ACHON *et al.*, 2013), é comum a utilização de produtos químicos que, conjuntamente com partículas da própria água bruta, compõem os resíduos (ou lodo) deste processo. Dentre os coagulantes mais comumente empregados no país estão os de alumínio e ferro (FIORE *et al.*, 2021). Alguns estudos evidenciam que o lodo tem um impacto negativo no solo devido ao seu pH e elevada concentração de metais que se acumulam no solo. Os hidróxidos de ferro e alumínio do lodo causam a floculação das partículas do solo, sendo, portanto, agentes de cimentação (ELMONTASSIR, *et al.* 2022).

Por outro lado, a disposição final em aterro sanitário, além de exigir altos custos, opõe-se ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), que rege pelo esgotamento de possibilidades de aplicação dos resíduos antes de sua destinação final ambientalmente adequada. Estudos realizados por Achon e Cordeiro (2016), sobre a destinação e disposição do lodo mostraram que em 22 ETAs de uma das principais sub-bacias, localizada no Estado de São Paulo, 77% lançavam este resíduo em corpos d'água, 9% lançavam no solo, 14% dispunham em aterros após desaguamento e nenhuma ETA reciclava ou reutilizava o lodo. Neste contexto, pesquisas sobre usos e disposição final dos lodos de ETAs têm sido reportadas na literatura por diversos autores no Brasil e no mundo, visando a sua reintrodução na cadeia produtiva, tal como a substituição parcial de matéria prima para a confecção de cerâmicas, cimentos, argamassas e concretos (MOURATIB *et al.* 2020).

A completa caracterização dos LETAs é fundamental para a avaliação das alternativas de destinação desses materiais, pois evidencia seu comportamento e sua influência em misturas com outros materiais e isso subsidia as melhores alternativas de uso benéfico (ROQUE *et al.*, 2021). Porém, as características dos lodos são muito variáveis entre as ETAs. Isto se deve à geologia local e regional, qualidade da água bruta, tipo e quantidade de coagulante e substâncias químicas usadas no tratamento da água, processo de lavagem dos tanques e filtros da ETA, processo de desaguamento do lodo e etc. (HSIEH; RAGHU, 1997; YUZHU, 1996). Além da própria

heterogeneidade do resíduo é comum a aplicação, indiscriminada, de normas de solos e de resíduos para a caracterização dos LETAs o que podem causar significativa variação dos resultados de ensaios.

No entanto, não há norma ou procedimento específico no Brasil que defina a caracterização desses resíduos, o que justifica a necessidade de estudos dos métodos vigentes e da comparação das normas técnicas aplicadas à solos e resíduos, como a realizada neste projeto, na busca de melhores resultados e eficiência, que poderão subsidiar a criação de procedimentos de caracterização específicos.

OBJETIVO GERAL

Avaliar as características geoambientais de LETAs secos naturalmente (SN) e termicamente (ST).

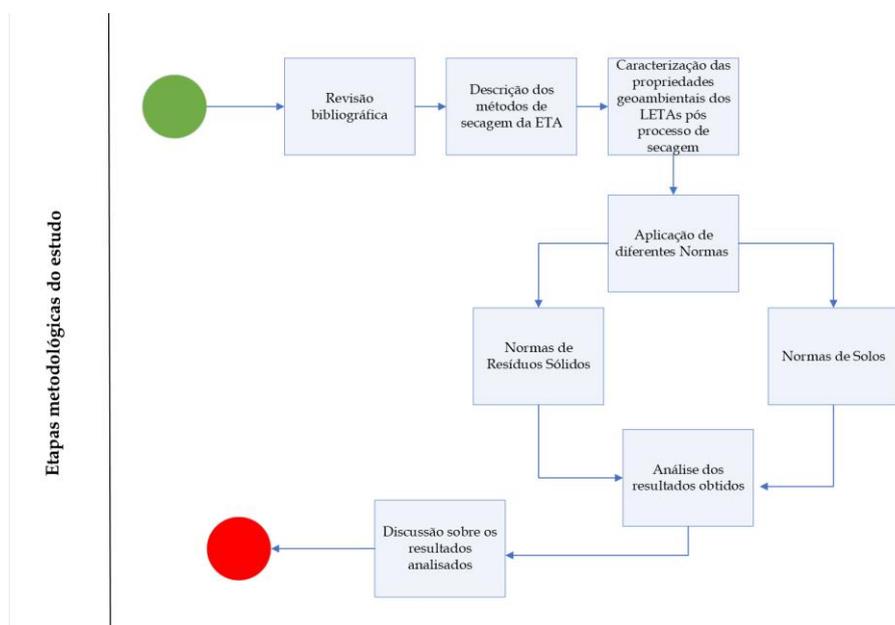
Objetivos Específicos

1. Identificar os métodos empregados no Brasil para a caracterização de solos e resíduos sólidos;
2. Avaliar as características físico-químicas de LETAs seco naturalmente e pós-tratamento térmico;

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é uma pesquisa experimental, com dados quanti-qualitativos. Sua realização foi oportunizada pela obtenção de LETAs secos termicamente e naturalmente de uma estação de tratamento de água na macrometrópole Paulista, São Paulo, Brasil. A Figura 1 apresenta as etapas e os procedimentos metodológicos adotados para a execução dessa pesquisa:

Figura 1 - Atividades realizadas na pesquisa.



A revisão bibliográfica foi realizada através de consulta em base de dados científicos (*Scopus e Web of Science*), e em sistema de informação de normas técnicas (*Target GEDWeb*), visando identificar as principais contribuições teóricas existentes sobre o assunto apresentado. A revisão subsidiou a: identificação de métodos aplicáveis à caracterização de LETAs do fluxograma; preparação prévia das amostras com diferentes tipos de secagem; caracterização de experimentos realizados em escala de bancada em duplicata; e análise das propriedades geoambientais dos LETAs com diferentes processos de secagem.

As amostras de lodos avaliadas foram obtidas em ETA da macrometrópole do estado de São Paulo que produz água potável com o emprego de coagulante de alumínio (PAC ou sulfato) e coagulante para o processo de desaguamento. Para a caracterização do resíduo, foram realizadas análises da composição físico-química dos

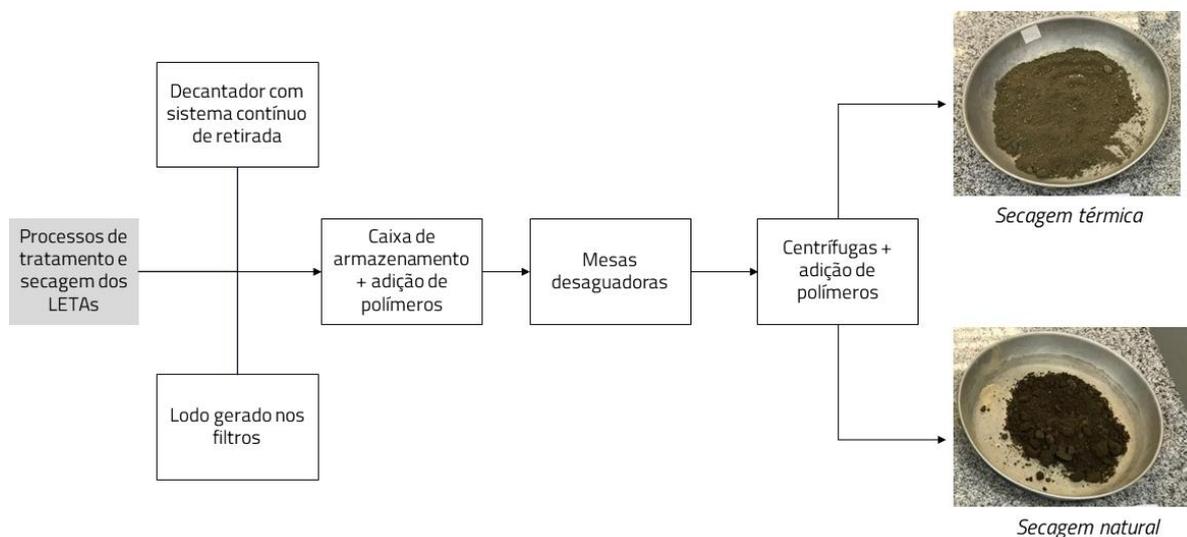
lodos antes e após diferentes tipos de secagem. Os LETAs foram caracterizados, com o uso das normas estabelecidas pela ABNT, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1. Métodos utilizados na pesquisa.

Parâmetros	Metodologia
Massa específica Umidade Matéria orgânica DQO	NBR 6.508 (ABNT, 1984) / IBAM (2001) NBR 6.457 NBR (ABNT, 1986) / IBAM (2001) NBR 13.600 (ABNT, 1996) NBR 10.357 (ABNT, 1988)
pH	Preparação: NBR 10.006 (ABNT, 2004) - / EMBRAPA (2017)
Análise granulométrica	NBR 7.180 (ABNT, 2016) / NBR 6.459 (ABNT, 2016 a)
Condutividade	10.004 (NBR ABNT, 2004) / EMBRAPA (2017)
Sólidos Totais	10. 664 (NBR ABNT, 1989)

A Figura 2 apresenta um esquema das etapas de tratamento dos LETAs, adotados na unidade em que foram coletadas as amostras.

Figura 2 - Tratamento e secagem dos LETAs



Os ensaios foram executados nos laboratórios do ICT/Unesp. Todas as medidas foram realizadas em duplicata e as médias dos resultados obtidos foram equiparadas com os valores reportados na literatura para fins de discussão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, no que se refere à caracterização de LETAs, não há concordância na adoção de procedimentos para a determinação de alguns parâmetros. Isso deve estar associado ao fato de que, apesar de o material ser classificado como resíduo sólido desde a década de 80 (ABNT, 1987), no Brasil, ele possui características e comportamento que se assemelham às dos solos. A Tabela 1 apresenta parâmetros identificados na literatura que foram obtidos tanto por normas de resíduos

como para solos e também para análise de águas, sendo o caso da DQO (NBR 10.35; ABNT, 1988), cuja norma técnica foi cancelada em 2013.

Tabela 1: Parâmetros de caracterização de LETAs identificados na revisão bibliográfica

Parâmetros	Normas	
	Normas – Resíduos Sólidos	Normas – Solos
Massa específica	IBAM (2001)	6.457 (2016)
Matéria orgânica	NBR 10.357 (ABNT, 1988)	13.600 (2022)
pH	NBR 10.004 (2004) / EMBRAPA (2017)	7353 (2019) - com preparo de solução aquosa
Umidade	IBAM (2001)	6.457 (2016)
Condutividade	EMBRAPA (2017)	N.E.
Sedimentação/ Sólidos Totais	NBR 10.664 (ABNT, 1989)	7.180 (2016)

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados obtidos com o emprego das normas de resíduos sólidos e solos para os parâmetros equivalentes encontrados na literatura.

Tabela 2 - Resultados de acordo com Normas de Solos do lodo seco naturalmente (SN) e seco termicamente (ST)

Parâmetros	Unidade	Resultados LETA (ST)	Resultados LETA (SN)	Metodologia (NBR ABNT)
Massa específica	g/cm ⁻³	2,089	2,648	6.457/2016
Umidade	%	37,54	95,51	6.457/2016
Matéria Orgânica	%	12,97	8,49	13.600/2022
Sólidos Totais	mg L ⁻¹	179,33	182,45	10.664/ 1989
pH	UpH	5,63	6,09	10.004/2004
Condutividade	µS/cm	561,3	649	10.004/2004
DQO	mg/L	156,5	393,83	10.357/ 1988

Tabela 3 - Resultados de acordo com Normas de Resíduos Sólidos do lodo seco naturalmente (SN) e seco termicamente (ST)

Parâmetros	Unidade	Resultados LETA (ST)	Resultados LETA (SN)	Metodologia (NBR ABNT)
Massa específica/ Densidade específica	Kg/cm ⁻³	826	748	IBAM (2001)
Massa específica	g/cm ³	0,826	0,748	IBAM (2001)
Umidade	%	48,85	27,29	IBAM (2001)
Matéria orgânica determinada por DQO	mg/ L	156,5	393,83	NBR 10.357 (ABNT, 1988)
Matéria orgânica determinada por Sólidos voláteis	mg/L	47,09	46,33	NBR 10.664 (ABNT, 1989)
pH	UpH	4,71	5,66	EMBRAPA (2017)
Condutividade	µS/cm	754,7	573,5	EMBRAPA (2017)

Devido à falta de normas que equiparem resultados geotécnicos de granulometria para resíduos, a Tabela 4 apresenta os resultados das análises seguindo somente as normas de solo.

Tabela 4 - Resultados geotécnicos dos lodos SN e ST

Parâmetros	Unidade	Resultados SN	Resultados ST	Metodologia (NBR ABNT)
L.L.	%	n.l.	n.l.	6459/2016
L.P.	%	n.p.	n.p.	7.180/2016
I.P.	%	não plástico	não plástico	7.180/2016

Onde: n.l.- não apresenta limite de liquidez; n.p.- não apresenta limite de plasticidade

As Figuras 3 e 4 apresentam resultados de ensaios de granulometria e matéria orgânica realizados para os LETAs SN e ST.

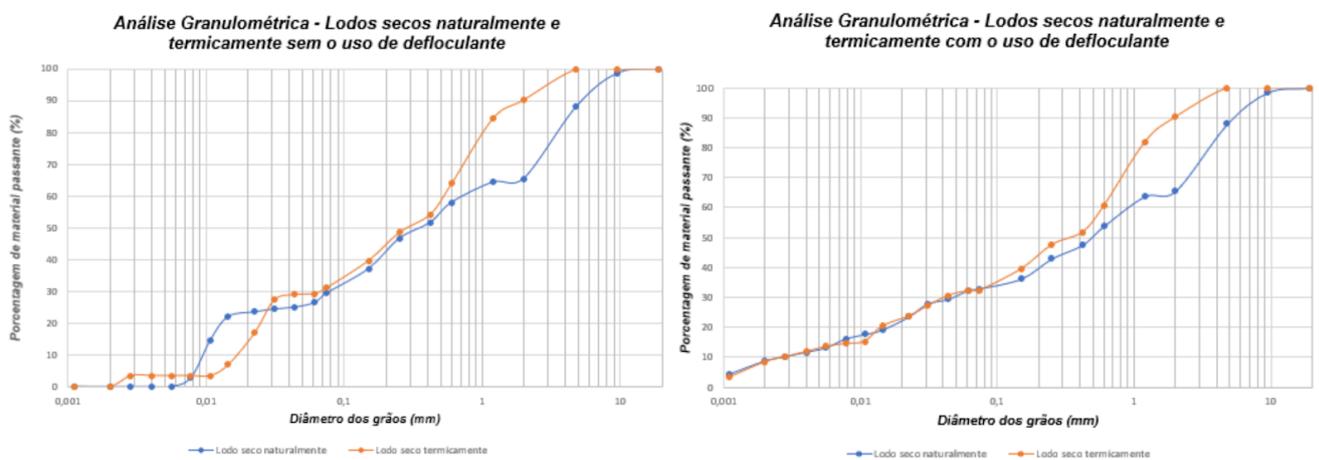


Figura 3 - Resultado da análise granulométrica com e sem a utilização de defloculante.



Figura 4 - Fotos dos ensaios de granulometria e matéria orgânica

Os ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação foram realizados com o uso da norma NBR 7.180 (ABNT, 2016). Observou-se que o defloculante não alterou o tempo de precipitação das partículas. Através do ensaio foi possível diferenciar grãos com diâmetros inferiores à abertura número 200. O lodo seco termicamente sem o uso de defloculante apresentou porcentagem passante de 29,24%, que conforme o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), corresponde à fração de argila. Já com o uso de defloculante, a porcentagem passante de grãos foi de 32,30% apresentando grãos com diâmetros menores que 0,002 mm, sendo a porcentagem de 3,4%. O lodo seco naturalmente apresentou a porcentagem passante da malha mais fina, de 26,43% sem o uso de defloculante sem apresentar diâmetros menores que 0,002 mm. Já com o uso do defloculante, a porcentagem passante da malha mais fina foi de 32,30%, apresentando a porcentagem de grãos com diâmetros menores que 0,002 mm de 4,41%.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste trabalho foram utilizados 2 métodos para determinação da matéria orgânica, a saber, a DQO e os Sólidos voláteis. Obteve-se como resultado de DQO para o lodo seco termicamente e naturalmente, respectivamente, 156,5 e 393,8 mg/L. Mesmo tendo sido essa norma técnica cancelada, esse parâmetro é comumente adotado para a caracterização de efluentes e soluções aquosas, em função de seu baixo custo. Os valores obtidos de sólidos totais para o lodo seco termicamente e naturalmente foram respectivamente, 179,33 e 182,45 mg/L. Quanto ao resultado obtido de sólidos voláteis, foram de 47,09 para o lodo seco naturalmente e 46,33 mg/L para o seco termicamente. Os resultados estão de acordo com os relatados por ANGELIM (2015), no qual para análise de matéria orgânica, usou os parâmetros do lodo do decantador avaliados por: sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais (STF), sólidos sedimentáveis e DQO. O resíduo se tratava de um lodo inorgânico, com relação média de STF/ST de 75%.

Destaca-se que os percentuais de matéria orgânica já aferidos nessa pesquisa serão equipados àqueles evidenciados por metodologias analíticas mais recentes, de modo a referenciar a qualidade dessas análises. ALVES (2019), em determinações do percentual de matéria orgânica dos lodos que foram realizadas através do método de calcinação, de acordo com a norma NBR 13600 (ABNT, 1996), obteve como resultado de matéria orgânica 25,15%. Os resultados de matéria orgânica obtidos nessa pesquisa, com o solo seco naturalmente e termicamente, comprovam a presença da matéria orgânica em baixas concentrações nos LETAs, o que determina que o material não deve ser considerado como biossólido.

O teor de umidade do lodo é parâmetro importante para determinar o seu manuseio (MEGDA *et al.*, 2005). Os valores encontrados neste trabalho com o uso da norma técnica aplicada para caracterização de solos, para o LETA seco naturalmente apresentaram 95,51%, enquanto o termicamente, apenas 37,54 (Tabela 2). Quando a umidade foi determinada seguindo a norma para resíduos os valores foram de 48,85 e 27,29% (Tabela 3) para o LETA seco naturalmente e termicamente, respectivamente. Essa discrepância de valores determinados para o mesmo parâmetro evidencia o pressuposto dessa pesquisa, que se faz necessário estabelecer procedimentos específicos para a caracterização de LETAs, de modo que os resultados reportados possam ser equiparados.

Após a realização dos ensaios de LL e LP, verificou-se que as amostras de LETAs avaliadas se comportaram como não plástico. Os LETAs, quando sujeitos a variações na temperatura, perdem não apenas a plasticidade, mas também a afinidade com a água, provocando uma redução drástica em suas plasticidades (O' Kelly, 2008).

O pH é uma característica importante na mobilidade de metais. Em geral, a lixiviação de metais aumenta em meio ácido e diminui em meio básico (ALLOWAY, 1990). Os lodos estudados neste trabalho (seco termicamente e naturalmente) apresentaram caráter ácido ($\text{pH} < 7$), o que potencializa a mobilidade dos elementos metálicos de sua constituição. Já a condutividade aferida, com o uso das normas de solos, variou de 561,3 e 393,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para os lodos SN e ST, respectivamente, evidenciando que o processo de secagem interfere diretamente nas medidas de condutividade.

A massa específica dos grãos de LETAs avaliados nessa pesquisa, foram superiores à 2 g/cm^3 de acordo com as normas aplicáveis à solos, menor que os valores normalmente encontrados para solos orgânicos. Este valor converge com aqueles obtidos por VANDERMEYDEN & CORNWELL (1998), entre 2,05 e 2,94 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, WATANABE *et al.* (2011), entre 2,40 e 2,61 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e segundo XIA (1994) e O'KELLY (2016), a massa específica dos sólidos de LETAs se relaciona inversamente com o teor de matéria orgânica, ou seja, um

elevado teor de matéria orgânica tende a diminuir a massa específica. ARDILA *et al.*, 2021 realizaram um estudo com LETAs e os parâmetros geotécnicos de massa específica dos grãos e condutividade avaliados pelos autores obtiveram resultados de 2,5 g/cm³ e 207,00 µS/cm respectivamente. Os valores de massa específica reportados são próximos daqueles verificados nessa pesquisa, no entanto, a condutividade não pode ser equiparada, pois nessa pesquisa foi realizada após a solubilização de LETAs secos.

Os dados de peso específico ou densidade aparente dos LETAs, avaliados nessa pesquisa com o uso do procedimento do IBAM (2001), mostram que esses resíduos possuem essa característica equiparável com os resíduos da construção civil ou ainda com a matéria orgânica comumente gerada nos centros urbanos. Destaca-se que para a área de saneamento, o peso específico ou densidade aparente de resíduos sólidos é importante parâmetro associado ao dimensionamento das etapas de manejo dos resíduos. Também foi possível verificar que o processo de secagem térmica reduziu em cerca de 10% o volume demandado para o transporte do material, se considerada a mesma massa.

CONCLUSÕES

Com este trabalho podemos concluir que apesar da legislação brasileira tratar os LETAs como resíduos sólidos, em grande parte dos estudos, o material é caracterizado através de Normas de Solos, dificultando a equiparação dos resultados das pesquisas. Para alguns parâmetros como: massa específica, umidade, matéria orgânica, pH, condutividade e sólidos totais identificou-se diferentes normas e procedimentos aplicáveis, que se referem a solos e resíduos e que podem resultar em valores distintos.

Destacou-se que as características específicas de cada LETA devem ser avaliadas, pois, até mesmo os diferentes processos de secagem podem influenciar as propriedades geoambientais dos lodos e demandar a especificação de tratamentos (*in-situ* e *ex-situ*) desses resíduos. Sendo assim, a generalização das características geoambientais de LETAs só deve ser realizada a partir de robustas caracterizações longitudinais e do contínuo monitoramento das águas brutas aportadas aos sistemas e dos insumos utilizados.

Na caracterização geotécnica dos LETAs foi possível observar que o defloculante não alterou o tempo de precipitação das partículas. Por sua granulometria, os LETAs possuem diâmetros de partículas semelhantes às argilas. Esses estudos de caracterização geoambiental serão continuados, a fim de que se possa subsidiar a determinação de procedimentos seguros e de baixo custo para a amostragem de LETAs nas unidades produtivas, assim como viabilizar a aplicabilidade de uso benéfico desses materiais.

AGRADECIMENTOS

Esse projeto possui o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Proc.: 2020/12230-4). O autor principal usufruiu de bolsa de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Edital 04/2022 - PIBIC) e apoio do Instituto I17. Agradecemos também à PROGRAD/UNESP (Edital 05/2023) e ao Programa de Pós-Doutorado da UNESP (PROPe 13/2022) pelos auxílios para participação do evento e ao ICT/UNESP pela concessão do transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMOVAY, R., SPERANZA, J. S., e PETITGAND, C. Lixo Zero. Gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera. São Paulo: Planeta Sustentável: Instituto Ethos, 2013. COSTA, E. R. H. Metodologia para o uso combinado de polímeros naturais como auxiliares de coagulação. XVII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1993. Anais. Natal, RN, 1993.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de tratamento de Água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 1993.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Resíduos sólidos – Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
4. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – NBR 6508: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

7. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016
8. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.600: Solo – Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. Rio de Janeiro, 1996.
9. ACHON, C. L.. et al. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISSO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Eng. Sanit. Ambient. v. 18, 2013.
10. ARDILA, M. A. A., PATRIZZI, L. J., DA SILVA, J. L. Desaguamento de lodo de decantador em SCR em geotêxtil não tecido: ensaio piloto. 2021.
11. ANGELIM, S. C. M. Estudo em escala real da disposição de resíduo de decantador de ETA em lagoa de estabilização de esgoto. Dissertação (Mestrado). Programa de PósGraduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA), Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 133 p. 2015.
12. ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1990. 321 p.
13. ALVARENGA, J. M. C. Uso de lodo gerado em estação de tratamento de água na fabricação de bloco cerâmico ecológico para uso em construções rurais. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras – SP, 2019
14. APARICIO ARDILA, M.A.; PATRIZZI, L.J.; LINS DA SILVA, J. Desaguamento de lodo de decantador em sistemas de confinamento de resíduos (SCRs) fabricado em geotêxtil não tecido: Ensaio piloto. 1º Encontro Nacional de Lodo de Estação de Tratamento de Água, 2021.
15. BASIM, S.C. (1999). Physical and Geotechnical Characterization of Water Treatment Plant Residuals. PhD Thesis New Jersey: New Jersey Institute of Technology.
16. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2021 (a).
17. BRASIL. Portaria de Consolidação GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde.(b)
18. BRASIL. Lei Federal nº 9605 de fevereiro de 1998.
19. BRASIL. (MMA) Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Consulta Pública. Brasília: [s. n.], 2020. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABlica.pdf>>. Acesso em: 12 Abril 2023.
20. ELMONTASSIR, H., ZAKI, K., WASSATE, B., GOUZOU, N., AFDALI, M., KARHAT, Y. Caracterização de lodo do tratamento de água potável e sua avaliação no tratamento de lixiviado (2019) Scientific Estudo e Pesquisa: Química e Engenharia Química, Biotecnologia, Indústria Alimentar , 20 (1), pp. 89-102.
21. EMBRAPA, Manual de Métodos de Análise de Solo, Cap. 1 da Parte II (Análises Químicas), 3ª Edição, 2017.
22. FIORE, F. A; RODGHER, S; ITO, C. Y. K; BARDINI, V. S. S. dos. KLINSKY, L. M. G. Qualidade das águas superficiais e geração de lamas nas estações de tratamento de água. Revista Ambiente e Água, v. 15, p. 5, 2020
23. FRANÇA JUNIOR, A. T. de. Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2008.
24. INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p
25. MONTALVAN, E. L. T. Investigação do comportamento geotécnico de misturas de solo arenoso com lodo da estação de tratamento de água do município de Cubatão, SP. 2016. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2016.
26. MOURATIB, R.; ACHIOU, B.; EL KRATI, M.; YOUNSSI, S. A.; TAHIRI, S. Low-cost ceramic membrane made from alumina-and silica-rich water treatment sludge and its application to wastewater filtration. Journal of the European Ceramic Society, v. 40, p. 15, 5942- 5950. 2020.
27. O’KELLY, B.C. Geotechnics of municipal sludges and residues for landfilling. *Geotechnical Research*, v.3, n.4, p. 148-179, 2016
28. O’KELLY, B.C. Geotechnical properties of a municipal water treatment sludge incorporating a coagulant. *Canadian Geotechnical Journal*, 45, nº 5, p. 715-725. 2008
29. ROQUE, A.; MONTALVAN, E. L. T.; BOSCOV, M. E. G. Caracterização mineralógica, química e geotécnica do lodo da Estação de Tratamento de Água Taiaçupeba. *Geotecnia*, v. 151, p. 33-52. 2021.

30. HSIEH, H. N.; RAGHU, D. Criteria development for water treatment plant residual monofill. AWWA - American Water Works Association, 1997.
31. YUZHU, W. Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso. 1996. Universidade de São Paulo, 1996.
32. WANG, M.C.; HULL, J.Q.; JAO, M. DEMPSEY, B.A.; CORNWELL, D.A. (1992). Engineering behavior of water treatment sludge. *Journal of Environmental Engineering*, 118, n° 6, p. 848-864.
33. VANDERMEYDEN, C.; CORNWELL, D.A. Nonmechanical dewatering of water plant residuals. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, Denver, Colorado. 1998.
34. WATANABE, Y.; KONIME, H.; YASHU, K.; MURAKAMI, S. Batch Leaching Test Focusing on Clod Size of Drinking Water Sludge and Applicability to Long-Term Prediction Using Column Leaching Test. *Proceedings of Geo-Frontiers 2011 - Advances in Geotechnical Engineering*.
35. XIA, Z. Geotechnical characterization of water treatment plant residuals. M.Sc. Thesis, New Jersey Institute of Technology, New Jersey. 1994.