



HENRIQUE LOUREGIANI CARVALHO PINTO FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO
TRATAMENTO PRELIMINAR DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE
ENSINO**

**LAVRAS – MG
2023**

HENRIQUE LOUREGIANI CARVALHO PINTO FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Engenharia Ambiental, para a obtenção de título de Mestre.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Pinto Filho, Henrique Louregiani Carvalho.

Caracterização e avaliação do aproveitamento de resíduos sólidos do tratamento preliminar da estação de tratamento de esgoto de uma instituição de ensino / Henrique Louregiani Carvalho Pinto Filho. – 2023.

73 p. : il.

Orientador: Mateus Pimentel de Matos.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Gradeamento. 2. Sólidos Grosseiros. 3. Areia fina. I. Matos, Mateus Pimentel de. II. Título.

HENRIQUE LOUREGIANI CARVALHO PINTO FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DE UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO**

**CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE USE OF SOLID WASTE
FROM THE PRELIMINARY TREATMENT OF THE SEWAGE TREATMENT
PLANT OF AN UNIVERSITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração em Engenharia Ambiental, para a obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 23 de março de 2023.

Prof. Dr. Marcus Vinícius Araújo Marques

Prof. Dr. Jacineumo Falcão de Oliveira

Dr. Isael Aparecido Rosa

UFMG

UFERSA

UFLA

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

Em especial, aos meus pais, aos meus filhos e à minha família por me apoiarem em meus estudos, pela paciência e compreensão.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me proporcionou esta conquista.

Em especial, ao meu orientador Mateus pela paciência e dedicação.

Aos meus pais e irmãos pela confiança e gratidão.

À minha esposa e filhos pelo incentivo.

À minha família pelo carinho. Aos amigos e colegas de trabalho, em especial, ao Aroldo, Tobias, Reginaldo, João e Isael pela enorme contribuição e determinação.

Aos amigos e técnicos de laboratório pela ajuda nas realizações de análises, principalmente à Laize, Talita e Marcos.

Aos alunos que estiveram ao meu lado, durante esta trajetória, pelo aprendizado e convivência.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, pela oportunidade.

Aos professores da Banca de Defesa da Dissertação, pela enorme contribuição nesta última etapa a ser alcançada.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O tratamento de esgotos sanitários gera alguns tipos de subprodutos como biogás, lodo, efluente tratado, sólidos grosseiros, areia e espuma. Os três primeiros têm sido avaliados, para diferentes finalidades, como produção de energia, fornecimento de nutrientes, condicionamento de solos, confecção de sorventes para a remoção de contaminantes e fabricação de agregados leves. No entanto, os últimos, em razão de sua grande heterogeneidade e contaminação com diferentes poluentes, têm sido pouco estudados, sendo encaminhados para aterros sanitários, com grande ocupação de áreas e redução da vida útil das células. Assim, com a realização do presente trabalho, objetivou-se caracterizar e avaliar o potencial emprego do material gradeado (retido nas placas perfuradas) da estação de tratamento de esgotos da UFLA (ETE-UFLA), na produção de areia, para a construção civil e fertilização de solos. Para alcançar os objetivos, foi feita a separação dos resíduos do tratamento preliminar por elevatória (Elevatória da Veterinária x Elevatória da Goiaba - esgotos com diferentes características – oriundos da porção sul e norte, respectivamente, do campus universitário) e por etapa de tratamento (gradeamento grosseiro e fino), além da realização das seguintes avaliações: caracterização mássica, gravimétrica e granulométrica; obtenção da massa/peso específico de teores de sólidos totais, fixos e voláteis, macro e micronutrientes; avaliação da presença de coliformes totais e termotolerantes e microplásticos nas amostras; e avaliação da fertilização em vasos (em comparação com solo sem fertilização e com fertilização com NPK). Com base nos resultados encontrados, verificou-se que a maior parte dos resíduos do tratamento preliminar é classificada como “outros”, tendo importante composição de solo. O resíduo apresenta características de solo de textura média (a argiloso) e com presença de macro e micronutrientes, razão pela qual proporcionou maior produção vegetal do capim-elefante em relação ao tratamento químico. Nesse subproduto, há a presença de microplásticos, enquanto a areia segregada apresenta matéria orgânica e organismos patogênicos. O tratamento com produtos químicos proporcionou maior redução do teor de sólidos voláteis, ainda que os valores alcançados sejam baixos e estejam próximos de tratamento mais simples (com manutenção em temperatura ambiente e uso de água de torneira), enquanto a cloração permitiu a não detecção de patógenos na concentração de 8 g/L de hipoclorito de cálcio. Gera-se de 0,013-0,023 L/m³ de resíduo no período com a maior presença de alunos, visto que a época do ano (número de usuários) e a elevatória (Veterinária gera mais resíduos) interferem na quantidade amostrada.

Palavras-chave: Composição gravimétrica. Gradeamento. Fertilizante orgânico. Tratamento químico da areia. Tratamento preliminar. Sólidos grosseiros.

ABSTRACT

The treatment of sewage generates some types of by-products such as biogas, sludge, treated effluent, coarse solids, sand and scum. The first three have been evaluated for different purposes such as energy production, nutrient supply, soil conditioning, making sorbents to remove contaminants and manufacturing lightweight aggregates. However, the latter, due to their great heterogeneity and contamination with different pollutants, have been little studied, being sent to landfills, with a large occupation of areas and reduced cell life. Thus, with the accomplishment of the present work, the objective was to characterize and evaluate the potential use of the grated material (retained in the perforated plates) of the sewage treatment station of UFLA (ETE-UFLA) in the production of sand for civil construction and fertilization of soils. To achieve the objectives, the waste from the preliminary treatment was separated by lift stations ("Veterinary lift station" x "Guava lift station" - sewage with different characteristics - coming from the south and north portions, respectively, of the university campus) and by treatment stage (coarse and fine screen), in addition to carrying out the following evaluations: mass, gravimetric and granulometric characterization; obtaining mass/specific weight, total, fixed and volatile solids, macro and micronutrients; evaluation of the presence of total and thermotolerant coliforms and microplastics in the samples; and evaluation of fertilization in pots (compared to soil without fertilization and soil with NPK fertilization). Based on the results found, it was verified that most of the preliminary treatment residues are classified as "others", having important soil composition. The residue presents soil characteristics of medium texture (to clayey) and with the presence of macro and micronutrients, which is why it provided greater plant production of elephant grass in relation to the chemical treatment. In this by-product, there is the presence of microplastics, while the segregated sand presents organic matter and pathogenic organisms. Treatment with chemical products provided a greater reduction in the volatile solids content, although the values achieved are low and are close to simpler treatment (with maintenance at room temperature and use of tap water), while chlorination allowed the non-detection of pathogens in the concentration of 8 g/L of calcium hypochlorite. It generates 0.013-0.023 L/m³ of waste in the period with the highest presence of students, and the time of year (number of users) and the lift station (Veterinary generates more waste) interfere in the sampled amount.

Keywords: Chemical sand treatment. Coarse solids. Screening. Gravimetric composition. Organic fertilizer. Preliminary treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da ETE-UFLA (indicada com X) no Campus Universitário.....	32
Figura 2 - Foto aérea da ETE/UFLA.....	33
Figura 3 - Unidades de tratamento da ETE-UFLA.....	33
Figura 4 - Tratamento preliminar (gradeamento) da ETE-UFLA.....	34
Figura 5 - Localização das elevatórias (indicadas com X) no Campus Universitário.....	35
Figura 6 - Resíduos sólidos retirados dos gradeamentos.....	36
Figura 7 - Detalhamento das amostras geradas e análises realizadas em cada campanha.....	37
Figura 8 - Procedimentos para a obtenção dos microplásticos presentes nas amostras dos resíduos do tratamento preliminar.....	40
Figura 9 - Local de amostragem do solo utilizado no ensaio de fertilização.....	41
Figura 10 - Local da realização do experimento de fertilização de parcelas (ETA-UFLA). ...	43
Figura 11 - Resíduos retidos no tratamento preliminar da ETE-UFLA, elevatória Veterinária.	44
Figura 12 - Massa de resíduos coletados nas elevatórias da goiaba (G) e Veterinária (V), por campanha, separado por gradeamento grosseiro (G) e fino (F).....	45
Figura 13 - Desenvolvimento vegetal do capim-elefante ao longo dos 100 dias de cultivo. (T1 Controle à esquerda da foto, T2 adubação mineral ao centro e T3 adubação orgânica com resíduo sólido à direita).....	54
Figura 14 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE.....	57
Figura 15 - Identificação de microplásticos nas amostras de resíduos do tratamento preliminar.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização do solo utilizado em vasos no ensaio de fertilização com uso de resíduos do tratamento preliminar.	42
Tabela 2 - Composição gravimétrica (em %) das campanhas realizadas nas elevatórias.	47
Tabela 3 - Composição gravimétrica (em dag kg^{-1}) das campanhas realizadas nas elevatórias.	48
Tabela 4 - Características físico-químicas e químicas dos resíduos coletados.....	49
Tabela 5 - Análise microbiológica de detecção de grupos coliformes.	50
Tabela 6 - Caracterização granulométrica dos resíduos de campanhas de coleta (sem peneiramento e sem separação por elevatória).	51
Tabela 7 - Caracterização granulométrica dos resíduos finos (<1,00 mm) das elevatórias da Goiaba e Veterinária (2ª Campanha de amostragem).....	51
Tabela 8 - Teor de sólidos voláteis (SV, em %) nos diferentes tratamentos utilizados para os resíduos do tratamento preliminar das elevatórias da Goiaba e Veterinária	52
Tabela 9 - Crescimento vegetal e biomassa gerada após cortes da parte aérea do capim-elefante adubado com NPK ou tratado com resíduo do tratamento preliminar da ETE-UFLA.	55
Tabela 10 - Análise foliar (teor de macro e micronutrientes) presente em plantas que receberam tratamento com adubo químico (NPK) ou resíduo do tratamento preliminar.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
B	Boro
Ca	Cálcio
CC	Capacidade de Campo
Cd	Cádmio
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
Cl	Cloro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
DAM	Departamento da Ambiental
DCS	Departamento de Ciências dos Solos
DQMA	Diretoria da Qualidade do Meio Ambiente
DTH	Tempo de Detenção Hidráulica
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Ferro
GEE	Gás de Efeito Estufa
GF	Goiaba Fino
GG	Goiaba Grosseiro
Hg	Merúrio
K	Potássio
Kc	Coeficiente da cultura
LAADAM	Laboratório de Análises de Água do Departamento da Ambiental

MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MP	Microplástico
N	Nitrogênio
NBR	Norma Técnica
Ni	Níquel
NTK	Nitrogênio Total kjeldahl
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Polivinila
Q méd.	Vazão média
Q	Vazão
S	Enxofre
S sed.	Sólidos Sedimentáveis
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UFLA	Universidade Federal de Lavras
VF	Veterinária Fino
VG	Veterinária Grosseiro
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	Resíduos sólidos: geração e leis relacionadas.....	16
3.2	Subprodutos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos.....	18
3.3	Caracterização de resíduos sólidos.....	19
3.3.1	Composição gravimétrica	20
3.3.2	Determinação do poder calorífico	22
3.3.3	Microplásticos	23
3.4	Tratamento, aproveitamento e destinação final de resíduos	25
3.4.1	Potencial de aproveitamento de energia	25
3.4.2	Aproveitamento de resíduos na construção civil	26
3.4.3	Utilização de resíduos na agricultura	27
3.5	Destinação dos subprodutos do tratamento de esgoto.....	28
3.6	Gestão de resíduos sólidos em universidades	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	Descrição da área de estudo.....	31
4.2	Coleta das amostras	35
4.3	Caracterização mássica e gravimétrica	37
4.4	Teor de sólidos e sólidos voláteis	38
4.5	Massa/peso específico	38
4.6	Caracterização química e microbiológica	39
4.7	Determinação de microplásticos.....	39
4.8	Redução de matéria orgânica da areia fina com imersão em soluções químicas..	40
4.9	Uso como fertilizante	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1	Quantidade gerada do resíduo sólido do tratamento preliminar.....	44
5.2	Composição gravimétrica	46
5.3	Caracterização física das amostras de resíduos do tratamento preliminar	47
5.4	Caracterização química dos resíduos do tratamento preliminar	48
5.5	Caracterização microbiológica dos resíduos do tratamento preliminar	50
5.6	Composição granulométrica dos resíduos do tratamento preliminar	50
5.7	Redução de matéria orgânica da areia fina com imersão em soluções químicas..	51
5.8	Uso como fertilizante	53
5.9	Microplásticos	56
5.9.1	Caracterização do material gradeado.....	56
6	CONCLUSÕES.....	59
	<u>REFERÊNCIAS.....</u>	60

1 INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de águas residuárias e resíduos sólidos no meio ambiente podem acarretar em impactos ambientais, sociais e econômicos, proporcionando, por exemplo, contaminação dos cursos d'água e do solo, liberação de microplásticos e gases de efeito estufa; enchentes, aumento das internações hospitalares, redução do potencial turístico, diminuição do rendimento escolar e no trabalho, entre outras consequências (FREITAS; XIMENES, 2012; GOUVEIA, 2012; FERRONATO; TORRETTA, 2019). Assim sendo, torna-se fundamental prover o acesso a serviços de saneamento, para toda a população, além da fiscalização de indústrias, agroindústrias e prestadores de serviços, com o intuito de avaliar o cumprimento das deliberações e normas existentes.

Além disso, hoje é cada vez mais importante e incentivada a adoção de medidas de economia circular, visando ao aproveitamento dos subprodutos gerados nas diferentes atividades antrópicas. Com esse foco, é possível reduzir a necessidade de retirada de matérias-primas da natureza; agregar valor ao subproduto gerado; diminuir a quantidade de rejeitos encaminhados a aterros ou dispostos incorretamente, entre outros benefícios (SEHNEM, 2019).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, a gestão dos resíduos sólidos deve privilegiar a não geração dos subprodutos ou a diminuição da sua produção. Não sendo possível, torna-se importante reutilizar e reciclar os materiais, bem como tratá-los, dando-lhes destino adequado (BRASIL, 2010). Como exemplos dessa concepção, quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos, pode-se citar o aproveitamento dos restos culturais da produção agrícola para a geração de energia (caldeiras), além do uso como cobertura morta ou adubação verde; o emprego de escórias de aciarias como base de estradas, condicionador de solos e meio suporte no tratamento de águas residuárias; a reciclagem de garrafas pet e papéis, entre outros. Nas instituições de ensino e pesquisa também têm sido feitas avaliações da melhor forma de aproveitamento de resíduos de construção civil, dos lodos de estação de tratamento de água e de esgoto, de resíduos agroindustriais, de rejeitos de mineração, entre outros (GODOY, 2013; MATSUBARA; COELHO, 2018).

Especificamente no tratamento de esgotos, são gerados diferentes tipos de subprodutos, como os gases, passíveis de queima e aproveitamento para a produção energética; o lodo de potencial uso na adubação orgânica; e o efluente tratado, de possível uso na fertirrigação (AMARAL; AISSE; POSSETTI, 2019; BONINI; ALVES; MONTANARI,

2015; CHERNICHARO *et al.*, 2015; MARIA *et al.*, 2010; MARQUES *et al.*, 2017). No entanto, ainda, existem poucos trabalhos relacionados ao potencial de aproveitamento dos sólidos grosseiros retidos no gradeamento/peneiramento, além da espuma, presente na superfície de reatores e em caixas de gordura. Um dos poucos exemplos é o trabalho de Borges (2014), no qual foi feita a avaliação desses resíduos, com a obtenção de resultados que sugeriram o potencial emprego na geração de energia e na fabricação de agregados, podendo tornar as Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) mais sustentáveis.

Em instituições de ensino, o esgoto apresenta características diferentes das comumente encontradas nas águas residuárias geradas em cidades, dada a presença de laboratórios, clínicas de atendimento veterinário e humano, refeitórios, entre outros. Conseqüentemente, as características dos subprodutos gerados também podem diferir, inclusive em relação ao material retido no tratamento preliminar e o seu potencial de aproveitamento na construção civil, na nutrição de solos e na geração de energia. Na Universidade Federal de Lavras, dada a sua vocação pela sustentabilidade, reconhecida pelo *Green Metric*, o estudo do aproveitamento dos resíduos da ETE é de grande relevância, podendo os resultados obtidos nortear futuras ações da instituição.

2 OBJETIVO GERAL

Caracterizar os resíduos retidos no gradeamento (placas perfuradas) da Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras e avaliar o potencial de aproveitamento agrícola, energético e de uso na construção civil.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a composição gravimétrica e teor de sólidos dos resíduos, retidos no gradeamento da Estação de Tratamento de Esgotos, avaliando separadamente o gradeamento grosseiro e fino;
- b) Caracterizar o material coletado de forma a inferir se há diferenças dos resíduos grosseiros amostrados por serem provenientes do esgoto de uma instituição de ensino;
- c) Avaliar qualitativamente a presença de microplásticos nos resíduos do tratamento preliminar;
- d) Realizar o levantamento da quantidade de material retido por m³ de esgoto, separando por elevatória;
- e) Inferir sobre possíveis fatores de influência (número de usuários e fatores meteorológicos) nas características dos resíduos acumulados no tratamento preliminar;
- f) Avaliar diferentes tratamentos químicos, para a redução dos teores de sólidos voláteis (SV) da areia retida no tratamento preliminar, visando a um futuro aproveitamento na produção de agregados da construção civil;
- g) Avaliar a produção vegetal em vasos adubados com o peneirado do resíduo do tratamento preliminar.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduos sólidos: geração e leis relacionadas

Os resíduos sólidos são definidos como quaisquer materiais no estado sólido ou semissólido resultantes de atividades agrícolas; comerciais; domésticas; hospitalares; industriais e de serviços de varrição, incluindo lodos oriundos de sistemas de tratamento de água; equipamentos; instalações de controle de poluição e determinados líquidos inviáveis para o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos receptores (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004a). Assim, são materiais gerados em diferentes atividades antrópicas e que são considerados indesejáveis nesse ambiente, devendo ser geridos adequadamente de forma a evitar possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos.

Como efeitos deletérios da inadequada disposição de resíduos sólidos, citam-se o assoreamento e a contaminação de cursos d'água superficiais e de águas subterrâneas; o maior risco de enchentes ocasionado pelo entupimento de bueiros; a maior incidência de doenças de veiculação hídrica; aumento da mortalidade de animais; entre outros efeitos (FREITAS; XIMENES, 2012). Há outros impactos negativos como o risco de incêndios em áreas de “bota fora” e lixões; a geração de condições insalubres nas quais ficam expostos os catadores; atração de vetores; liberação de gases de efeito estufa; desvalorização de áreas; diminuição do potencial turístico, entre outros (GOUVEIA, 2012; FERRONATO; TORRETTA, 2019).

Uma preocupação mais recente, em relação à má gestão de resíduos sólidos, refere-se à presença de microcontaminantes nos materiais acumulados e à liberação no ar, água e solo. Entre eles, destaca-se a detecção de desreguladores endócrinos (ARUKWE; EGGEN; MÖDER, 2012) na massa de resíduos, e a constatação de que tanto lixões quanto aterros podem servir como fontes de microplásticos para o solo, ar e água (HE *et al.*, 2019; OLIVEIRA; CORREA; SMITH, 2020). Como resultado, a população está bebendo e se alimentando de traços de microplásticos, que são encontrados nos alimentos, água e no organismo humano (LESLIE *et al.*, 2022; OLEKSIUK *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2020).

Para mitigar esses possíveis impactos ambientais, é fundamental a existência de leis, normas e diretrizes. A Lei nº 12.305/2010, por exemplo, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos (incluindo os perigosos), as responsabilidades de cada agente; além da classificação dos

resíduos (BRASIL, 2010). De acordo com o que está estabelecido na PNRS, deve-se privilegiar a não geração e a redução da produção dos resíduos sólidos. Não sendo possível atingir essa meta, passa-se a avaliar a factibilidade do reaproveitamento, reciclagem ou tratamento por tecnologias, economicamente viáveis (como resíduos recicláveis ou orgânicos), antes da sua disposição final.

Realizando o aproveitamento de resíduos, por exemplo, reduz-se o potencial risco de contaminação do meio ambiente; economiza-se com matérias-primas (pelo aproveitamento dos resíduos) e agrega-se valor econômico aos materiais antes indesejáveis, criando novos mercados e empregando conceitos de economia circular (OLIVEIRA; SILVA; MOREIRA, 2019). Além disso, nessa prática, seriam descartados apenas os resíduos nos quais já foram esgotadas as possibilidades de tratamento e recuperação pelos meios e processos tecnológicos conhecidos, diminuindo a quantidade encaminhada a aterros sanitários, prolongando o tempo de vida útil das células (ZAGO; BARROS, 2019).

Na definição do gerenciamento de cada tipo de resíduos sólidos, é importante o conhecimento de suas principais características, fontes geradoras, quantidades produzidas, que, por sua vez, dependem de fatores sociais, culturais e econômicos, peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais, nível educacional, entre outros (MARINHO; GONÇALVES; KIPERSTOK, 2014; MONTEIRO *et al.*, 2001). Por essa razão, é de suma importância fazer o levantamento quantitativo e qualitativo da massa de resíduos gerados, baseando-se em procedimentos metodológicos descritos na literatura e nas normas NBR 10.004, 10.005 e 10.006, de classificação dos resíduos sólidos (ABNT, 2004a; 2004b; 2004c).

A partir do disposto nas normas e/ou em ensaios de lixiviação e solubilização, pode-se separar em resíduos inertes, não inertes e perigosos que possuem diferentes formas de gestão. Para os primeiros, é mais interessante o encaminhamento para a realização da reutilização ou reciclagem; a segunda classe pode ter como destino a compostagem ou aplicação *in natura* no solo; já os perigosos devem ser tratados e/ou encaminhados a aterros especiais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1992, 2004a, 2004c, 2004d).

Para a disposição final dos subprodutos gerados, em algumas das atividades antrópicas, existem algumas outras regulamentações, como as Resoluções CONAMA nº 498 de 2020, sobre a disposição final de lodo de estação de tratamento de esgotos (ETE) (BRASIL, 2020); 307/2002 e 431/2011 (BRASIL, 2003, 2011) que trata da gestão de resíduos da construção civil (RCC); Resoluções RDC nº 306/04 da ANVISA e a resolução nº 358/05 do CONAMA, que regulamentam o gerenciamento de resíduos dos serviços de saúde

(BRASIL, 2004, 2005), além da deliberação normativa COPAM 153/2010 relativa à disposição final de resíduos de lodo de estação de tratamento de água (ETA) (MINAS GERAIS, 2010).

3.2 Subprodutos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos

A partir do que está disposto na Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), segregar os resíduos sólidos em nove classes, pois numa dessas estão presentes os subprodutos provenientes de serviços públicos de saneamento básico, como em instalações de tratamento de água, de esgoto e os resíduos sólidos urbanos (RSU). Em uma estação de tratamento de esgoto (ETE), durante o processo de depuração do líquido, podem ser gerados alguns tipos de subprodutos.

No tratamento preliminar, que recebe o esgoto bruto, são removidos os sólidos grosseiros. No gradeamento grosseiro e fino, são retidas impurezas de maior granulometria, como trapos, papéis, madeira, animais mortos, plásticos, material orgânico e outros, inadequadamente lançados na rede de esgotos. Também há remoção por diferença de massa específica e sedimentação da areia, nos mesmos dispositivos ou em unidades próprias (desarenadores); e por flotação de óleos e graxas (escuma) (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; BORGES; CAMPOS; FERREIRA, 2017; MORGADO; INACIO, 2014). Em algumas ETEs, também é feito o controle de gases do tratamento preliminar, com captação e extração dos efluentes gasosos e/ou adição de produtos químicos, que visam reduzir a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e fazer o controle de odores (BRANDT; SOUZA; CHERNICHARO, 2017; KARAGEORGOS *et al.*, 2010).

O esgoto então segue para a etapa primária (que pode ou não haver na ETE), para que os sólidos suspensos sedimentáveis fiquem retidos em dispositivos como os decantadores primários, constituindo o lodo primário. No tratamento secundário, diversos tipos de reatores, mecanizados ou essencialmente naturais; com (crescimento aderido) ou sem (crescimento microbiano disperso) a presença de meio suporte; anaeróbios, aeróbios ou facultativos, são utilizados para a remoção de material orgânico e outros contaminantes. À medida que utilizam o substrato, microrganismos crescem e se reproduzem, constituindo o lodo secundário, que é retido nos próprios reatores ou em decantadores secundários. Ainda pode ser gerado o lodo químico no tratamento primário, secundário ou terciário, quando é utilizado produto químico (coagulante) para que haja precipitação e sedimentação do produto da reação (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; GHERGHEL; TEODOSIU; GISI, 2019). Cita-se também a possível produção de biomassa vegetal e algal, em unidades de

tratamento com a presença de plantas e algas, como é o caso de sistemas alagados construídos e lagoas de alta taxa (ASSEMANY, 2017; BARROSO JUNIOR, 2020).

Nos processos descritos no parágrafo anterior, ainda são produzidos efluentes gasosos, com destaque para o biogás gerado no tratamento anaeróbio, além de CO₂ no tratamento aeróbio. O primeiro é composto por 70–80 % CH₄, passível de geração de energia; 10–25% de N₂ e 5–10% de CO₂ e 60-70% de CH₄, além de porcentagens de gases S e outros, pois alguns desses são Gases de Efeito Estufa (GEE) (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Já, ao final do tratamento, tem-se ainda o esgoto tratado (efluente líquido), que possui menor teor de sólidos, nutrientes e contaminantes, podendo retornar ao meio ambiente ou ter outro destino, de acordo com a qualidade apresentada.

A seguir será discutido sobre a caracterização dos resíduos, etapa que facilita a segregação, tratamento e sua destinação final, como pode ser também feito com resíduos de ETEs, com destaque para os oriundos do tratamento preliminar.

3.3 Caracterização de resíduos sólidos

Segundo Andrade e Ferreira (2011), independente do tratamento ou técnica a ser utilizada, é necessário realizar a caracterização dos resíduos sólidos, pois, tendo conhecimento das características, sabe-se a forma mais adequada para a sua gestão. E entre as variáveis de maior importância na caracterização desses subprodutos, pode-se citar, por exemplo, a avaliação da composição gravimétrica. É a partir dessa análise que é conhecida a quantidade de cada material presente na massa de resíduos, produzida por determinada fonte (REZENDE *et al.*, 2013), podendo identificar materiais passíveis de reciclagem/reutilização, compostagem, uso como fonte energética, entre outras possíveis rotas.

Como outras variáveis de caracterização de resíduos sólidos, elencam-se também a produção/contribuição *per capita* (kg/hab/dia - massa de resíduos sólidos produzidos por número de contribuintes por dia); a massa/peso específico (massa/volume de resíduos); teor de água; grau de compactação (capacidade de redução de volume da massa de resíduos a partir da aplicação de uma força); poder calorífico (quantidade de calor liberado pela queima do material); teor de matéria orgânica (massa de matéria orgânica por massa de resíduo); relação C/N (relação carbono/nitrogênio), além de teores de macro (Ca, Mg, K, P e S), micronutrientes (Zn, Cu, B, Cl, Fe, Mn), contaminantes inorgânicos e orgânicos e organismos patogênicos (MENEZES *et al.*, 2019; SILVA; SANTOS; ARAÚJO, 2017).

A importância de se caracterizar a massa de resíduos sólidos pode ser observada em alguns exemplos. Avaliam-se, por exemplo, a degradabilidade do resíduo e as condições de mistura para a realização da compostagem a partir da relação C/N; com base no peso específico e na compressibilidade, determina-se o número e o tipo de veículos utilizados para transporte dos resíduos; e a determinação do poder calorífico de uma massa de resíduos pode indicar potencial de utilização do material como fonte energética (COSTA *et al.*, 2005). O elevado teor de metais pesados pode inviabilizar a aplicação do lodo no solo para fins agrícolas, ou a contagem de organismos patogênicos no biossólido permite a classificação e o possível aproveitamento agrícola desse subproduto de ETE (BRASIL, 2020). A identificação e quantificação de microplásticos nos resíduos indicam potencial risco de contaminação do meio físico (OLIVATTO *et al.*, 2018; REVEL; CHÂTEL; MOUNEYRAC, 2018), entre outras possibilidades.

Dada a importância de se caracterizar os resíduos sólidos, a seguir, serão apresentados mais detalhes sobre alguns dos procedimentos metodológicos utilizados na avaliação dos subprodutos das atividades antrópicas.

3.3.1 Composição gravimétrica

As características dos resíduos sólidos, entre elas a composição gravimétrica, são muito variáveis, visto que a quantidade e a diversidade de resíduos descartados estão relacionadas à sazonalidade (período do ano e aspectos meteorológicos), aspectos culturais (estilo de vida); econômicos (poder aquisitivo) e sociais (hábitos nutricionais). Esses fatores influenciam diretamente na constituição, sendo esses geralmente compostos por plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros (ALKMIN; UBERTO JUNIOR; 2017; OZCAN *et al.*, 2016).

Espera-se, por exemplo, ter resíduos mais úmidos no período de chuvas; mais plásticos e papelão em dias festivos; menor produção de resíduos em períodos de férias escolares; maior produção *per capita* em cidades de maior porte; maior presença de materiais recicláveis em localidades de maior poder aquisitivo; redução da porcentagem de matéria orgânica de acordo com o aumento do nível cultural e educacional da população; e redução da presença de recicláveis no lixo comum a partir da divulgação de campanhas ambientais (MONTEIRO *et al.*, 2001). Dessa forma, pode haver diferença dos resíduos gerados nos centros urbanos das cidades e em instituições de ensino.

No Brasil, em média, 45,3% dos resíduos descartados são material orgânico; 16,8% de plásticos; 14,1% de metais; 10,4% de papel e papelão; entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, 2022). De acordo com Bicalho e Pereira (2018), a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Lavras (Acamar) coleta 5% dos resíduos sólidos na cidade, dos quais 70% são fibras vegetais (papel, jornal, revistas, papelão), 4% são metais, 20% são plásticos, 5% são vidros, 0,5% é óleo vegetal e 0,5% compreende outros materiais. Já no Sul de Minas Gerais, onde se localiza Lavras-MG, 56,0-62,0% são restos de comida; 7,0% de papel e papelão e 9% de plásticos (FRANCO *et al.*, 2016).

Por outro lado, em um trabalho realizado na avaliação da composição dos resíduos descartados da Universidade Federal de Lavras (UFLA), verificou-se que há 26,1% de plásticos, 25,7% de orgânicos, 23,9% de papel, 6,5% de vidro, 2,5% de metal e 15,3% de outros (CARVALHO, 2015). Dessa forma, há maior porcentagem de materiais recicláveis em comparação com o panorama geral brasileiro, relativo aos resíduos descartados nos centros urbanos. Outra importante constatação do estudo é que, apesar de ser relativo a um ambiente de ensino superior, 32,0% dos materiais eram descartados em local incorreto, dificultando a gestão dos resíduos. A partir de então, passou-se a realizar apenas duas separações no Campus, entre recicláveis e não recicláveis. Esse é mais um exemplo da importância da caracterização dos resíduos na definição e planejamento dos mecanismos de gestão de resíduos sólidos e, também, um resultado que indica diferenças da geração de resíduos em uma cidade em relação a uma instituição de ensino.

Na literatura são apresentados diferentes métodos, para determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, a maior parte consiste na homogeneização da massa de resíduos sobre uma superfície e a sua separação em partes, quarteamento da amostra, que é o processo de redução da amostra a pequenas porções representativas da amostra inicial, conforme apresentado na NBR 10007/2004 (ABNT, 2004b). Dessa forma, permite-se realizar a avaliação do tipo de material (plástico, papel, metais, vidro, matéria orgânica, entre outros) predominante e dar indícios de possíveis formas de aproveitamento do resíduo sólido. Grandes quantidades de papel, vidro, plástico e metais pesados podem indicar melhor direcionamento para reciclagem/reutilização. A compostagem pode ser uma boa alternativa, para resíduos ricos em matéria orgânica, enquanto, ao predominar a porcentagem de outros, deve-se avaliar a incineração ou o encaminhamento para aterros sanitários (MERSONI; REICHERT, 2017).

3.3.2 Determinação do poder calorífico

É definido como a energia (bruta, líquida ou sob outra condição pré-definida) disponível, em uma unidade de massa de um combustível, sendo expresso em termos de unidades de Energia (cal, kcal, kj, kWh, BTU, etc), dividida por unidades de massa (kg, lb, etc) (POLI *et al.*, 2013). Assim, a avaliação do poder calorífico permite avaliar o potencial de recuperação energética na queima de resíduos, sendo uma importante alternativa de seu aproveitamento, técnica que também propicia redução do volume a ser encaminhado para aterros (GOMES *et al.*, 2017). De acordo com Drudi *et al.* (2015), o aproveitamento energético dos resíduos depende de seu poder calorífico inferior (PCI) e do poder calorífico superior (PCS).

Os RSUs apresentam poder calorífico na faixa de 9.000 a 20.0000 kJ kg⁻¹; o lodo de esgoto tem valores da ordem de 12.000 a 29.000 kJ kg⁻¹ e resíduos agroindustriais como a palha de soja, restos culturais da produção de milho; palha e casca de arroz podem apresentar PCI, respectivamente, de 14.600; 17.700; 16.600 kJ kg⁻¹ (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; GOMES *et al.*, 2017).

Gikas (2010) caracterizaram o resíduo do tratamento preliminar de uma estação de tratamento de esgotos nos EUA e observaram valor de PCI de 4.299 kcal kg⁻¹ (17.987,02 kJ kg⁻¹). Assim como os últimos autores, Borges (2014) também avaliou o material acumulado no gradeamento fino e obteve o valor de PCI de 5.059 kcal kg⁻¹ (21.166,86 kJ kg⁻¹). O autor ainda comparou o resultado obtido com o lodo gerado na ETE e com os resíduos retidos no gradeamento grosseiro, análise que indicou que houve maior potencial de geração de energia, a partir da queima do subproduto fino do tratamento, preliminar em relação aos demais, em razão do menor teor de cinzas.

Dessa forma, a avaliação da composição do resíduo é de grande importância na análise de sua possível utilização como fonte energética. Gomes *et al.* (2017), por exemplo, realizaram a separação do RSU de Ponta Grossa, PR, por tipo de material e determinaram o PCS. O poder calorífico da matéria orgânica (41% do todo) ficou em 17.331 kJ kg⁻¹, do papel (7%) em 15.740 kJ kg⁻¹, enquanto, de plástico (14%), vidro, metal e rejeito, respectivamente, foram de 35.937, 0, 0 e 18.461 kJ kg⁻¹. Outro fator importante é o conteúdo de água presente nas amostras, havendo redução do poder de queima à medida que o resíduo se apresenta mais úmido (GOMES *et al.*, 2017).

Havendo $PCI > 2.000 \text{ kcal kg}^{-1}$ (8368 kJ kg^{-1}), a queima bruta (“*mass burning*”) é tecnicamente viável, indicando que materiais como resíduos do tratamento preliminar poderiam apresentar potencial de queima para a redução do volume e geração de energia.

3.3.3 Microplásticos

Os materiais plásticos foram, ao longo do tempo, tornando-se cada vez mais presentes na vida das pessoas, nas mais diversas dimensões, cores e funções. Pode-se observar a presença de plásticos, em produtos de higiene pessoal e cosméticos, automóveis, embalagens de alimentos, embalagens recicláveis, pellets, entre outros, em razão da sua durabilidade, flexibilidade e leveza (BOUCHER; BILLARD, 2019; DERRAIK, 2002; PEREIRA *et al.*, 2021). Essas características, porém trazem desvantagens que estão relacionadas ao tempo de permanência desses resíduos no ambiente e à possibilidade de transporte por longas distâncias, sobretudo, quando presentes em menores dimensões (microplásticos), atingindo o solo, ar, águas subterrâneas, rios e mares (FENDALL; SEWELL, 2009).

Os microplásticos são caracterizados majoritariamente por tamanho, forma (fibras, fragmentos, filmes, esferas ou pellets), cor, tipo (composição polimérica) e origem (primário ou secundário), tanto por técnicas que averiguam se o material é um plástico, quanto pelas que identificam o polímero majoritário (MONTAGNER *et al.*, 2021).

Os microplásticos são partículas de plástico de tamanho inferior a 5 mm de diâmetro, incluindo as partículas na escala de nanômetros. Esses microcontaminantes se dividem em duas categorias, os primários e os secundários. Os primários são produzidos em dimensões inferiores a 5 mm para uma grande variedade de usos tanto em nível industrial como em nível doméstico. Exemplos de microplásticos primários são as pastilhas de resina (2-5 mm), utilizadas pela indústria na produção de diversos objetos, e as microesferas (200 – 500 μm), produzidas para uso em produtos de limpeza, cosméticos e em abrasivos industriais. Os microplásticos secundários, por sua vez, têm origem na degradação de objetos de plástico de maiores dimensões, por meio de processo de degradação como a radiação ultravioleta, abrasão e decomposição das propriedades químicas (ARTHUR; BAKER; BANFORD, 2009).

Segundo Montagner *et al.* (2021), a degradação de um polímero está relacionada ao rompimento de ligações químicas covalentes, seja na cadeia principal ou em cadeia lateral. Esse rompimento é consequente da geração de espécies reativas (na maioria dos casos, radicais livres) que são também os responsáveis pela propagação do processo de degradação (CECCARINII *et al.*, 2018).

A iniciação do processo pode ser causada por fotodegradação e/ou degradação física, química e biológica, como presença de substâncias ácidas, atritamento e ataque biológico de bactérias (WAGNER; LAMBERT, 2018). Todas essas formas de iniciação implicam o fornecimento de energia para o rompimento das ligações químicas. Há, ainda, polímeros que se degradam mais facilmente que outros em razão da sua composição (complexidade da cadeia).

Nos polímeros ramificados, por exemplo, a presença da ramificação implica a existência de átomos de carbono terciário na cadeia polimérica principal. A energia da ligação química C-H é menor em átomos de carbono terciário que nos secundários, de forma que o processo de degradação pode ser iniciado mais facilmente, em polímeros de cadeias ramificadas, quando comparados aos polímeros lineares, os quais possuem majoritariamente átomos de carbono secundário (PAOLI, 2008).

Como discutido, no meio ambiente, a desagregação do material plástico pode ocorrer por ação da radiação ultravioleta (UV), da liberação de enzimas microbianas, degradação termal, ação oxidativa e hidrólise (ISENMANN, 2018; SCHNEIDER; MAFFESSIONI, 2021). Assim, o descarte inadequado dos resíduos acaba expondo-os à ação intempérica, o que resulta na fragmentação e na sua propagação, em toda a biosfera, tornando-se uma ameaça global (LUCIO *et al.*, 2019). Por essa razão, microplásticos têm sido identificados no solo, em rios, lagoas e oceanos, no ar, no esgoto, na água para consumo e até em alimentos (VAN DEN BERG, P. *et al.*, 2020; LV *et al.*, 2019; NG *et al.*, 2018; QI *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2019). Como boa parte dos microplásticos presente nos esgotos acaba sendo removido junto com o material orgânico sedimentado nas estações de tratamento de esgotos (ETEs), sendo frequentemente detectado no lodo (LV *et al.*, 2019; NGO *et al.*, 2019), acredita-se que também podem estar presentes no resíduo retido no tratamento preliminar.

Apesar de não haver uma metodologia consagrada e padronizada na literatura, estudos similares apontam para a extração de detritos de plásticos – microplásticos (MP), utilizando a técnica de diferença de densidade com solução salina e digestão de matéria orgânica utilizando solução de Peróxido de Hidrogênio H_2O_2 a 30% (BEHRENDTS *et al.*, 2006). Contudo não foram encontrados estudos na literatura que indicaram uma metodologia para avaliação de MP em sedimentos de tratamento preliminar em ETE.

Baseado nessas avaliações das características dos resíduos gerados e também em outras caracterizações (química, massa específica, periculosidade, etc), os subprodutos podem ser encaminhados para diferentes destinações finais. Porém, ainda hoje, na maioria dos casos, não há grandes segregações, sendo encaminhados em conjunto para lixões ou aterros, sem

haver o devido estudo da viabilidade do aproveitamento. O próximo item irá tratar do destino dos resíduos gerados nas diversas atividades antrópicas.

3.4 Tratamento, aproveitamento e destinação final de resíduos

A maior parcela dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é ainda hoje encaminhada para lixões (17,5%), aterros controlados (23,0%) e aterros sanitários (mais de 59,5%), visto que somente a última é uma alternativa ambientalmente segura (ABRELPE, 2022; JACOBI; BESEN, 2011). No entanto, como anteriormente discutido, essa opção também apresenta seus problemas, como a grande ocupação de áreas e o desperdício de matérias-primas (KELESSIDIS; STASINAKIS, 2012; ZAGO; BARROS, 2019).

Assim, para reduzir o potencial de contaminação dos resíduos e o volume destinado a aterros sanitários, tem-se avaliado e empregado alternativas como a reciclagem e a reutilização; a compostagem; a incineração (queima controlada); a pirólise (queima na ausência de oxigênio); o coprocessamento (utilização do resíduo como matéria-prima na fabricação de produtos), entre outros (AHMAD; AHMAD; ALAM, 2016; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; BAIDYA; GHOSH; PARLIKAR, 2016; RIBEIRO, 2019; SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Pesquisas realizadas também já demonstraram a viabilidade de aproveitamento de resíduos como fonte de macro e micronutrientes; na fabricação de agregados; na geração de energia; na confecção de sorventes no tratamento de águas e águas residuárias, entre outros (BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015; DIAS, 2021; MATOS, 2014). A seguir, serão descritas algumas das possibilidades de aproveitamento de resíduos sólidos.

3.4.1 Potencial de aproveitamento de energia

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são compostos por diversos materiais, entretanto a sua maior parte possui alto conteúdo energético (poder calorífico), ou seja, apresenta grande capacidade para conversão energética. Como consequência, há potencial de recuperação de energia pela combustão controlada desses resíduos (DRUDI *et al.*, 2015).

Esse também é o caso de resíduos agroindustriais (palhas, cascas e bagaços), que, em ambos os casos, deve-se ao elevado teor de matéria orgânica, como demonstrado em diversas pesquisas (MIGUEL *et al.*, 2008; TSUTIYA, 2001). Dessa forma, dada a porcentagem de sólidos voláteis (SV), nos resíduos do tratamento preliminar, valores que podem ser,

inclusive, superiores aos encontrados nos RSU (BORGES, 2014), surgem alternativas de utilização desses materiais, com fornecimento energético para a própria ETE.

Apesar disso, são poucos os estudos que objetivaram avaliar o potencial de geração de energia dos resíduos do tratamento preliminar de forma separada dos demais subprodutos de uma ETE. Kaless, Palmowski e Pinnekamp (2017) investigaram a capacidade de recuperação de carbono dos materiais gradeados, resultados que indicaram ser possível aproveitar de 27 a 62% do carbono presente na massa seca do resíduo, podendo esse ser aproveitado para a desnitrificação (fonte de carbono para os organismos heterotróficos redutores de N) ou produção de energia. Casos semelhantes podem ser relatados quanto à digestão do lodo de ETE e tratamento anaeróbio dos esgotos, que geram biogás, passível de utilização como matriz energética (PIÑAS; VENTURINI; LORA, 2015).

Oliveira *et al.* (2014) observaram que há viabilidade de utilização da catálise homogênea ácida ou catálise heterogênea de óleos e graxas presentes em estações de tratamento de esgotos para a produção de biodiesel. Ainda, segundo os autores, dada às características do resíduo, se for utilizada a catálise básica, pode haver formação de sabões, outra alternativa de interesse para o aproveitamento desse subproduto das ETes.

3.4.2 Aproveitamento de resíduos na construção civil

Avaliações têm sido feitas na tentativa de encontrar resíduos propícios para a substituição de matérias-primas na fabricação de cimentos, agregados leves, tijolos e cerâmicas na construção civil. Nesse sentido, já foram realizadas pesquisas com a utilização de RCC, lodos de ETE e de ETA, resíduos industriais como escórias de alto forno e até a areia removida no sistema de tratamento preliminar (ARRIVABENE *et al.*, 2012; BENLALLA *et al.*, 2015; BORGES *et al.*, 2016; EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010; TSUTIYA, 2001).

Segundo Borges, Campos e Pablos (2015) e Borges *et al.* (2016), a utilização da areia removida em desarenadores em ETes na construção civil surge como opção, com a premissa de que seja realizada sua higienização e redução dos teores de matéria orgânica, objetivando eliminar ou reduzir expressivamente a densidade de microrganismos patogênicos, além de remover matéria orgânica. O aproveitamento dessa areia removida no tratamento preliminar pode propiciar redução dos custos de construção, implicar ganhos no aspecto ambiental, mediante a possível diminuição da extração de areia comercial de leitos/margens de rios, que causam intenso dano à qualidade das águas (BORGES *et al.*, 2016).

Como os resíduos do tratamento preliminar contêm além de areia, matéria orgânica e materiais pedregulhosos, que estão presentes no lodo de ETE e no RCC, a investigação do seu aproveitamento, na fabricação de agregados, pode apresentar resultantes promissores. A dificuldade do emprego desse resíduo pode estar em relação à necessidade de higienização dos materiais componentes, no que diz respeito à possível contaminação com material orgânico, diversas substâncias e com organismos patogênicos.

3.4.3 Utilização de resíduos na agricultura

Os lodos de ETEs são resíduos ricos em matéria orgânica, macro e micronutrientes, pois são gerados a partir de mecanismos de remoção de poluentes nos sistemas de tratamento. Bactérias crescem e se reproduzem à medida que degradam a matéria orgânica presente no esgoto e incorporam compostos (macro e micronutrientes, além de contaminantes). Posteriormente, sedimentam, são flotados ou filtrados, sendo removidos do líquido tratado (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; MATOS, 2014; RIGO *et al.*, 2014). Dessa forma, com o seu aproveitamento no solo, mitigam-se os impactos ambientais e reduzem-se os gastos com adubação (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004; RIGO *et al.*, 2014).

Os estudos com lodos de ETE estão mais avançados, havendo inclusive uma legislação própria para o aproveitamento agrícola (BRASIL, 2020). Dado os bons resultados obtidos experimentalmente e em campo e a mudança na resolução existente, há expectativa de que a aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas cresça substancialmente, nos próximos anos no Brasil, seguindo uma tendência mundial e acompanhando a demanda gerada por um acentuado crescimento no volume de esgoto tratado no país. Além disso, essa forma de aproveitamento do biossólido tem se tornado cada vez mais atraente, pelos altos custos e impactos ambientais relacionados com os demais métodos de disposição, além da presença de nutrientes e matéria orgânica no lodo, podendo resultar em redução de despesas na agricultura (LE BLANC; MATTHEWS; RICHARD, 2008; CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015; GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004; KEFALLA; HARERIMANA; VASEL, 2013; SAMPAIO, 2013).

Apesar dos resíduos do tratamento preliminar serem compostos de materiais grosseiros e não de sólidos suspensos, nos quais houve incorporação de nutrientes, possivelmente a fração não inerte desses materiais pode fornecer nutrientes para os cultivos, tendo potencial de

nutrição de solos. Até o momento, no entanto não foram encontradas publicações que tratam do assunto.

3.5 Destinação dos subprodutos do tratamento de esgoto

O lodo de esgoto é, em sua maioria, encaminhado para aterros sanitários (45,6%), seguido da destinação para terrenos baldios, lixões ou aterros controlados (17,0%), uso na própria estação ou como insumo agrícola (12,6%), enquanto o restante do lodo da ETEs tem como destino cursos d'água ou uso na construção civil (24,8%) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2020). Assim, apesar do reconhecimento científico do potencial de condicionamento e nutrição de solo, recuperação de áreas degradadas, geração de energia, uso na fabricação de sorventes, na construção civil (AHADI *et al.*, 2019; BONINI; ALVES; MONTANARI, 2015; CHEN *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2020; LOGINOVA *et al.*, 2021; LOPES *et al.*, 2020; SWIERCZEK; CIEŚLIK; KONIECZKA, 2018; WOLLMANN; MÖLLER, 2018; ZHAO *et al.*, 2019), entre outros, grande parcela do lodo é ainda desperdiçada em aterros ou é incorretamente disposta no meio ambiente.

O biogás, por sua vez, pode ser queimado, para a geração de energia e redução do potencial poluidor, já que o CH₄ é 28 vezes mais prejudicial, em termos de efeito estufa que o CO₂, sendo o último produto final da oxidação (BRASIL, 2020; CHERNICHARO *et al.*, 2015). No entanto, dada às dificuldades técnicas e aos custos de implementação de sistemas de armazenamento e queima, o aproveitamento energético do biogás ainda é incipiente no país (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Já o efluente líquido tratado das grandes estações, comumente, é lançado em corpos receptores, porém, dada a escassez hídrica e de fontes de nutrientes, tem-se vislumbrado cada vez mais o reúso de água industrial e na agricultura (MARQUES *et al.*, 2017; NECZAJ; GROSSER, 2018). Em Minas Gerais, para se fazer o aproveitamento nas modalidades urbana, agrícola ou ambiental, devem-se seguir as diretrizes presentes na Deliberação Normativa (DN) 65/2020 (MINAS GERAIS, 2010).

Um tipo de resíduo que tem recebido menos atenção, em relação ao aproveitamento por parte de pesquisadores e profissionais da área de resíduos sólidos, é o removido no tratamento preliminar das estações de tratamento de esgotos (ETE). Alguns dos motivos citados, para o menor interesse científico, são: a grande heterogeneidade de materiais presentes e de texturas no material acumulado; a presença expressiva de resíduos classificados como “outros” na composição gravimétrica, além da contaminação com diferentes substâncias e organismos patogênicos. Como consequência, são frequentemente encaminhados para

aterros sanitários, havendo também casos de ETEs que enterram os materiais em área anexas ou fazem incineração dos sólidos gradeados (BRINGHENTI *et al.*, 2018; JORDÃO; PESSOA, 2017; MENDONÇA *et al.*, 2019).

Porém eles não podem ser negligenciados, no gerenciamento de resíduos das unidades de tratamento, em função do risco de atração de vetores e roedores, liberação de maus odores; risco de entupimentos e/ou acúmulos nas unidades de tratamento; desgaste de bombas e tubulação; e na possível deterioração na qualidade do efluente tratado (MENDONÇA *et al.*, 2019). A não remoção desses resíduos na ETE pode ainda implicar redução da efetividade do tratamento de águas residuárias, resultando em poluição dos corpos hídricos (TELLES; COSTA, 2010).

Em grades, peneiras, desarenadores e caixas de gorduras são removidos sólidos grosseiros como materiais inadequadamente descartados na rede de esgotos, areia, óleos e graxas (BORGES; CAMPOS; FERREIRA, 2017). A quantidade de material retido no tratamento preliminar é bastante variável, sendo dependente das características do tratamento utilizado, da educação sanitária da população e eventual presença de águas pluviais na rede de esgotos sanitários, fator esse que contribui para a presença de materiais típicos das lavagens das ruas e mesmo partículas de solo oriundos de processo erosivo. Considera-se tipicamente o valor de até 40-50 L de materiais retidos no gradeamento por 1000 m³ (grades de espaçamento fino a médio) e de 1,0 a 10,0 L de areia por 100 m³ de esgoto (JORDÃO; PESSOA, 2017; VENTURA; LOPES, 2017).

Assim, como todos os subprodutos gerados nas atividades antrópicas, é interessante que se façam avaliações de forma a esgotar as possibilidades de aproveitamento/tratamento, antes que se realize o descarte, visando atender os preceitos da economia circular e da gestão de resíduos sólidos. Em uma avaliação da composição gravimétrica dos resíduos do tratamento preliminar de uma ETA feita por Borges (2014), foi observado que 68% do volume de material é composto por matéria orgânica, 20% de pedras, 6% de plásticos e 4% de tecidos. Assim sendo, são materiais passíveis de aproveitamento, devendo-se avaliar a viabilidade econômica do aproveitamento, considerando que pode ser necessária a realização de tratamentos prévios.

Borges, Campos e Pablos (2015), por exemplo, realizaram limpeza com água e hipoclorito de sódio, para reduzir os teores de sólidos voláteis (SV) e a contagem de *E. coli* da areia, antes de seu emprego para a confecção de agregados. Segundo Cardoso *et al.* (2021) e Ting *et al.* (2020), o material orgânico pode prejudicar a aderência do agregado e interferir na pega e endurecimento do concreto, prejudicando o uso de areias com altos teores de SV. Na

literatura, são citados diversos reagentes que podem ser usados na digestão química como o peróxido de hidrogênio, ácido clorídrico, hidróxido de sódio, dicromato de potássio e o hexano, sendo os três primeiros os mais utilizados (BEHRENDTS *et al.*, 2006; GUOFEN *et al.*, 2010).

3.6 Gestão de resíduos sólidos em universidades

No Brasil, as ações para a sustentabilidade nas universidades são restritas, podendo-se identificar projetos isolados de uso eficiente da água, economia de energia e gerenciamento de resíduos. São poucas as universidades que realizam amplos sistemas de gestão ambiental, estando, muitas vezes, limitadas a pesquisas, cursos ou a disciplinas específicas (MARINHO; GONÇALVES; KIPERSTOK, 2014). Por outro lado, essas ações podem trazer inúmeros benefícios à instituição como já discutido ao longo do texto.

Na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no entanto a gestão ambiental é priorizada em diversas ações, como a substituição de lâmpadas por outras mais econômicas; uso de células fotovoltaicas para uso de energia solar; presença de estações de tratamento de água (ETA) e Esgoto (ETE), que são próprias da instituição; captação de água de chuva de telhados e armazenamento em lagoas antes do posterior uso; programas educacionais e incentivo para separação de resíduos e redução da geração de resíduos (ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA - ENAP, 2013). Como reconhecimento das medidas adotadas, a UFLA recebeu, em 2016, o selo azul (*Blue University*) de reconhecimento da gestão ambiental concedido pelo *Council of Canadians*, além de sempre figurar entre as instituições mais sustentáveis do mundo no ranking do *Green Metric*. Em 2020, a universidade ficou entre as 30 universidades mais sustentáveis do mundo (total de 912 instituições avaliadas), estando na segunda posição no Brasil e na América Latina (CAETANO, 2017). Já, em 2022, a UFLA também se manteve como a segunda universidade mais sustentável do Brasil e subiu da 4ª para a 3ª posição na América Latina (MENDES, 2022).

Dando continuidade às ações, a UFLA tem planos para aproveitar o esgoto tratado em áreas verdes do campus; aproveitar o biogás gerado como fonte energética; e aproveitar o lodo na adubação orgânica. Em relação aos resíduos do tratamento preliminar, não há nenhum planejamento em vista, sendo atualmente encaminhado para aterro sanitário. Dessa forma, com a realização do trabalho, pode-se contribuir para tornar a ETE-UFLA ainda mais sustentável, indo de encontro aos ideais da universidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

O trabalho foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), situada no Campus da instituição e localizada no município de Lavras-MG (Figura 1), nas coordenadas de latitude 21° 14'S e longitude 42° 00'W, a uma altitude de 903 m (ENAP, 2013).

A cidade de Lavras, situada no Sul de Minas Gerais, é caracterizada pelo clima Cwa - Clima subtropical de inverno seco, com inverno seco e verão chuvoso, temperatura do mês mais quente maior que 22 °C (e temperatura média anual de 19,9 °C), com índice pluviométrico médio anual de 1.486 mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007; SÁ JUNIOR *et al.*, 2012).

Segundo projeção do IBGE, a partir do censo de 2023, a cidade possui atualmente população de 105.576 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA - IBGE, 2023), enquanto a UFLA recebe, em suas instalações, 11.100 alunos de graduação, 1.850 discentes de pós-graduação, 766 docentes e 581 técnico-administrativos em 2019 (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA, 2023).

A instituição tem como missão a formação de profissionais qualificados, críticos e éticos, além de contribuir com a sociedade com a disseminação de conhecimento científico e tecnológico. Neste contexto, a UFLA tem como visão ser referência nacional e internacional como universidade sócio e ambientalmente correta, integrada à sociedade, como centro de excelência na produção acadêmica, científica, tecnológica e cultural (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA, 2018). Assim, possui metas e ações em seu Plano Ambiental, para realizar todas as atividades, com foco na sustentabilidade, entre as quais se pode citar a existência das Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE-UFLA) dentro do campus (FIGURA 1), realizando o fornecimento de água para os usuários da instituição e tratando o esgoto gerado.

Figura 1 - Localização da ETE-UFLA (indicada com X) no Campus Universitário.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2023).

A ETE-UFLA (FIGURA 2) é composta por grades grossas e finas, calha Parshall e caixa de gordura com elevatória interna no tratamento preliminar; seis reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – Reator Anaeróbio de Escoamento Ascendente e Manta de Lodo) e seis Filtros Biológicos Aerados Submersos (FBAS) compondo o tratamento secundário; além de quatro filtros de areia, tanque de contato com lâmpadas UV (ultravioleta) e clorador para possibilitar o tratamento terciário (FIGURA 3), visando depurar o esgoto sanitário gerado em departamentos, salas de aula, refeitórios e laboratórios. O efluente tratado segue para os tanques de reúso, de onde é bombeado para o viveiro da instituição, enquanto o excedente é encaminhado para a lagoa de infiltração, recarregando o ribeirão Vermelho que atravessa a universidade.

Já o lodo gerado no reator UASB, em que sofre digestão e adensamento, é encaminhado posteriormente para o desaguamento em filtros prensas. Após seco, o resíduo sólido tem como destino provável o aterro sanitário, porque atualmente não se gera quantidade necessária para se fazer o descarte dos reatores. O biogás, por outro lado, seria armazenado em *bags*, para posterior queima. Porém, novamente, há geração insuficiente para as demais etapas de gerenciamento do subproduto.

Figura 2 - Foto aérea da ETE/UFLA.



Fonte: Do autor (2023).

Apesar de se referir a gradeamento, o tratamento preliminar da ETE-UFLA é formado por placas perfuradas com orifícios de 2 cm (gradeamento grosseiro) e 1 cm (gradeamento fino) (FIGURA 4), conseqüentemente, há remoção também de quantidades expressivas de sólidos (solo) e areia, além dos materiais, com frequência, removidos nessa etapa de tratamento.

Figura 3 - Unidades de tratamento da ETE-UFLA.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 4 - Tratamento preliminar (gradeamento) da ETE-UFLA.

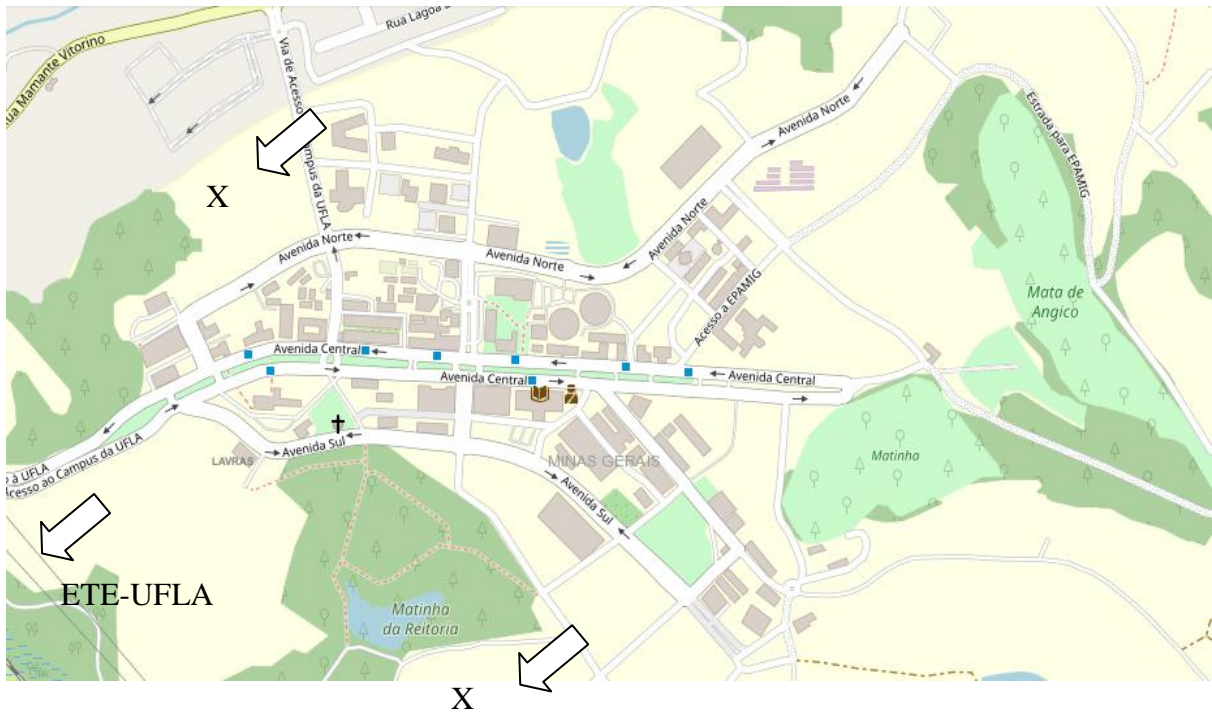


Fonte: Do autor (2021).

A ETE-UFLA foi projetada para tratar vazão de $800 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, recebendo, atualmente, vazão de $300 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Consequentemente, há estimativa de retenção de 12 L diários de sólidos grosseiros, com base nos valores apresentados em Jordão e Pessoa (2017). Uma quantidade expressiva que acaba sendo encaminhada a aterros, ocupando grandes volumes. Dependendo das características avaliadas, pode-se ter um destino mais adequado do ponto de vista ambiental e de economia circular.

O esgoto que chega à ETE-UFLA vem proveniente das elevatórias da Goiaba (pavilhões de aula, laboratórios e departamentos), posicionada na porção norte da instituição e da Veterinária (Hospital Veterinário, departamentos e laboratórios), presente na ala sul (FIGURA 5), que fornecem esgotos com características diferentes (FIALHO, 2019), podendo também haver diferença quanto aos materiais retidos. A última elevatória (Veterinária) conta com sistema de gradeamento grosseiro, que serve para reduzir o risco de entupimento e desgaste do sistema de adução do esgoto até a ETE-UFLA. No futuro, será interligada uma nova elevatória, essa localizada na entrada da instituição, que aportará o esgoto do campus histórico e dos alojamentos (ver FIGURA 1).

Figura 5 - Localização das elevatórias (indicadas com X) no Campus Universitário.



Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2023).

No tratamento preliminar, a remoção dos sólidos grosseiros, areia e óleos e graxas ocorre por mecanismos físicos, tais como filtração, sedimentação e retenção, havendo a retirada de materiais como papel, plásticos, metais, madeira, restos vegetais, animais mortos, pedaços de ossos, pelos de animais, areia, solo, entre outros.

4.2 Coleta das amostras

Para a caracterização das duas grades, foram coletadas amostras do gradeamento da ETE-UFLA, em diferentes momentos no ano 2022, realizando quatro coletas: I) retomada de aulas, após restrições de acesso no período de isolamento social e de maior índice pluviométrico - em janeiro; II) de recesso escolar em maio/2022; III) julho (uma coleta) e IV) agosto (outra coleta) referente ao período com aulas e menor índice pluviométrico. Conseqüentemente, a intenção foi avaliar a influência de fatores meteorológicos e do número de contribuintes nas variáveis avaliadas.

Os materiais coletados foram segregados, em gradeamento fino e grosso e também pela elevatória de contribuição. Durante o período de três dias (em cada campanha), o material foi amostrado, ao final da batelada, com limpeza dos compartimentos de retenção dos sólidos grosseiros, conforme ilustração da Figura 6.

Figura 6 - Resíduos sólidos retirados dos gradeamentos.



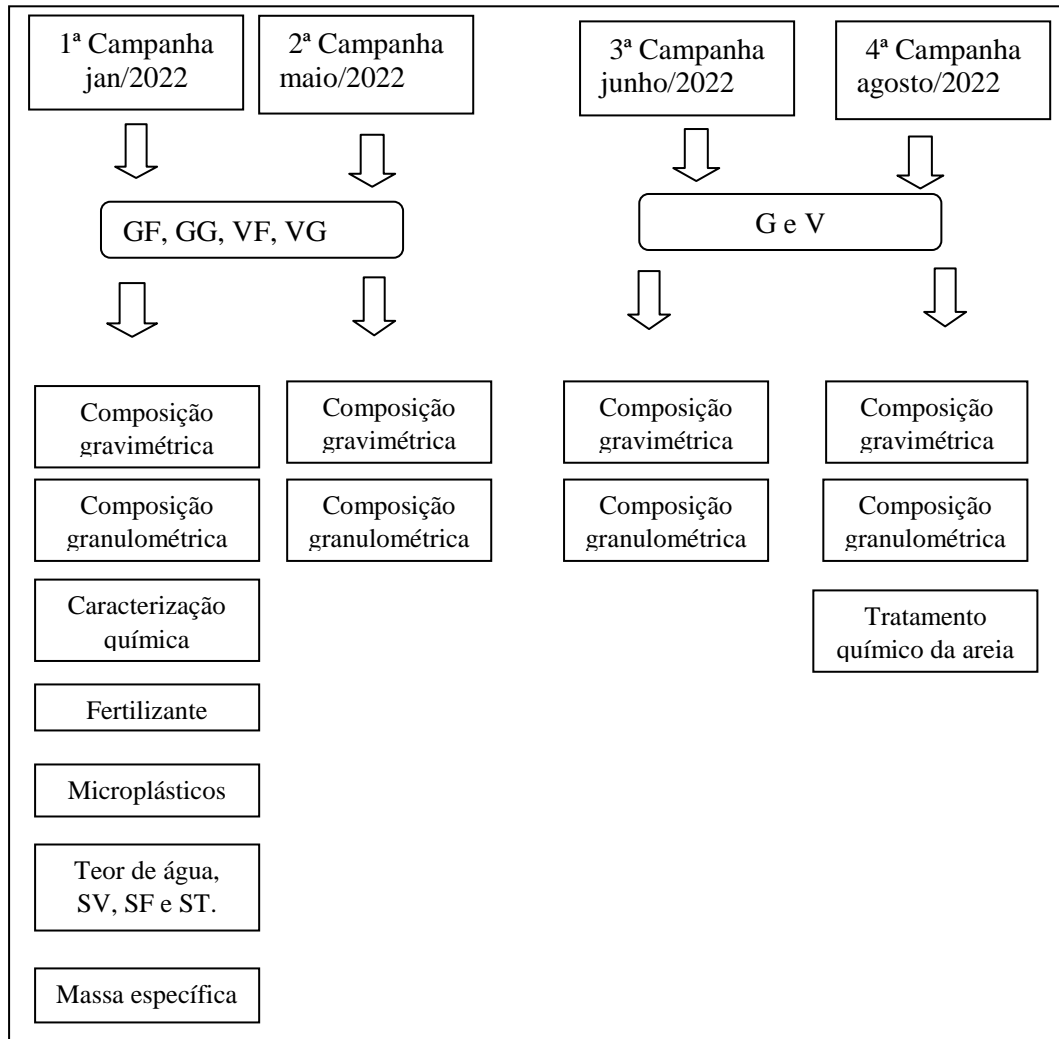
Fonte: Do autor (2023).

Para possibilitar a geração de quantidade suficiente de material, deixaram-se os resíduos acumularem nas placas perfuradas por 4 dias, período no qual foi necessário realizar a remoção do material por três vezes. Assim, em cada campanha, amostraram-se três vezes para cada unidade (gradeamento grosseiro ou fino) e batelada. Materiais de uma mesma elevatória e gradeamento foram misturados, para compor a amostra composta, sendo definidos os representantes GF (Goiaba Fino), GG (Goiaba Grosseiro), VF (Veterinária Fino) e VG (Veterinária Grosseiro), separação feita apenas nas duas primeiras campanhas de coleta. Já para a terceira e quarta campanha, a segregação ocorreu apenas por elevatória (GT e VT, total ou soma das elevatórias G e V) de forma a reunir quantidade suficiente para as análises realizadas neste período. Essas amostras foram utilizadas para a caracterização dos resíduos do tratamento preliminar da ETE-UFLA.

Nessa avaliação, não foram considerados óleos e graxas retidos na caixa de gordura e a espuma acumulada na superfície de reatores, sendo uma oportunidade para a realização de novos trabalhos na ETE-UFLA.

Na Figura 7, está apresentado um fluxograma com o detalhamento das campanhas de coletas e análises realizadas para cada uma dessas.

Figura 7 - Detalhamento das amostras geradas e análises realizadas em cada campanha.



Fonte: Do autor (2023).

4.3 Caracterização mássica e gravimétrica

Para a avaliação da composição gravimétrica, os materiais de todas as campanhas foram homogeneizados sobre uma lona (geomembrana) plástica, ficando expostos ao sol para secagem. Após um dia de secagem, toda a massa de materiais foi pesada, para, então, prosseguir com a divisão da massa em quatro partes (quarteamento), tendo descarte de duas das partes e a mistura das outras duas. O procedimento foi realizado até obter uma quantidade suficiente para realização da análise da composição gravimétrica (MATOS, 2014). Em seguida, foi feita a avaliação quanto à presença de plásticos, papéis, madeira, etc, com base na massa (utilizando bandejas e balanças), como realizado por Borges (2014). A separação e quantificação foram feitas na ETE-UFLA.

O somatório das frações representou a massa total de resíduos retidos no gradeamento per período e por elevatória, valor esse que será utilizado em avaliações discutidas a seguir. Já as amostras não utilizadas na avaliação da composição gravimétrica, descartadas após homogeneização e quarteamento, foram empregadas em outros tipos de caracterização do material, segundo metodologias a seguir.

4.4 Teor de sólidos e sólidos voláteis

Para essas determinações, o material amostrado e separado na ETE-UFLA (Campanha 1, material fino, após passagem na peneira 1 mm), foi encaminhado para secagem em estufa a 65 °C por 24h, no laboratório da ETA/UFLA para a obtenção do teor de sólidos totais (ST) e para o LAADAM – Laboratório de análises de água do Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA, para a combustão em mufla, a 550 °C, por 1 h, para a obtenção dos sólidos fixos (ST) e voláteis (SV), conforme descrito em Matos (2014).

O teor de ST foi obtido pela diferença da massa úmida e seca, com posterior divisão pela massa úmida (teor na base úmida, UBU). Já o valor de SF foi obtido pela pesagem da massa restante, após combustão, sendo essa dividida pela massa de sólidos totais. Os sólidos voláteis (SV), por sua vez, referem-se à massa perdida (massa seca menos a massa obtida após combustão). Para que se possa obter o teor de sólidos voláteis, deve-se dividir essa massa pela massa seca, ou seja, de sólidos totais.

Para a obtenção da massa úmida total e da massa seca total, foi feita a soma do material retido total nas elevatórias, considerando as divisões citadas anteriormente e a consideração de que há homogeneidade do teor de água nas amostras.

4.5 Massa/peso específico

Uma parcela dos sólidos secos (resultante dos procedimentos do item 4.4), de massa conhecida de 1,110 kg (campanhas 1, 2 e 3), foi acondicionada em recipientes graduados para a obtenção do volume ocupado, observando o que está disposto na NBR 10.007 (ABNT, 2004b). Assim, a massa específica ou peso específico (ρ) foi dado pela razão entre essa massa e o volume ocupado.

4.6 Caracterização química e microbiológica

Amostras das campanhas 1, 2 e 3 foram avaliadas quanto aos teores de carbono orgânico (método Walkley e Black), nitrogênio (Kjeldahl) e fósforo (método colorimétrico – ácido ascórbico), além da presença de outros macros e micronutrientes, seguindo metodologia descrita em Matos (2014), com procedimentos realizados no laboratório de análises dos solos – DCS/UFLA. Para as determinações, foram utilizadas apenas as amostras finas (< 1,00 mm) conforme intenção pela areia fina.

Já a avaliação microbiológica foi realizada pelo laboratório de Análises de Água da Estação de Tratamento de Água - ETA/UFLA, pelo método dos tubos múltiplos, considerando as amostras fina e a areia residual (separada dos demais componentes do resíduo), com metodologia descrita em Standard Methods 9221B (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2012), para a determinação da contagem de coliformes totais e termotolerantes. O mesmo procedimento foi feito, após cloração da areia, nas proporções de 0,4 e 0,8 g de hipoclorito de cálcio para 100 mL de água, visando inferir sobre a eficácia desse tratamento químico (cloração) na qualidade microbiológica da areia. Nessa prática, foram utilizados 1 g da areia fina e 10 mL da solução de hipoclorito.

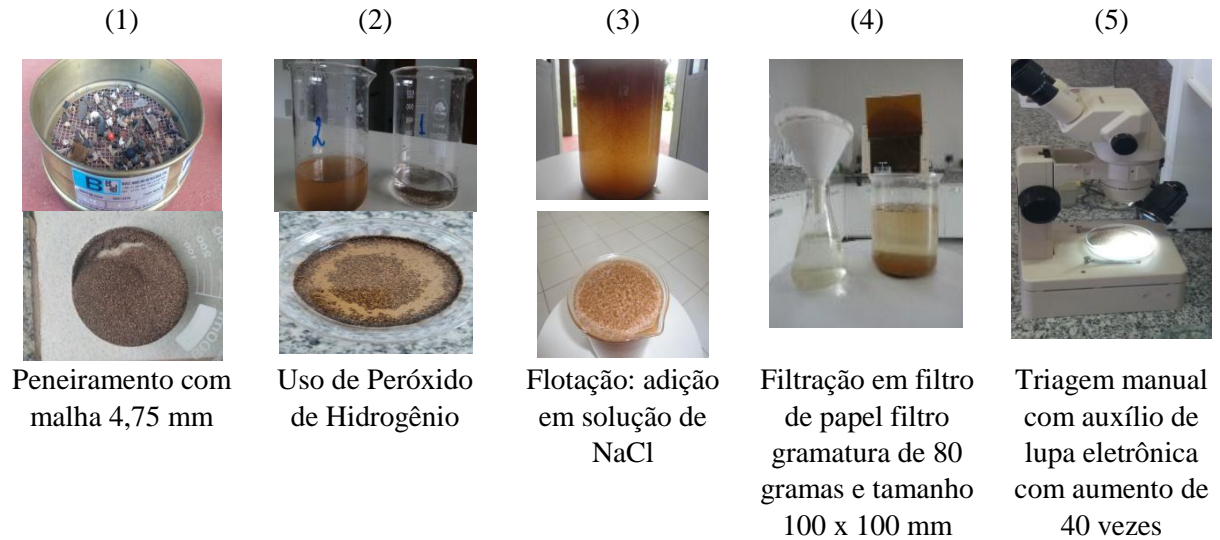
Essas análises poderão nortear o aproveitamento da areia e dos finos para possível uso como agregados (construção civil) e a fonte de nutrientes no solo (aproveitamento agrícola).

4.7 Determinação de microplásticos

Resíduos do tratamento preliminar (gradeamento fino e grosseiro) da 1ª campanha e que não foram aproveitados do quarteamento, para a composição gravimétrica, passaram por peneiras metálicas com abertura inicial de 4,75; 3,00; 2,00; 0,355 e 0,100 mm.

Para segregação e qualificação, por massa, da presença de microplásticos, é preciso realizar a separação/remoção física e química de outros componentes (MONTANGNER *et al.*, 2021). Assim, após a obtenção do fino que passou pela peneira de 0,1 mm, o procedimento prosseguiu com a digestão da matéria orgânica com uso de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 65 graus por 30 minutos e adição em solução de NaCl (massa específica de $1,2 \text{ g mL}^{-1}$); com filtração em filtro de papel com gramatura de 80 gramas e tamanho 100 x 100 mm e triagem manual com auxílio de lupa eletrônica com aumento de 40 vezes, conforme pode ser observado na Figura 8. A metodologia utilizada foi baseada em Ribeiro *et al.* (2020).

Figura 8 - Procedimentos para a obtenção dos microplásticos presentes nas amostras dos resíduos do tratamento preliminar.



Fonte: Valácio (2023).

4.8 Redução de matéria orgânica da areia fina com imersão em soluções químicas

Visando propor o aproveitamento da areia retida no tratamento preliminar de ETEs, para uso na construção civil, deve-se, primeiro, avaliar a viabilidade do procedimento. E uma dessas análises é quanto à eficácia e aos custos de se realizar o tratamento químico, visando à redução do conteúdo de sólidos voláteis (SV) do material.

Assim, para a realização do procedimento, selecionaram-se amostras da areia do tratamento preliminar, previamente segregadas nos procedimentos descritos anteriormente. Porções de 5,0 g de material seco (em duplicata) foram levados à mufla, para a determinação do teor de SV (com pesagem antes e após), antes do tratamento químico. Outras amostras de 5,0 g (também em duplicata) foram submetidas aos diferentes tratamentos químicos propostos: a) dicromato de potássio (uso de solução de $10,2 \text{ g L}^{-1}$), reagente utilizado para oxidação da matéria orgânica no teste de DQO; b) hexano com concentração de 99%, (extrator de biofilmes); ácido clorídrico 36,46%; d) peróxido de hidrogênio 35%, empregado na remoção de SV na metodologia de microplásticos; e) hidróxido de sódio 40%; e f) uso de água e detergente (detergente da marca Q-ótimo). Foram utilizadas 2 mL para cada solução e completado com água destilada até cobrir a amostra (8 mL), tendo uso de 5,0 g da areia do tratamento preliminar. E, para efeito de comparação, foi utilizada uma amostra em branco (somente água e a areia), nas três análises realizadas, enquanto, nas duas últimas, fez-se a

inclusão de um Branco 2, que consistia na imersão das amostras em água destilada e a manutenção em temperatura ambiente.

Todas as amostras ficaram imersas nas soluções por duas horas, conforme utilizado por Behrends *et al.* (2006), para posterior secagem ao ar e em temperatura ambiente por 24 horas. Transcorrido o tempo, a areia foi pesada e depois levada à mufla por uma hora a 550°C, com nova pesagem (após resfriamento no dessecador).

4.9 Uso como fertilizante

O peneirado fino (<1,00 mm) dos resíduos do tratamento preliminar, amostrado na primeira campanha, foi ainda avaliado como fertilizante, ante a sabida grande proporção de matéria orgânica nesse tipo de subproduto (BORGES, 2014). O resíduo foi coletado, depois disposto para secagem ao ar por um período de 72 h, para posterior uso como adubo orgânico.

Para essa avaliação, seguiu-se o “Protocolo de Avaliação Agronômica de Rochas e Produtos Derivados como Fontes de Nutrientes às Plantas ou Condicionadores de Solo” (RESENDE; BRUSCHI; FONSECA, 2003), com a avaliação em vasos. Assim, foi necessário coletar solo e fazer a sua análise. O solo foi coletado próximo à ETA, conforme representado pela seta e pela demarcação na Figura 9, na camada de 0-20 cm, sendo o material analisado no Laboratório de Análise de Solo do DCS-UFLA. As características do solo amostrado podem ser observadas na Tabela 1.

Figura 9 - Local de amostragem do solo utilizado no ensaio de fertilização.



Fonte: Do autor (2022).

Tabela 1 - Caracterização do solo utilizado em vasos no ensaio de fertilização com uso de resíduos do tratamento preliminar.

pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
	----- mg dm ⁻³ ----			----- cmol _c dm ⁻³ -----						
5,7	127,89	1,61	-	9,24	0,66	0,12	2,05	10,23	10,35	12,28
V	m		MO	P_{rem.}	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- % -----		dag kg ⁻¹	mg L	----- mg dm ⁻³ -----					
83,29	1,16		5,99	5,70	2,73	4.521,7	563,6	8,75	0,30	12,12

Fonte: Do autor (2023).

O experimento foi conduzido em vasos expostos em ambiente aberto na área externa da ETA. Em cada vaso foram adicionados 7,5 kg de solo peneirado em malha de 8 mm. A cultivar empregada no estudo foi o capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum*): espécie de rápido crescimento e boa capacidade de extração de nutrientes (MARQUES *et al.*, 2020).

No delineamento experimental, foram desenvolvidos dois tratamentos distintos (T2 e T3) e um tratamento controle (T1), com quatro repetições cada, perfazendo o total de 12 parcelas (3 x 4). Nos tratamentos T2 e T3, aplicaram-se, respectivamente, a adubação mineral (N e P) e a adubação orgânica originária do resíduo sólido.

As dosagens de N e P, aplicadas no tratamento T2, foram feitas conforme as recomendações propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2003) e as instruções de adubação para vasos presentes em Rossi *et al.* (1994). Já para o cálculo da quantidade de resíduo fino adicionado, considerou-se a massa necessária para se ter o mesmo fornecimento de N. Dessa forma, foram incorporados: 0,80 g de P e 1,15 g de N em cada vaso do tratamento T2; e 360 g de resíduo em cada vaso do tratamento T3, ao passo que o tratamento controle (T1) não recebeu adubação.

O potássio não foi empregado no tratamento T2, visto que o teor do mineral identificado no solo atenderia as necessidades da planta, de acordo com a EMBRAPA (2003). Ao final da incorporação dos nutrientes, foram lançadas seis (6) sementes da cultura em cada vaso, sendo concluída a fase de plantio em 31 de março de 2022.

A adubação de cobertura (N) do tratamento T2 foi incorporada 40 dias depois do plantio, recomendando-se aplicar pouco mais da metade da dosagem inicial, ou seja: 0,58 g do nutriente. Durante o período de execução do experimento (120 dias), foram realizados dois cortes da parte aérea do capim-elefante (a cada 60 dias), sendo as amostras secas, pesadas em

balança no DAM e encaminhadas para o laboratório de Análises Foliar do Departamento de Química da UFLA, para a determinação dos teores de nutrientes (macro e micronutrientes).

O experimento foi montado em área descoberta da ETA-UFLA, conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Local da realização do experimento de fertilização de parcelas (ETA-UFLA).



Fonte: Do autor (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Quantidade gerada do resíduo sólido do tratamento preliminar

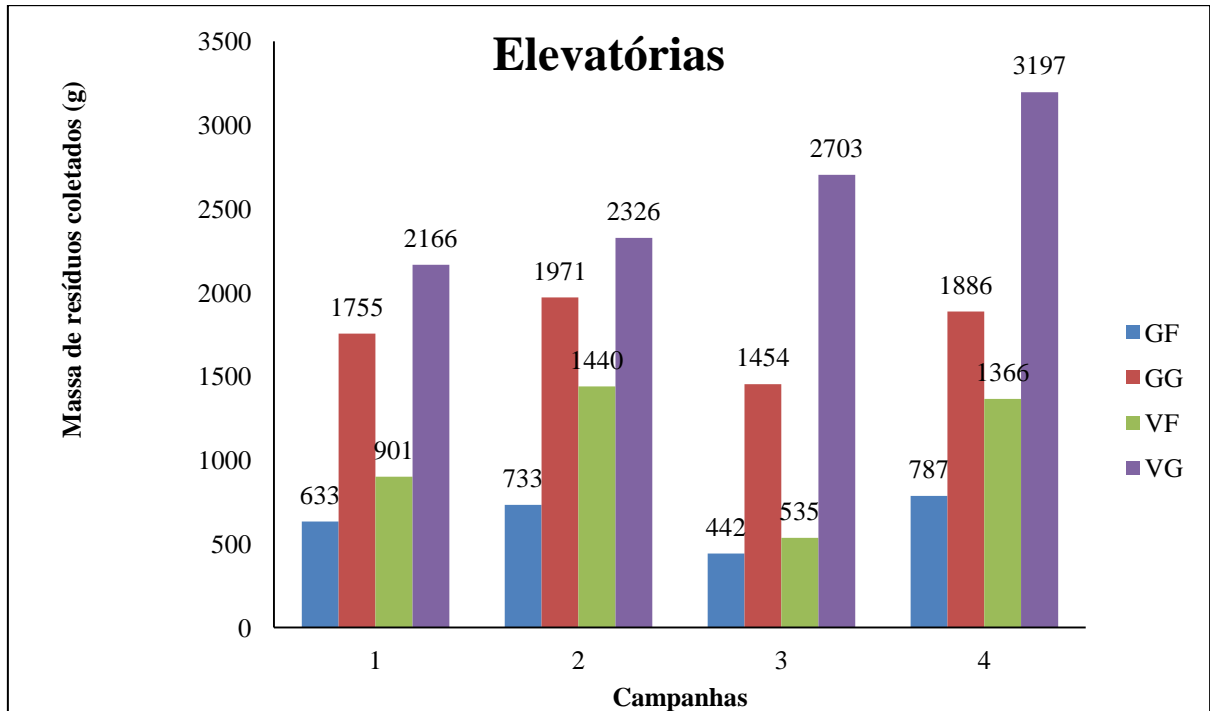
Na Figura 11, é possível observar algumas das campanhas realizadas e dos materiais obtidos, enquanto, na Figura 12, estão apresentadas as massas obtidas nas campanhas de amostragem, da goiaba e veterinária.

Figura 11 - Resíduos retidos no tratamento preliminar da ETE-UFLA, elevatória Veterinária.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 12 - Massa de resíduos coletados nas elevatórias da goiaba (G) e Veterinária (V), por campanha, separado por gradeamento grosso (G) e fino (F).



Fonte: Do autor (2023).

Verifica-se, na Figura 11, que há muitos ossos e materiais classificados como outros, o que reduz o volume de interesse para o aproveitamento como fertilizante ou outros usos. Já em relação às quantidades, as massas obtidas na Elevatória da Veterinária (Total das amostragens 14364 g) foram superiores àquelas observadas na Elevatória da Goiaba (9661 g). Talvez essa condição possa ser justificada pela presença de solo argiloso como as características do resíduo demonstrado pela elevatória da veterinária (FIGURA 11). Ressalta-se que nem toda batelada chega com resíduos e que a massa aportada varia muito ao longo do dia.

As maiores quantidades retidas foram observadas no gradeamento grosso (7066 g GG x 2595 g GF; 10392 g VG x 4242 g VF), indicando que há grande presença de materiais inadequadamente descartados, na rede de esgotos (e de elevada granulometria) e, também, que a conformação do gradeamento (placas perfuradas inclinadas) favorece a sedimentação e retenção de solo e areia.

Também é possível observar, pela Figura 12, que a menor geração de resíduos sólidos no tratamento preliminar ocorreu com a retomada das aulas presenciais, após longo período de isolamento social (Campanha 1). O resultado foi inferior, inclusive, ao da campanha 2, de férias escolares (maio/2022), indicando que o retorno das atividades foi gradual. E o maior

valor quantificado foi na Campanha 4, numa condição de aulas presenciais mais próximas ao que ocorria antes da pandemia do COVID-19. A influência do número de usuários, nos períodos de férias escolares e isolamento social nas características do esgoto da ETE-UFLA, já foi demonstrada em estudos de Fialho (2019) e Soares (2021). No último trabalho, inclusive, o autor observou haver diferenças da composição da água residuária relativa à elevatória de contribuição.

Considerando a frequência de acúmulo, para a coleta de 4,0 dias, a estimativa que haja geração mensal de 4747,5-5902,5 kg de resíduos do gradeamento fino da Goiaba; 10.905-14.145 kg de resíduos do gradeamento fino da Goiaba; 4012,5-10.245 kg de resíduos do gradeamento fino da Veterinária; e 16.245-23.977,5 kg de resíduos do gradeamento grosseiro da Veterinária. Para base de comparação, a ETE ABC (vazão de 1,6 m³/s ou 138240 m³/d), produz 8515 e 709 kg, respectivamente, nas grades grossas e média e fina, considerando um período de 30 dias.

Apesar dessas estimativas apresentarem valores muito elevados, vale reafirmar que nem todas as bateladas chegam com resíduos sólidos ou solo e que há grande influência da intensidade de chuvas do dia. Segundo dados da Diretoria de Gestão da Qualidade e Meio Ambiente (DQMA), a empresa responsável recolhe em torno de 200,00 kg por mês de resíduos do tratamento preliminar, considerando um somatório de ambas as elevatórias e dos dois dispositivos (gradeamento grosseiro e fino), não condizendo com as estimativas encontradas. Além disso, reforça-se a grande variabilidade de aporte de material diária e mesmo num mesmo dia.

5.2 Composição gravimétrica

Na Tabela 2, está apresentada a composição gravimétrica (em % de massa) das campanhas realizadas nas elevatórias.

Tabela 2 - Composição gravimétrica (em %) das campanhas realizadas nas elevatórias.

Campanha	Elevatória	Plásticos	Madeira e pedras	Folhas	Pele e ossos	Solo, areia, material orgânico e outros
1 ^a	G + V	1,26	0,63	0,00	0,21	97,91
2 ^a	G + V	1,85	0,74	0,37	0,00	97,04
3 ^a	G	0,79	1,32	0,26	0,00	97,63
4 ^a	G	2,99	0,37	0,00	0,00	96,63
3 ^a	V	0,15	0,31	0,15	0,15	99,23
4 ^a	V	0,66	0,99	0,11	0,00	98,25

Fonte: Do autor (2023).

OBS.: Nas campanhas 1 e 2, houve mistura dos resíduos amostrados nas duas elevatórias (G – Goiaba e V – Veterinária).

Com base na Tabela 2, infere-se que há contribuição pluvial parasitária com aportes importantes de solo de áreas com movimentação de terra. Visualmente, essa condição foi mais visível na segunda coleta, com aspecto de solo argiloso. Já na primeira coleta, houve a visualização de ser um material com grande teor de matéria orgânica putrescível amostrada em ambos os gradeamentos.

Comparando com outros trabalhos que fizeram análise gravimétrica de resíduos do tratamento preliminar, verifica-se que, de fato, as características dos subprodutos de esgoto de uma instituição de ensino podem diferir daquelas encontradas em ETEs municipais. Morgado e Inácio (2014) (ETE ABC) encontraram 16,4% de plásticos (esponjas de cozinha, principalmente); 14,9% de plásticos moldados (cotonetes, canudos de pirulito e frascos de drogas), 0,2% de preservativos, 0,9% de embalagens diversas, 30,1% de tecidos, 1,5% de vegetais, 9,5% de gordura e 26,4% de fibras e fiapos. Já no trabalho de Borges, Campos e Ferreira (2017) (ETE MONJOLINHO – SÃO CARLOS-SP), aproxima-se mais do observado no presente estudo, tendo 68-78% de matéria orgânica putrescível, 6-7% de plásticos, 12-20% de pedras, 2-4% de tecido e 1% de papel. Fatores que podem explicar que as diferenças são contribuição de águas pluviais e educação da população e o dispositivo utilizado para a retenção dos sólidos grosseiros (JORDÃO; PESSOA, 2017; MORGADO; INÁCIO, 2014; VENTURA; LOPES, 2017).

5.3 Caracterização física das amostras de resíduos do tratamento preliminar

Na Tabela 3, está representada a composição gravimétrica de todas as campanhas realizadas com teor de umidade, sólidos totais, fixos e voláteis e massa específica.

Tabela 3 - Composição gravimétrica (em dag kg⁻¹) das campanhas realizadas nas elevatórias.

Campanha	Elevatória	U (%)	ST (dag kg ⁻¹)	SF (dag kg ⁻¹)	SV (dag kg ⁻¹)	ρ (g mL ⁻¹)
1 ^a	G + V	12,85	87,15	81,57	18,43	0,74
2 ^a	G + V	9,26	90,74	86,50	13,50	0,74
3 ^a	G + V	21,51	78,49	92,45	7,55	0,58
4 ^a	G + V	21,82	78,18	93,54	6,46	0,60
Média		16,34	83,64	88,52	11,49	0,67

Fonte: Do autor (2023).

Em que U é o teor de água na base úmida; ST é o teor de sólidos totais; SF, de sólidos fixos e SV, de sólidos voláteis; além de ρ que é a massa específica. Nota: dag kg⁻¹ é equivalente a %.

Utilizando a massa específica obtida (0,670 g/mL), no mês de retorno das aulas (cálculo apresentado no item 5.1), quando a vazão aproxima mais dos 300 m³/d, obtêm-se 6,8 L diários de resíduos do tratamento grosseiro da elevatória da Veterinária e 4,0 L da Goiaba por dia. Segundo Jordão e Pessoa (2017), considera-se tipicamente o valor de até 0,04-0,05 L de resíduo por m³ de esgoto, estando o valor da ETE-UFLA inferior (0,013-0,023 L/m³). Ainda assim, pondera-se que essa quantidade de resíduos é o retrato de alguns dias e não de uma condição frequente na estação.

Os teores de SV e SF indicam que a maior parte do material fino não é material orgânico, podendo ser composto por solo, pedras, areia e outros. Os resíduos do trabalho de Borges, Campos e Ferreira (2017) e Morgado e Inácio (2014) são compostos, respectivamente, por teores de SF inferiores a 35 e 16%. Dessa forma, a maior parte dos sólidos é orgânica nos estudos relatados, diferindo do obtido no presente trabalho.

5.4 Caracterização química dos resíduos do tratamento preliminar

Na Tabela 4, estão apresentados resultados obtidos das análises químicas nas campanhas 1, 2 e 3 dos resíduos coletados no tratamento preliminar da ETE.

Tabela 4 - Características físico-químicas e químicas dos resíduos coletados.

Campanha	Identificação Amostra			pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	
						----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----				
1	AM 1			-	5,3	143	335,72	130,00	28,13	5,33	0,40	3,10	
Campanha	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
1	33,83	34,23	36,93	91,59	1,17	6,30	35,00	60,40	785,20	94,20	18,99	0,33	1.567,40
Campanha	Identificação Amostra			pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	
						----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----				
2	AM1			-	5,7	153,68	210,83	134,00	11,27	2,54	0,20	2,60	
Campanha	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
2	14,20	14,40	16,80	84,55	1,39	3,05	28,70	29,70	810,40	137,10	13,71	0,34	1.708,00
Campanha	Identificação Amostra			pH(KCl)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	
						----- mg/dm ³ -----			----- cmolc/dm ³ -----				
3	AM 1			-	5,8	244,68	273,98	214,00	7,03	2,19	0,20	2,70	
Campanha	SB	t	T	V	m	M.O.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	----- cmolc/dm ³ -----			----- % -----		dag/kg	mg/L	----- mg/dm ³ -----					
3	9,85	10,05	12,55	78,47	1,99	8,59	31,40	36,70	1.232,20	80,80	10,71	0,15	559,50
Nitrogênio g/kg													
Campanha	1			2		3							
Resultado	5,82			4,40		9,04							

Fonte: Do autor (2023).

O resíduo do tratamento preliminar apresenta caráter ácido, teor de matéria orgânica típico de solos (2-5 dag/kg) e elevados teores de Na, K e P, bons de cálcio e magnésio, resultando em elevada saturação por bases (V) e baixa saturação por alumínio (m) (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Dessa forma, o resíduo, se fosse um solo, seria considerado um meio de boa produtividade, passível de uso para a agricultura, como um bom substrato para a produção vegetal, devendo atentar-se para o teor de sódio.

5.5 Caracterização microbiológica dos resíduos do tratamento preliminar

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados obtidos das análises microbiológicas obtidos na campanha 4 dos resíduos coletados no tratamento preliminar da ETE e que passaram pela cloração.

Tabela 5 - Análise microbiológica de detecção de grupos coliformes.

Análise de presença/ausência de Coliformes Termotolerantes (CF) e Totais (CT)		
Concentração	0,4 g/100 mL	0,8 g/100 mL
Hipoclorito de cálcio/água	Presença de 170 NMP por 100 mL de CF	Ausência

Fonte: Do autor (2023).

Nota: Foi utilizada massa de 1 g de areia fina (< 1,00 mm). Contagem inicial de coliformes: 120.000 NMP/100 mL de CT e 13.000 NMP/100 mL de CF.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a dose de 8 g/L de hipoclorito é capaz de higienizar 1 g de areia fina, podendo ser esse o tratamento a ser empregado. Borges (2014) também não mais detectaram a presença de patógenos utilizando hipoclorito de sódio com concentração de 12 %.

5.6 Composição granulométrica dos resíduos do tratamento preliminar

Nas Tabelas 6 e 7, estão apresentados os resultados obtidos da análise textural obtidos, respectivamente, em amostras brutas (sem peneiramento) das campanhas 2 e 3 e dos resíduos finos (peneira de 1,0 mm) peneirados, coletados no tratamento preliminar das elevatórias da Goiaba e Veterinária.

Tabela 6 - Caracterização granulométrica dos resíduos de campanhas de coleta (sem peneiramento e sem separação por elevatória).

Campanha	Classificação	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
2	Textura média	28	41	31	-	-
Campanha	Classificação	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
3	Textura argilosa	52	28	20	-	-

Fonte: Do autor (2023).

Já na Tabela 7, estão demonstrados os resultados obtidos na análise textural do resíduo peneirado com malha de 1 mm e separado por elevatórias.

Tabela 7 - Caracterização granulométrica dos resíduos finos (<1,00 mm) das elevatórias da Goiaba e Veterinária (2ª Campanha de amostragem).

Elevatória	Classificação	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
Goiaba	Textura média	23	30	47	-	-
Elevatória	Classificação	Argila	Silte	Areia	Areia(Grossa)	Areia(Fina)
		----- dag/kg -----				
Veterinária	Textura média	35	22	42	-	-

Fonte: Do autor (2023).

Dessa forma, os resíduos do tratamento preliminar apresentam aspectos típicos de solos de textura média para argiloso.

5.7 Redução de matéria orgânica da areia fina com imersão em soluções químicas

Na Tabela 8, estão representados os resultados com percentual de sólidos voláteis (SV) para três análises obtidas na campanha 4.

Tabela 8 - Teor de sólidos voláteis (SV, em %) nos diferentes tratamentos utilizados para os resíduos do tratamento preliminar das elevatórias da Goiaba e Veterinária

1ª análise									
Elevatória	SV	Dicromato de Potássio	Hexano	HCl	H ₂ O ₂	NaOH	H ₂ O+detergente	Branco	Branco 2
Goiaba	% de redução do teor de SV	2,22	1,34	2,83	1,85	1,43	2,18	1,14	NR
	Repetição	3,14	1,04	3,71	2,12	2,09	1,98	1,73	NR
Veterinária	% de redução do teor de SV	3,04	1,75	2,65	1,30	1,32	2,17	0,92	NR
	Repetição	2,56	1,56	1,84	1,05	1,79	1,81	1,43	NR
2ª análise									
Goiaba	% de redução do teor de SV	2,15	1,89	2,39	2,37	1,40	2,10	1,34	1,20
	Repetição	2,92	1,41	2,28	2,34	1,61	1,93	1,28	1,17
Veterinária	% de redução do teor de SV	3,79	2,08	2,48	2,24	2,23	1,84	1,21	1,04
	Repetição	3,61	1,85	2,53	2,62	2,04	1,83	1,34	1,11
3ª análise									
Goiaba	% de redução do teor de SV	2,15	1,89	2,39	2,37	1,40	2,12	1,34	1,20
	Repetição	2,92	1,41	2,28	2,34	1,61	1,93	1,28	1,17
Veterinária	% de redução do teor de SV	3,79	2,08	2,48	2,24	2,23	1,84	1,21	1,04
	Repetição	3,61	1,85	2,53	2,62	2,04	1,83	1,34	1,11

Fonte: Do autor (2023).

NR – Análise não realizada – o Branco 2 (amostras imersas em água destilada e submetidas à temperatura ambiente) começou a ser utilizado na segunda análise.

Nota: Teor de SV inicial das amostras: 5 dag/kg.

Com base no apresentado na Tabela 8, verifica-se que o maior percentual de redução do teor de SV foram observados no tratamento com dicromato de potássio, ainda que as reduções não tenham sido elevadas e não diferiram de tratamentos simples como o uso da água e o repouso à temperatura ambiente.

Em outros estudos, no entanto os tratamentos químicos foram mais efetivos, como nos trabalhos de Behrends *et al.* (2006) e Borges, Campos e Ferreira (2017). Os últimos autores obtiveram bons resultados, na redução do teor de SV de amostras de cascalhos, utilizando peróxido de hidrogênio (30 % de redução de SV). Já Borges, Campos e Ferreira (2017), observaram que houve uma redução média de 17 % de SV com amostras de areia.

Vale ressaltar que os teores de SV inicial dos resíduos avaliados, nos trabalhos de Behrends *et al.* (2006) e Borges, Campos e Ferreira (2017), eram superiores aos encontrados no resíduo do tratamento preliminar da ETE-UFLA. Se, no primeiro trabalho, a porcentagem de material orgânico era superior a 84,0% (BORGES *et al.*, 2017), no segundo trabalho, de 20 a 80% (BEHRENDIS *et al.*, 2006), contra 11,5%, em média, no rejeito avaliado (Tabela 3). E a redução dos teores de SV tende a ser maior quando há maiores valores iniciais.

5.8 Uso como fertilizante

Na Figura 13, estão representadas as fotos desde o plantio até os 100 dias de crescimento.

Figura 13 - Desenvolvimento vegetal do capim-elefante ao longo dos 100 dias de cultivo.



(A) Plantio



(B) 10 dias



(C) 20 dias



(D) 30 dias



(E) 40 dias



(F) 50 dias



(G) 60 dias



(H) 70 dias



(I) 80 dias



(J) 90 dias



(K) 100 dias

Fonte: Do autor (2023).

OBS.: (T1 Controle à esquerda da foto, T2 adubação mineral ao centro e T3 adubação orgânica com resíduo sólido à direita).

Na Tabela 9, está apresentado o crescimento foliar de 60 dias até 120 dias, além das massas obtidas após os cortes. As plantas do “tratamento controle” cresceram apenas 5 cm e apresentação senescência e deficiências de desenvolvimento com aproximadamente 20 dias, razão pela qual os dados referentes a esse tratamento não estão apresentados.

Tabela 9 - Crescimento vegetal e biomassa gerada após cortes da parte aérea do capim-elefante adubado com NPK ou tratado com resíduo do tratamento preliminar da ETE-UFLA.

Dias	Tratamento x crescimento vertical (cm)									
	NPK					Resíduo do tratamento preliminar				
	V1	V2	V3	V4	Média	V1	V2	V3	V4	Média
60	35	0	21	26	27,3	80	60	55	70	66,25
Corte	10,56 g					64,37 g				
70	3	0	2	4	3	11	8	9	7	8,75
80	2	0	2	3	2,3	10	8	9	7	8,5
90	2	0	1	3	2	9	7	8	6	7,5
100	1	0	1	3	1,6	9	7	8	6	7,5
110	1	0	0	2	1	8	6	7	5	6,5
120	0	0	0	2	2	6	4	6	3	4,75
Corte	8,06 g					51,12 g				

Fonte: Do autor (2023).

Em que V se refere a vasos de 1 a 4 de cada tratamento.

Nota: As espécies vegetais do “tratamento controle” cresceram apenas 5 cm e vieram a entrar em senescência com apenas 20 dias.

Observa-se que a adição do resíduo do tratamento preliminar proporcionou maior crescimento vertical e maior biomassa vegetal em comparação com o adubo comercial. Resultados semelhantes foram observados por Marques *et al.* (2017), que avaliaram o desenvolvimento do capim-elefante recebendo esgoto bruto e tratamento químico. Essa condição é observada pelo fato de esses subprodutos conterem vários macros e micronutrientes, além de material orgânico, enquanto o NPK possui alguns dos requisitos para um bom desenvolvimento da planta (MATOS *et al.*, 2017).

Para reforçar o poder de nutrição da planta, após verificação da sua composição (TABELA 4), maior desenvolvimento vegetal e geração de biomassa (TABELA 9), devem-se analisar também os resultados da análise da composição química foliar (TABELA 10). Novamente, reforça-se que não foram feitas análises nas plantas do tratamento controle em razão do seu baixo desenvolvimento.

Tabela 10 - Análise foliar (teor de macro e micronutrientes) presente em plantas que receberam tratamento com adubo químico (NPK) ou resíduo do tratamento preliminar.

Identificação	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
	-----g/kg-----						-----mg/kg-----				
NPK	43,4	0,93	4,48	17,4	6,34	1,96	13,52	14,57	429,1	47,92	535,1
Resíduo	15,0	1,26	7,13	17,2	10,0	1,54	16,16	4,50	179,3	30,65	871,1

Fonte: Do autor (2023).

Observa-se que há maiores teores de macro e micronutrientes, na parte aérea do capim-elefante no tratamento orgânico (recebendo resíduo do tratamento preliminar), para P, K, Mg, B e Fe, enquanto, para N, Ca, S, Cu, Mn e Zn, o maior fornecimento foi observado no tratamento químico. Assim, alguns aspectos devem ser discutidos, como, por exemplo, no NPK, o nitrogênio já está em uma forma prontamente disponível para cultura, enquanto, no resíduo do tratamento preliminar, acredita-se que a maior parcela esteja na forma orgânica (requer mineralização antes da absorção) (MATOS *et al.*, 2017). Para o fósforo, era esperado resultado semelhante (maiores teores no tratamento químico), porém os valores ficaram próximos.

Outro ponto importante é que a adição do NPK tende a acidificar o meio (BATAGLIA; SANTOS, 1999), o que pode tornar maior cobre, zinco e manganês mais disponíveis, favorecendo a absorção e acumulação na planta (MATOS *et al.*, 2017). Por fim, um aspecto observado em outros trabalhos é o efeito diluidor do nutriente na planta. Plantas com maior produção vegetal, por vezes, podem apresentar menores teores de elementos químicos por estarem contidos em maior biomassa vegetal (JESUS, 2016). Assim, justificaria o porquê do tratamento com resíduos do tratamento preliminar, que apresentou melhor desenvolvimento vegetal, sugerindo melhor absorção e aproveitamento dos nutrientes presentes, apresentar, para alguns íons, menores teores vegetais.

5.9 Microplásticos

5.9.1 Caracterização do material gradeado

Pela caracterização do material gradeado na ETE/UFLA, verificou-se a existência de uma porcentagem maior de argila, silte e areia e menores teores de material orgânico, motivo pelo qual optou-se pela extração de microplásticos por processo de flotação com NaCl. Durante os ensaios, percebeu-se ainda que, quando há uma quantidade maior de areia no resíduo do tratamento preliminar, observa-se uma ação de digestão da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio H_2O_2 mais forte (efervescente). O contrário também é válido, quando essa amostra de resíduo contém maior porcentagem de silte e argila, condição que pode, inclusive, justificar as baixas reduções dos teores de SV nos tratamentos químicos utilizados (especialmente com o H_2O_2).

Na Figura 14, é possível observar as diferenças entre essas frações texturais encontradas no resíduo.

Figura 14 - Amostra fracionada de resíduos do gradeamento da ETE.



Fonte: Valácio (2023).

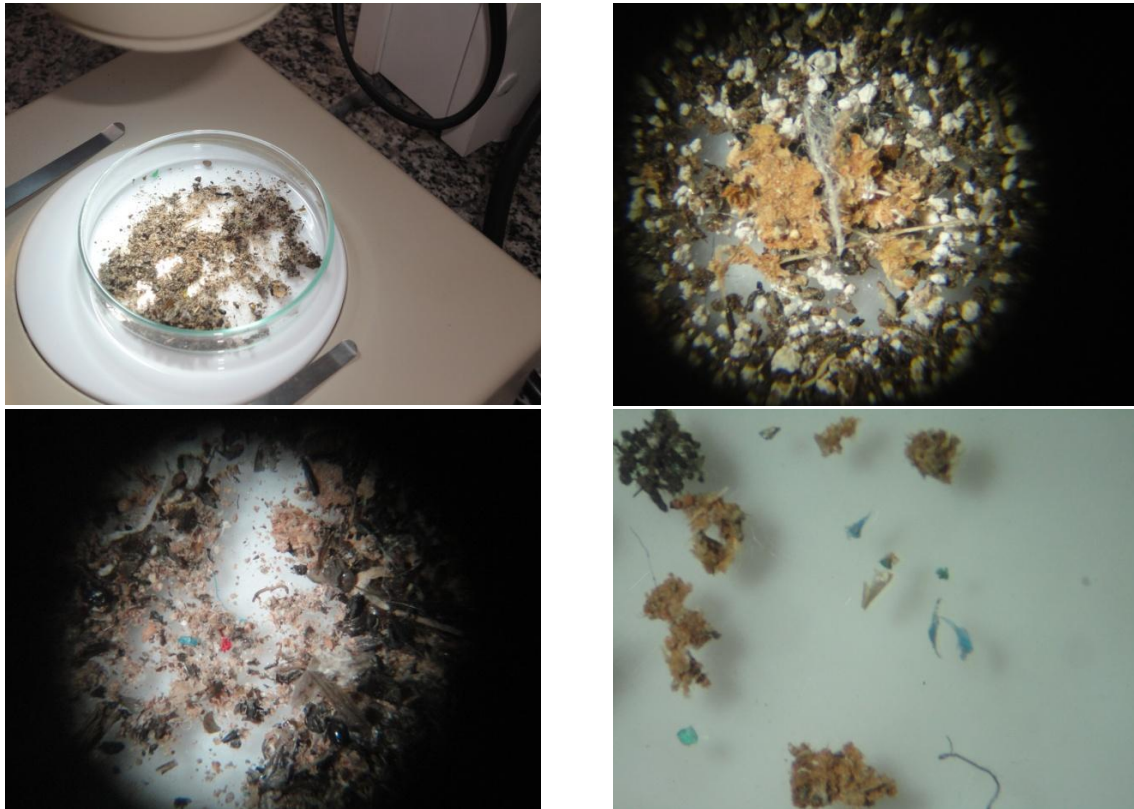
Já os resultados visuais, obtidos da triagem de amostras analisadas e que apresentaram microplásticos, estão apresentados no Quadro 2 e na Figura 15, conforme citado por (POMPEO; RANI-BORGES; PAIVA, 2022).

Quadro 1 - Características dos materiais (microplásticos) encontrados nos resíduos do tratamento preliminar da ETE-UFLA.

Característica morfológica	Cor	Possíveis fontes
Fragmento	Verde/Vermelha/azul	Copos/sacos/sacolas/frascos/garrafas plásticas
Filamento	Cinza/preto	Escovas de dentes/vassouras/ escovas para lavação de vasos e pias
Fibra	Cinza	Nylon de linhas/lavanderia/sacos de ração
Outros	Massa polimérica marron/verde	Buchas de lavação de pias

Fonte: Valácio (2023).

Figura 15 - Identificação de microplásticos nas amostras de resíduos do tratamento preliminar.



Fonte: Valácio (2023).

Algumas especulações acerca das partículas de MPs são relevantes, como a tonalidade envelhecida do material sugerido, como outros fragmentos verdes/marrons uma característica de incrustações de POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes) e biofilmes, o que se sugere preocupação, quando se extrapola essa análise para uma situação de exposição humana seja por inalação, ingestão ou dérmica (POMPEO; RANI-BORGES; PAIVA, 2022).

Alguns fragmentos apresentam-se de forma a ter pontas, o que sugere terem sofrido ruptura mecânica, assim como os filamentos e fibras. Ao que se observa, os microplásticos encontrados na ETE/UFLA não aparentam estar em condições de degradação fotolítica, com possíveis alterações de propriedades químicas e físicas aparentes. Essa análise visual sugere que os polímeros encontrados são recentes, ou seja, não passaram por processos mais avançados de fragmentação por abrasão mecânica ou degradação por radiação ultravioleta (POMPEO; RANI-BORGES; PAIVA, 2022). Conseqüentemente, são materiais recém-descartados, na rede de esgotos (a contribuição da água pluvial e processo erosivo não seriam tão importantes), devendo haver maior conscientização dos usuários do campus, a respeito do que pode ou não ser lançado na rede de esgotos.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no trabalho, conclui-se que:

- a) A maior parte dos resíduos do tratamento preliminar da ETE-UFLA é classificado como outros, havendo grande quantidade de solo;
- b) O resíduo apresenta características de solo de textura média (a argiloso) e com boa presença de macro e micronutrientes;
- c) Foram detectados microplásticos nas amostras avaliadas, sendo encontrados materiais novos, ou seja, que não passaram por processos mais avançados de fragmentação;
- d) Em determinados períodos do ano, gera-se até 0,013-0,023 L/m³, no período com maior presença de alunos (retorno das aulas), sendo os maiores valores obtidos na elevatória da Veterinária;
- e) A elevatória e a época do ano são fatores de interferência na geração de resíduos do tratamento preliminar;
- f) A areia fina apresenta número expressivo de organismos patogênicos, porém, quando tratada com concentração de 8 g/L de hipoclorito, não se detecta mais a sua presença;
- g) O tratamento mais efetivo, para a redução do teor de sólidos voláteis da areia é o dicromato de potássio, apesar da eficácia ter sido baixa e não ter havido grandes diferenças para outros tratamentos, com o repouso em temperatura ambiente e uso de água de torneira;
- h) Os resíduos do tratamento preliminar apresentam potencial de uso como fertilizante orgânico, foi possível aumentar a produção vegetal em relação ao tratamento com NPK (adubo químico).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Portal HidroWeb**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: 7 fev. 2023.
- AHADI, N. *et al.* Remediation of heavy metals and enhancement of fertilizing potential of a sewage sludge by the synergistic interaction of woodlice and earthworms. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 385, p. 121573, Mar. 2020. 2019.
- AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 124, p. 1-13, June 2016.
- ALKMIN, D. V.; UBERTO JUNIOR, L. Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) do lixão do município de Maria da Fé, estado de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 65-82, mar. 2017.
- AMARAL, K. G. C. do; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Sustainability assessment of sludge and biogas management in wastewater treatment plants using the LCA technique. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 14, n. 5, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2371>. Acesso em: 14 mar. 2022.
- ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Revista Eletrônica do Prodem**, Fortaleza, v. 6, n. 1, p. 7-22, mar. 2011.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014. v. 6, 444 p.
- ARRIVABENE, L. F. *et al.* Viabilidade técnica da fabricação de cimento com mistura de escória de aciaria LD e resíduo de granito. **REM: revista Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 65, n. 2, p. 241-244, abr./jun. 2012.
- ARTHUR, C.; BAKER, J., BANFORD, H. (ed.). **Proceedings of the International Research Workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic Marine Debris**. Silver Spring: NOAA Marine Debris Program, 2009. 49 p.
- ARUKWE, A.; EGGEN, T.; MÖDER, M. Solid waste deposits as a significant source of contaminants of emerging concern to the aquatic and terrestrial environments: a developing country case study from Owerri, Nigeria. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 438, p. 94-102, Nov. 2012.
- ASSEMANY, P. P. **Valorização energética de biomassa algal cultivada em águas residuárias via digestão anaeróbia**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10005**: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10006**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004d. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12235**: armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 14 p.

ASSUNÇÃO, G. M. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 11, n. 2, p. 223-231, jun. 2019.

AZEVEDO, G. O. D. de; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 65-72, mar. 2006.

BAIDYA, R.; GHOSH, S. K.; PARLIKAR, U. V. Co-processing of industrial waste in cement kiln: a robust system for material and energy recovery. **Procedia Environmental Sciences**, [Amsterdam], v. 31, p. 309-317, 2016.

BARROSO JÚNIOR, J. C. A. **Avaliação de lagoas de tratamento com presença de macrófitas flutuantes e microalgas aplicadas ao pós-tratamento de esgoto sanitário em condições de clima subtropical**. 2020. Tese (Doutorado em Recursos Híbridos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

BATAGLIA, O. C.; SANTOS, W. R. Efeitos da adubação NPK na fertilidade do solo, nutrição e crescimento da seringueira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 881-890, dez. 1999.

BEHRENDTS, L. L. *et al.* Non-invasive methods for treating and removing sludge from subsurface flow constructed wetlands II. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 10., 2006, Lisboa. **Proceedings** [...]. Lisboa: IWA Publishing, 2006. p. 1271-1281.

BENLALLA, A. *et al.* Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 118, p. 171-177, Dec. 2015.

BICALHO, M. L.; PEREIRA, J. R. Participação social e a gestão dos resíduos sólidos urbanos: um estudo de caso de Lavras (MG). **Gestão & Regionalidade**, São Caetano do Sul, v. 34, n. 100, p. 183-201, jan./abr. 2018.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 4, p. 388-393, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BORGES, N. B. **Aproveitamento de resíduos gerados no tratamento preliminar de estação de tratamento de esgoto**. 2014. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

BORGES, N. B. *et al.* Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum. **Revista DAE**, São Paulo, v. 64, p. 64-79, set./dez. 2016.

BORGES, N. B.; CAMPOS, J. R.; FERREIRA, G. T. Caracterização e aproveitamento dos resíduos removidos nos gradeamentos e desarenadores de estações de tratamento de esgoto. *In*: CONGRESSO ABES/FENASAN, 2017, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2017. p. 1-11.

BORGES, N. B.; CAMPOS, J. R.; PABLOS, J. M. Characterization of residual sand removed from the grit chambers of a wastewater treatment plant and its use as fine aggregate in the preparation of non-structural concrete. **Water Practice and Technology**, [London], v. 10, n. 1, p. 164–171, Mar. 2015.

BORTOLOTTI, N. L. **Resíduos sólidos grosseiros em sistemas de esgotamento sanitário: estudo de caso em Florianópolis, SC**. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídrico) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

BOUCHER, J.; BILLARD, G. The challenges of measuring plastic pollution. **Field Actions Science Reports: the journal of field actions**, Paris, nesp 19, p. 68-75, 2019.

BRANDT, E. M. F.; SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Alternativas para o controle de odores e corrosão em sistemas de coleta e tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 611-623, jul./ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017145398>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BRASIL. Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 20 jun. 2020. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=52040>. Acesso em: 15 mar. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5. ed. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2019. 71 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 maio 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 306, de 7 de dezembro de 2004. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 dez. 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012. 157 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 jan. 2003.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 431 de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRINGHENTI, J. R. *et al.* Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 891-899, out. 2018.

CAETANO, C. Ranking GreenMetric: UFLA entre as 30 universidades mais sustentáveis do mundo. **Portal UFLA**, Lavras, 11 dez. 2017. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/institucional/14160-ranking-greenmetric-ufla-entre-as-30-universidades-mais-sustentaveis-do-mundo>. Acesso em: 8 out. 2021.

CARDOSO, W. S. *et al.* Utilização da areia marinha para produção de concreto: estudo de viabilidade. **Revista Ifes Ciência**, Vitória, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2021.

CARVALHO, F. C. de. **Análise da coleta seletiva em um campus universitário**: a percepção ambiental dos discentes na Universidade Federal de Lavras. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CASTRO, A. L. F. G. de; SILVA, O. R.; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, Urutá, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

CECCARINI, A. *et al.* The hidden microplastics: new insights and figures from the thorough separation and characterization of microplastics and of their degradation byproducts in coastal sediments. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 52, n. 10, p. 5634-5643, May 2018.

CHEN, G. *et al.* Environmental, energy, and economic analysis of integrated treatment of municipal solid waste and sewage sludge: a case study in China. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 647, p. 1433-1443, Jan. 2019.

CHERNICHARO, C. A. L. *et al.* Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, [Dordrecht], v. 14, p. 649-679, 2015.

COSTA, M. S. S. de M. *et al.* Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 540-548, ago. 2005.

CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. Microplastic separation techniques. *In*: CRAWFORD, C. B.; QUINN, B. **Microplastic pollutants**. New York: Elsevier Science, 2017. p. 203–218.

CURI, N. *et al.* **Mapeamento de solos e magnetismo no campus da UFLA como traçadores ambientais**. Lavras: Ed. UFLA, 2017. 147 p.

CUTOLO, S. A.; ROCHA, A. A. Reflexões sobre o uso de águas residuárias na cidade de São Paulo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 89-105, dez. 2002.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DERRAIK, J. G. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 44, n. 9, p. 842-852, Sept. 2002.

DIAS, W. A. **Avanços para o desenvolvimento sustentável da indústria de papel e celulose através do gerenciamento de seus resíduos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

DRUDI, K. C. R. *et al.* Avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos do município de São Bernardo do Campo utilizando Lógica Fuzzy. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL, 12., 2015, São Bernardo do Campo. **Anais [...]**. São Bernardo do Campo: Abricom, 2015. p. 1-6.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2003. 353 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **DEA 18/14: inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014. 50 p.

ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA (ENAP) (ed.). **Eco Universidade: plano ambiental para uma universidade socioambientalmente correta**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 13 p. Disponível em: <http://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/281/1/Eco%20Universidade.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2023.

EVANGELISTA, P. P. de A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.

FENDALL, L. S.; SEWELL, M. A. Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 58, n. 8, p. 1225-1228, Aug. 2009.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste mismanagement in developing countries: a review of global issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 16, n. 6, p. 1060, Mar. 2019.

FIALHO, D. E. S. **Caracterização do esgoto sanitário e avaliação da eficiência da ETE/UFLA na remoção de fármacos e desreguladores endócrinos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologias e Inovações Ambientais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

FRANCO, C. S. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares e percepção dos hábitos de descarte no sul de Minas Gerais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FRANCO, C. S. *et al.* Household solid waste: influence of city size and economic class in southern Minas Gerais, Brazil. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, [S.l.], v. 42, n. 4, p. 308-318, nov. 2016.

FREITAS, C. M. de; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública: uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1601-1616, jun. 2012.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C. de; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, jun. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300017>. Acesso em: 8 mar. 2021.

GHERGHEL, A.; TEODOSIU, C.; GISI, S. de. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 228, p. 244-263, Aug. 2019.

GIKAS, C. A general comparison of FISMA, HIPAA, ISO 27000 and PCI-DSS standards. **Information Security Journal: a global perspective**, Berlin, v. 19, n. 3, p. 132-141, June 2010.

GODOY, L. C. de. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Logística) – Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2013.

GOMES, S. *et al.* Potencial energético de resíduos sólidos domiciliares do município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p.

1197-1202, nov./dez. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017143432>. Acesso em: 8 mar. 2021.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectivas de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600014>. Acesso em: 8 mar. 2021.

GUOFEN, H. *et al.* Applying solubilization treatment to reverse clogging in laboratory-scale vertical flow constructed wetlands. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 61, n. 6, p. 1479-1487, 2010.

HE, P. *et al.* Municipal solid waste (MSW) landfill: a source of microplastics? Evidence of microplastics in landfill leachate. **Water Research**, New York, v. 159, p. 38-45, Aug. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA (IBGE). Lavras. População. **IBGE**, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lavras/panorama>. Acesso em: 23 fev. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). SIDRA – Banco de Tabelas Estatísticas. **IBGE**, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ISENMANN, A. F. **Princípios da síntese orgânica**. 2. ed. Timóteo: [s.n.], 2018. 991 p.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 135-158, abr. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100010&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.

JESUS, F. L. F. de. **Desempenho e influência dos capins Tifton 85 (Cynodon sp.) e Vetiver (Chrysopogon zizanioides) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 916 p.

KALESS, M.; PALMOWSKI, L.; PINNEKAMP, J. Carbon recovery from screenings for energy-efficient wastewater treatment. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 76, n. 12, p. 3299-3306, 2017.

KARAGEORGOS, P. *et al.* Treatment of unpleasant odors in municipal wastewater treatment plants. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 61, n. 10, p. 2635-2644, 2010.

KEFFALA, C.-L.; HARERIMANA, C.; VASEL, J.-L. A review of the sustainable value and disposal techniques, wastewater stabilisation ponds sludge characteristics and accumulation. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 185, n. 1, p. 45-58, Jan. 2013.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste Management**, New York, v. 32, n. 6, p. 1186-1195, June 2012.

LE BLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. (ed.). **Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses a global resource**. Nairobi: UN-HABITAT, 2008. 632 p.

LE HYARIC, R. *et al.* Characterization of screenings from three municipal wastewater treatment plants in the Region Rhône-Alpes. **International Association on Water Pollution Research**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 525-531, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19633396/>. Acesso em: 8 out. 2021.

LESLIE, H. A. *et al.* Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. **Environment International**, New York, v. 163, p. 107199, May 2022.

LIU, Z. *et al.* The state of technologies and research for energy recovery from municipal wastewater sludge and biosolids. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, [Amsterdam], v. 14, p. 31-36, Apr. 2020.

LOGINOVA, E. *et al.* Municipal solid waste incineration bottom ash fines: transformation into a minor additional constituent for cements. **Resources, Conservation and Recycling**, [Amsterdam], v. 166, p. 105354, Mar. 2021.

LOPES, B. C. *et al.* Bacterial community dynamics in tropical soil after sewage sludge amendment. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 82, n. 12, p. 2937-2947, 2020.

LUCIO, F. T. *et al.* Disponibilidade e influência dos microplásticos nos seres vivos e ambiente: uma revisão. **Conexão Ciência**, Formiga, v. 14, n. 1, p. 47-55, 2019.

LV, X. *et al.* Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 225, p. 579-586, July 2019.

MARIA, I. C. de. *et al.* Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 967-974, jun. 2010.

MARINHO, M.; GONÇALVES, M. do S.; KIPERSTOK, A. Water conservation as a tool to support sustainable practices in a Brazilian public university. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 62, p. 98-106, Jan. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.053>. Acesso em: 9 mar. 2021.

MARQUES, M. V. A. *et al.* Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **Holos**, Natal, v. 2, p. 52-65, 2017.

MATOS, A. T. de; CARVALHO, A. L. de; D'AZEVEDO, I. C. D. Viabilidade do aproveitamento agrícola de percolados de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 435-440, ago. 2008.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662008000400015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.

MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014. v. 1, 241 p.

MATOS, M. P. de *et al.* Modelagem da progressão da DBO obtida na incubação de esgoto doméstico sob diferentes temperaturas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 821-828, set./out. 2017.

MATSUBARA, M. E.; COELHO, L. H. G. Evaluation of the use of fly ash as a low cost technology for phosphorus removal in wastewater treatment. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 13, n. 3, p. 1-14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2166>. Acesso em: 9 mar. 2021.

MENDES, G. UFLA sobe no ranking GreenMetric, é a 2ª universidade mais sustentável do Brasil e a 3ª da América Latina em 2022. **Portal UFLA**, Lavras, 23 dez. 2022. Disponível em: <https://ufla.br/noticias/institucional/15613-ufla-sobe-no-ranking-greenmetric-e-a-2-universidade-mais-sustentavel-do-brasil-e-a-3-da-america-latina-em-2022>. Acesso em: 27 fev. 2023.

MENDONÇA, N. M. *et al.* Gerenciamento dos subprodutos sólidos do tratamento de esgotos em empreendimentos habitacionais. In: SANTOS, A. B. (coord.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019. cap. 6, p. 493-572.

MENEZES, R. O. *et al.* Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 271-282, abr. 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200271&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.

MERSONI, C.; REICHERT, G. A. Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.22, n.5, p. 863-875, 2017.

MIGUEL, A. C. A. *et al.* Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente processado. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 733-737, set. 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612008000300033&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 153, de 26 de julho de 2010. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistemas de tratamento de água e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 27 set. 2010.

MONTAGNER, C. C. *et al.* Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 44, n. 10, p. 1328-1352, 2021.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

MORGADO, M.; INACIO, G. Caracterização da composição de resíduos removidos em gradeamento de ETEs. **Revista Hydro**, São Paulo, v. 12, n. 89, p. 16-27, mar. 2014.

MOURA, A. A. de; LIMA, W. S. de; ARCHANJO, C. R. do R. Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso - município de Itaúna – MG. **SynThesis**: revista digital FAPAM, Pará de Minas, v. 3, n. 1, p. 4-16, abr. 2012.

NECZAJ, E.; GROSSER, A. Circular economy in wastewater treatment plant-Challenges and Barriers. **Proceedings**, Oxford, v. 2, n. 11, p. 614, 2018.

NG, E.-L. *et al.* An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 627, p. 1377-1388, June 2018.

NGO, P. L. *et al.* Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. **Environmental Pollution**, Barking, v. 255, n. 2, p. 113-326, Dec. 2019.

OLEKSIUK, K. *et al.* Microplastic in food and water: current knowledge and awareness of consumers. **Nutrients**, Basel, v. 14, n. 22, p. 4857, Nov. 2022.

OLIVATTO, G. P. **Estudo sobre Microplásticos em águas superficiais na porção oeste da Baía de Guanabara**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OLIVATTO, G. P. *et al.* Microplásticos: contaminantes de preocupação global no antropoceno. **Revista Virtual de Química**, São Paulo, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 2018.

OLIVEIRA, A. C. V.; SILVA, A. de S.; MOREIRA, Í. T. A. Economia circular: conceitos e contribuições na gestão de resíduos urbanos. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 3, n. 44, p. 273-299, dez. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36810/rde.v3i44.6386>. Acesso em: 9 mar. 2021.

OLIVEIRA, C. W. de S.; CORREA, C. dos S.; SMITH, W. S. Food ecology and presence of microplastic in the stomach content of neotropical fish in an urban river of the upper Paraná River Basin. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 15, n. 4, p. 1-11, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2020000400306&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.

OLIVEIRA, J. P. de *et al.* Caracterização físico-química de resíduos oleosos do saneamento e dos óleos e graxas extraídos visando a conversão em biocombustíveis. **Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 597-602, 2014.

OZCAN, H. K. *et al.* Municipal solid waste characterization according to different income levels: a case study. **Sustainability**, London, v. 8, n. 10, p. 1044, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8101044>. Acesso em: 9 mar. 2021.

- PAOLI, M. A. de. **Degradação e estabilização de polímeros**. 2. ed. Chemkeys: Campinas, 2008. 228 p.
- PEREIRA, M. L. O. V. C. *et al.* A percepção pública como instrumento de educação ambiental: Um estudo sobre microplásticos. **Research, Society and Development**, New York, v. 10, n. 7, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15411>. Acesso em: 1 out. 2021.
- PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. S. Digestão Anaeróbia como opção para tratamento esgotos em populações rurais no Brasil: avaliação técnica e econômica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Paraná, v. 4, n. 4, p. 13-30, 2015.
- POLI, D. de C. R. *et al.* Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, Valinhos, v. 8, n. 8, p. 9-31, 2013.
- POMPÊO, M.; RANI-BORGES, B.; PAIVA, T. C. B. de (org.). **Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Biociências, 2022. 216 p.
- QI, R. *et al.* Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: a critical review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 703, p. 134722, Feb. 2020.
- RESENDE, J. C. de; BRUSCHI, J. H.; FONSECA, J. F. da (ed.). **Anais do I Workshop sobre integração da caprinovinocultura com a bovinocultura de leite na região Sudeste do Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2003. 148 p.
- REVEL, M.; CHÂTEL, A.; MOUNEYRAC, C. Micro(nano)plastics: a threat to human health? **Current Opinion in Environmental Science e Health**, Essex, v. 1, p. 17-23, Feb. 2018.
- REZENDE, J. H. *et al.* Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 1-8, mar. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522013000100001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 3 mar. 2021.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª a aproximação**. Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 360 p.
- RIBEIRO, E. N. *et al.* Diagnóstico ambiental de um câmpus universitário como estratégia para proposta de práticas sustentáveis. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Paraná, v. 11, p. 1-17, 2019.
- RIBEIRO, J. C. J. (org.). **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: um panorama em Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2019. 496 p.
- RIBEIRO, M. P. S. *et al.* Revisão bibliográfica para adequação de uma metodologia de detecção do microplástico na goma e águas residuárias resultantes do processo de beneficiamento da mandioca. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**,

- Salvador, v. 8, n. 2, p. 119–135, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/42022>. Acesso em: 3 mar. 2021.
- RIGO, M. *et al.* Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, Paraíba, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.
- ROSSI, C. *et al.* Níveis de adubação NPK para o milho e feijão em experimentos de casa de vegetação. I. Produção de matéria seca. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS*, 21., 1994, Petrolina. **Anais [...]** Petrolina: SBCS, 1994. p. 293-294.
- SÁ JUNIOR, A. de *et al.* Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, p. 1-7, Aug. 2012.
- SAMPAIO, A. de O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista DAE**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, set./dez. 2013.
- SCHNEIDER, I.; MAFFESSIONI, D. Quantificação de microplásticos em praias antropizadas e pouco antropizadas no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 54, n. 1, p. 89-105, 2021.
- SEHNEM, S. *et al.* Circular economy: benefits, impacts and overlapping. **The Journal of Supply Chain Management**, Tempe, v. 24, n. 6, p. 784-804, 2019.
- SILVA, W. C. da; SANTOS, G. O.; ARAÚJO, W. E. L. de. Resíduos sólidos de construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico. **Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 286-301, jul./set. 2017.
- SIQUEIRA, T. M. O. de; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 243-264, dez. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2015000400014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2021.
- SOARES, J. S. **Avaliação do uso de sistemas alagados construídos do tipo bio-rack como tratamento simplificado para soluções individuais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade de Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- ŚWIERCZEK, L.; CIEŚLIK, B. M.; KONIECZKA, P. The potential of raw sewage sludge in construction industry: a review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 200, p. 342-356, Nov. 2018.
- TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2010. 424 p.
- TING, M. Z. Y. *et al.* Mechanical and durability performance of marine sand and seawater concrete incorporating silicomanganese slag as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 254, p. 119195, Sept. 2020.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. *In:* TSUTIYA, M. T. *et al.* (ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 4, p. 89-131.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). UFLA em números. **Portal UFLA**, Lavras, 2023. Disponível em: <https://ufla.br/aceso-a-informacao/10-institucional/sobre-a-ufla/12848-ufla-em-numeros>. Acesso em: 23 fev. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA). Sobre a UFLA. **Portal UFLA**, Lavras, 2018. Disponível em: <https://ufla.br/sobre>. Acesso em: 20 fev. 2023.

VALACIO, A. L. P. **Identificação de microplásticos na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

VALENTE, V. B. **Análise da viabilidade econômica e escala mínima de uso de biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VAN DEN BERG, P. *et al.* Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils. **Environmental Pollution**, Barking, v. 261, p. 114-198, June 2020.

VENTURA, G. K. A.; LOPES, F. W. A. Infraestrutura de saneamento básico e incidência de doenças associadas: uma análise comparativa entre Belo Horizonte e Ribeirão das Neves-Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 27, n. 51, p. 788-805, out./dez. 2017.

WAGNER, M.; LAMBERT, S. (ed.). **Freshwater microplastics: emerging environmental contaminants?** New York: Springer International Publishing, 2018. v. 58, 589 p.

WANG, J. *et al.* Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 691, p. 848-857, Nov. 2019.

WOLLMANN, I.; MÖLLER, K. Phosphorus bioavailability of sewage sludge based recycled fertilizers. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Temuco, v. 181, n. 5, p. 158-166, Oct. 2018.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. A. (org.). Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. *In:* BORGES, A. C. *et al.* **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, 2022. v. 1, p. 1-18.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. de V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 219-228, abr. 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200219&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 9 mar. 2023.

ZHANG, Q. *et al.* A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 54, n. 7, p. 3740-3751, Apr. 2020.

ZHAO, J. *et al.* Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions. **Scientific Reports**, London, v. 9, n. 1, p. 9869, July 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46234-4>. Acesso em: 9 mar. 2023.