



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CARLOS LIMA ALVES

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LODO E ÁGUA DESCARTADA NAS
OPERAÇÕES DE LIMPEZA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA VILA
RESIDENCIAL DA ELETRONORTE – UHE TUCURUÍ.**

TUCURUÍ

2019

CARLOS LIMA ALVES

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LODO E ÁGUA DESCARTADA NAS
OPERAÇÕES DE LIMPEZA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA VILA
RESIDENCIAL DA ELETRONORTE – UHE TUCURUÍ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Ma. Vanessa Conceição dos Santos

TUCURUÍ

2019

CARLOS LIMA ALVES

**ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LODO E ÁGUA DESCARTADA NAS
OPERAÇÕES DE LIMPEZA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA VILA
RESIDENCIAL DA ELETRONORTE – UHE TUCURUÍ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 08 / 07 / 2019

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Ma. Vanessa Conceição dos Santos
UFPA/CAMTUC/FAESA (Orientadora)

Prof^a. Dra Etiene Elayne Meireles da Rocha
UFPA/CAMTUC/FAESA (Avaliadora interna)

Me. Mayko de Sousa Menezes
ELETROBRAS ELETRONORTE (Avaliador externo)

MEUS PAIS

Dedico este trabalho de conclusão de curso, que me deram inspirações e encorajamento na busca dos meus sonhos e fundamentalmente contribuíram de forma primordial para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde necessária para enfrentar as dificuldades que apareceram durante toda essa trajetória.

À minha família, que em todos os momentos estiveram presentes, auxiliando-me dentro de suas condições e principalmente meus pais Anelita de Lima Alves e Justino Alves, minha fonte de energia incomparável.

À Universidade Federal do Pará (UFPA – Campus Tucuruí) e essencialmente a seu corpo docente que contribuíram significativamente com conhecimentos fundamentais para a realização deste trabalho, em especial à minha orientadora, Vanessa Santos, que soube conduzir com maestria as etapas deste trabalho.

Ao professor Davi Sales, que em todos os momentos dessa caminhada nos apoiou, trabalhando de forma grandiosa na condução da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental (Campus Tucuruí), para que chegássemos a alcançar nossos objetivos.

À Eletrobrás Eletronorte pela disponibilidade dos seus funcionários, em especial ao Mayko Menezes pelo fornecimento dos dados necessários para a pesquisa deste trabalho, e por todos os esclarecimentos prestados para sanar dúvidas sempre que solicitado.

Aos colegas de curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (e outras engenharias), pelo apoio e paciência para compreender minhas dificuldades, vai aqui uma menção aos meus colegas Hermes Aguiar, Márcio André e Danilo Athus, pelos trabalhos que fizemos e aprendizados conjuntos, também ao Thallis Pereira pelas incontáveis colaborações e presteza em ajudar quando lhes solicitei.

À Luciana Paula de Souza, graduanda de Engenharia Sanitária e Ambiental pela imensa colaboração em etapas fundamentais deste trabalho, sempre empolgada e confiante e também à Milka Barros, técnica em saneamento da Eleronorte, que contribuiu significativamente nas análises de laboratório.

“ O homem, que deixou de ser escravo da natureza tampouco é o senhor que nela impera, deveria ser seu vigilante guardião. ”

(Benedito Nunes)

RESUMO

ALVES, C. L.; **Estimativa de geração de lodo e água descartada nas operações de limpeza da estação de tratamento de água da vila residencial da Eletronorte – UHE Tucuruí. 2019. 69f.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal do Pará, Campus Tucuruí.

As indústrias de higienização de água bruta para consumo humano, conhecidas como Estações de Tratamento de Água (ETA) tem em seu processo operacional a geração de lodos (Resíduos sólidos) principalmente nas unidades de decantação de sólidos floculados e, em menor volume, na etapa de filtração da água, sendo que estes resíduos ainda são geralmente lançados no meio ambiente sem tratamento prévio, o que vem desencadear a poluição dos recursos hídricos. O estudo foi desenvolvido no município de Tucuruí, Pará, na Estação de Tratamento de Água que pertence à Eletronorte, atendendo a Vila Residencial com 2564 residências e população atual estimada de 12.820 habitantes. O objetivo geral deste trabalho foi propor o dimensionamento de um adensador por gravidade e um Leito de Secagem, norteados pelas determinações legais e de parâmetros estabelecidos pelas legislações ambientais do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), tais como as Resoluções nº430/2011 e nº357/2005 e conforme as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12.209/2011 e NBR 10.004/2004. Para aquisição de dados, foram coletadas amostras de água de lavagem, onde as medições e cálculos realizados e análises das amostras de lodo coletada mostraram que a ETA utiliza diariamente 1.106,28 m³ de água para a limpeza combinada de decantadores e filtros, correspondendo à aproximadamente 10% do volume de água tratada e 18,2 m³ de lodo fresco, aproximadamente 0,17%, respectivamente. Dessa forma, estes dados e informações da ETA foram fundamentais para a proposição de unidades de tratamento de lodo, sendo o Adensador por gravidade e o Leito de Secagem como alternativas mais acessíveis e equacionar problemas ambientais relacionadas aos resíduos sólidos da ETA da Vila Residencial da Eletronorte.

Palavras-chave: LETA. ALAF. Resíduos sólidos. Tratamento de lodos de ETA.

ABSTRACT

Hygiene industries of raw water for human consumption, known as water treatment plants (ETA) has in your operating process sludge generation (solid waste) especially in settling of solids flocculados units and, to a lesser volume in the water filtration step, being that these residues are still generally released into the environment without pretreatment, which trigger the pollution of water resources. The study was carried out in the town of Tucuruí, Pará, in the water treatment plant that belongs to the Eletronorte, serving residential village with 2564 homes and current population estimated at 12,820 inhabitants. The overall objective of this study was to propose the design of a adensador by gravity and a drying Bed, guided by legal regulations and parameters established by the environmental legislation of the national environmental Council (CONAMA), such as the Resolutions No. 430/2011 and no. 357/2005 and in accordance with the recommendations of the Brazilian Association of technical standards (ABNT) NBR 12,209/2011 and NBR 10,004/2004. For data acquisition, were collected wash water samples, where measurements and calculations performed and analysis of sludge samples collected showed that ETA uses daily 1,106.28 m³ of water for cleaning decanters and combined filters, corresponding to approximately 10% of the volume of treated water and 18.2 m³ fresh mud, approximately 0.17%, respectively. Thus, these data and ETA information were fundamental to the proposition of sludge treatment units, being the Adensador by gravity and the drying Bed as more affordable alternatives and consider environmental issues related to waste the ETA of the residential village of Eletronorte.

Keywords: LETA. ALAF. Solid waste. Mud treatment of ETA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Processos alternativos para o tratamento e disposição de lodo.	24
Figura 2	- Layout de um sistema de leito de secagem.	25
Figura 3	- Composição da camada drenante de um leito de secagem.....	25
Figura 4	- Formas de redução de volume de lodo (PROSAB, 1999).....	26
Figura 5	- Destinação do lodo dos municípios brasileiros em percentual.....	27
Figura 6	- Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	31
Figura 7	- Mapa de localização do município de Tucuruí.	32
Figura 8	- Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional.	33
Figura 9	- Localização do ponto de captação e da ETA da VRE.....	34
Figura 10	- Captação e adução de água bruta (Lago da UHE Tucuruí).	34
Figura 11	- Unidade de captação de água	35
Figura 12	- Mistura rápida (C. Parshall).....	35
Figura 13	- Calha parshall	35
Figura 14	- Unidade de mistura lenta (Floculador)	35
Figura 15	- Etapa de floculação.....	35
Figura 16	- Unidade de decantação e filtro.....	35
Figura 17	- Imagem esquemática da estrutura da ETA da Vila Residencial.....	38
Figura 18	- Decantador e filtro (módulo C).	38
Figura 19	- Material para coleta de amostras.	38
Figura 20	- Pontos de descarga do filtro.....	39
Figura 21	- Amostras coletadas (lodo).....	39
Figura 22	- Medição da altura (H).....	41
Figura 23	- Largura dos vertedores.	41
Figura 24	- Esquema de um vertedor retangular sem contrações.....	41
Figura 25	- Medidor multiparâmetro.	42
Figura 26	- Colorímetro DM – cor e turbidez.	42
Figura 27	- Amostras coletadas para análises.....	43
Figura 28	- Cone Imhoff com amostras em análises.	43
Figura 29	- Fluxograma das operações (determinação de sólidos sedimentáveis). .	43
Figura 30	- Cápsula de porcelana	44
Figura 31	- Dessecador de sílica-gel	44
Figura 32	- Estufa de secagem.....	44
Figura 33	- Balança analítica.	44
Figura 34	- Conjunto de filtração a vácuo.	45
Figura 35	- Filtro-membrana após filtração a vácuo.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Classificação de resíduos	19
Tabela 2	- Resíduos prováveis gerados em processos de tratamento de água.	21
Tabela 3	- Tratamento preliminar de lodo por adensamento mecanizado.	22
Tabela 4	- Principais tecnologias de desidratação (mecânica).	25
Tabela 5	- Critério básico para escolha de alternativa para disposição final.	27
Tabela 6	- Conceitos, diferenças, destinação e disposição de resíduos sólidos.....	29
Tabela 7	- Unidades de Tratamento - ETA da Vila Residencial da Eletronorte.....	36
Tabela 8	- Aparência do lodo de sulfato de alumínio	37
Tabela 9	- Características principais da ETA.	39
Tabela 10	- Parâmetros analisados do lodo (ETA da VRE).	40
Tabela 11	- Planejamento de coletas das amostras na ETA.	42
Tabela 12	- Características operacionais diárias dos decantadores e filtros da ETA.	49
Tabela 13	- Taxas de aplicação superficial de sólidos em adensadores por gravidade.....	50
Tabela 14	- Resultado das análises da série de sólidos.	51
Tabela 15	- Estimativa de produção de lodo.....	52
Tabela 16	- Critérios técnicos construtivos do Adensador por gravidade.	53
Tabela 17	- Critérios técnicos construtivos do Leito de Secagem.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALAF	Água de Lavagem de Filtros
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Work Association
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	Internacional Water Association
LETA	Lodo de Estações de Tratamento de Água
mg/L	Miligrama por litro
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenc. de Recursos Hídricos
SS	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STF	Sólidos Totais Fixos
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SVT	Sólidos Voláteis Totais
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VRE	Vila Residencial da Eletronorte (UHE Tucuruí)

LISTA DE SÍMBOLOS

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Alumínio
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Hidróxido de Cálcio (Cal virgem)

SUMÁRIO

LISTA DE ATUALIZAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	OBJETIVOS	16
1.1.1.	Geral.....	16
1.1.2.	Específicos	16
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1.	Resíduos das estações de tratamento de água	17
2.2.	Características gerais do lodo.....	18
2.3.	Propriedades físicas do lodo	20
2.4.	Tratamento dos lodos.....	21
2.4.1.	Adensamento mecânico e não mecânico	22
2.4.2.	Desidratação mecânica e não mecânica	24
2.4.3.	Disposição final.....	26
2.5.	Legislações e normas vigentes	27
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1.	Área de estudo.....	32
3.1.1.	Caracterização da ETA – Unidades de Geração de Lodo (UGL)	33
3.1.2.	Rotina operacional.....	35
3.2.	Coleta de dados e Análises Laboratoriais	37
3.3.	Identificação das Alternativas.....	47
3.4.	Dimensionamento das unidades de tratamento de lodo	48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1.	Quantificação do lodo.....	51
4.2.	Adensamento	52
4.3.	Desidratação	54
4.4.	Disposição final	55
5.	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICES	64

APÊNDICE A – Cortes AA' – BB', Adensador por gravidade e Leito de Secagem.	66
APÊNDICE B – Cortes CC' – DD', Leito de Secagem.	67
APÊNDICE C – Planta baixa e cortes AA' – BB', Leito de Secagem.	68
APÊNDICE D – Planta baixa geral.....	69

1. INTRODUÇÃO

Á água é um componente fundamental para a existência dos seres vivos e indispensável nos processos metabólicos e de perpetuação das espécies, pois as reações químicas e biológicas são diretamente dependentes da água.

Desta forma (entende-se que o abastecimento de água à população é tão importante para a manutenção da vida), sabe-se que na maioria dos casos seja indispensável que a água bruta captada venha a passar por um tratamento mínimo em se tratando de águas superficiais, para que possa se tornar própria para o consumo humano, pois são as menos protegidas em relação as águas subterrâneas.

Segundo Ribeiro (2007), a demanda por água potável e a má qualidade da água dos rios está exigindo maiores concentrações de produtos químicos nas ETAs, gerando maior quantidade de resíduos, denominados de lodos de ETA.

A demanda por água vem crescendo consideravelmente nos últimos tempos, o que aumenta o volume de água tratada e faz crescer, conseqüentemente, o volume de lodo gerado. Por esse motivo, deve-se haver uma maior preocupação no que diz respeito a quantificar e caracterizar este lodo, tornando possível o estudo de melhores alternativas de disposição final e de reaproveitamento destes resíduos (PEREIRA *et al.*, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

É tão importante quanto realizar o abastecimento público de água potável, tratar, bem como a disposição e destinação ambientalmente adequada do lodo produzido em estações de tratamento água (ETA) assim como na estações de tratamento de esgoto (ETE), sendo indispensável a sua quantificação e caracterização para fomentar os usos possíveis dos tipos de resíduos (ABNT NBR 10.004/2004 – Resíduos sólidos - Classificação).

O setor de saneamento enfrenta atualmente dificuldades crescentes com o gerenciamento de resíduos gerados no processo de potabilização de água e tratamento de esgoto. Entre estes resíduos do setor de saneamento, os lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e de Esgoto (ETE) destacam-se como os mais críticos em função da grande quantidade gerada e dos custos elevados de gerenciamento (processamento e disposição final) (PROSAB, 2006).

Entretanto, a maioria dos projetos de estações de tratamento de água, não contemplam o tratamento de resíduos gerados diariamente no processo de potabilização da água, sendo as descargas diárias dos decantadores e lavagem dos

filtros direcionadas para corpos d'água, direto no solo e em menor gravidade, na rede de esgoto para posterior tratamento nas ETEs.

Desta forma, considerando que cada ETA tem suas particularidades (características da água bruta do manancial, tipos de tratamento adotado, uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, etc.), foi necessário acompanhar a rotina operacional na Estação de Tratamento de Água – ETA Vila Residencial da Eletronorte, a fim de estimar o volume diário de água descartado nas descargas nos decantadores e lavagem dos filtros, para com isso estimar o volume de lodo gerado por dia no processo de tratamento de água, visando dimensionar um Adensador por gravidade e Leito de Secagem.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Estimar a quantidade de lodo gerado no processo de tratamento da ETA Vila Residencial da Eletronorte – UHE Tucuruí, e dimensionar um adensador por gravidade e leito de secagem, para destinação mais adequada do lodo da Estação de Tratamento de Água.

1.1.2. Específicos

- Coletar e analisar as amostras de água de descargas do decantador e de lavagem dos filtros para análises laboratoriais, de pontos estratégicos da Estação de Tratamento de Água – ETA da Vila Residencial da Eletronorte;
- Propor um sistema de tratamento para o lodo gerado nos decantadores e filtros da Estação de Tratamento de Água – ETA da Vila Residencial da Eletronorte;
- Dimensionar as unidades de tratamento e destinação adequada do lodo das águas de lavagem dos filtros e dos decantadores na Estação de Tratamento de Água – ETA da Vila Residencial da Eletronorte;
- Apresentar o layout do sistema de tratamento proposto para as águas de lavagem dos filtros (ALAF) e lodo dos decantadores da ETA da Vila Residencial da Eletronorte.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Resíduos das estações de tratamento de água

A maioria das ETAs utilizam sulfato de alumínio ou hidróxido de ferro como coagulantes e produzem, basicamente, como subprodutos do tratamento, lodos dos decantadores e águas de lavagens dos filtros. Além dos coagulantes, a presença de carvão ativado em pó, cal e polímeros é comum nos lodos gerados nas ETAs (TSUTIYA *et al.*, 2001). Achon *et al.*, (2013), afirmam que “no processo de produção de água potável, considerado como uma das etapas da indústria da água, há geração de resíduos devido à presença de impurezas na água bruta e aplicação de produtos químicos.”

Os principais resíduos gerados nas ETAs, que possuem tecnologia de ciclo completo, são o lodo de decantadores e a água de lavagem de filtros (ALAF). As principais perdas de água, neste tipo de sistema, ocorrem devido à necessidade de limpeza das unidades de tratamento para remoção de resíduos (lavagem de floculadores, decantadores e filtros) e vazamentos nas unidades e/ou tubulações (ACHON *et al.*, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305/10) em consonância com a NBR 10004/2004 (Resíduos sólidos – Classificação) definem o lodo gerado em ETAs como resíduo sólidos e conceitua, diferencia e dá o ordenamento ambiental de **resíduos** e **rejeitos**, assim como a **destinação e disposição final**. Para o lançamento de efluentes de ETAs e ETEs no corpo d’água a Resolução CONAMA Nº 357/2005 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementada e alterada pela Resolução CONAMA Nº 430/2011.

Segundo Richter (2001), nos Estados Unidos, desde 1972, com a aprovação das emendas ao “National Pollutant Discharge Act”, considera-se o lodo gerado no tratamento de água como resíduo industrial, sujeito a restrições legais.

As estações de tratamento de água são indústrias em que sua matéria prima é a água bruta, tendo em seu produto final a água com potabilidade adequada ao abastecimento para o consumo humano, de acordo com o que estabelece a portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde, sendo tão importante quanto as regulamentações via ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), tendo a NBR 12.216/92, que fixa as condições exigíveis na

elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento público.

As águas brutas captadas para abastecimento e disponibilização para consumo humano, normalmente não podem ser utilizadas de forma direta, sendo assim, necessárias as Estações de Tratamento de Água (ETA) que, através dos processos físico-químicos tornam a água potável. Entretanto durante esse processo a ETA gera um resíduo conhecido como lodo (FLAUSINO *et al.*, 2017).

Esses resíduos possuem características diferentes, como também frequências de descargas distintas, o que influencia no processo de tratamento ou “desidratação”. A “desidratação” ou remoção de parcela de água do lodo tem por objetivo a redução do volume (PROSAB, 1999). Os principais resíduos, assim como onde são gerados em Estações de Tratamento de Água (ETA), através de processos físico-químicos são os lodos gerados nos decantadores, águas de lavagem dos filtros e também os resíduos provenientes dos tanques de preparo de produtos químicos.

Segundo Rodrigues (2015, p. 29), “Em uma ETA, a quantidade de lodo produzida tem influência de fatores como: qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos utilizados, frequência e forma de limpeza dos decantadores e eficiência da sedimentação. Em termos volumétricos, a maior quantidade é proveniente da lavagem dos filtros, porém, em termos de carga de sólidos, a maior quantidade de lodo é proveniente dos decantadores onde se dá a separação sólido/líquido”.

2.2. Características gerais do lodo

O lodo gerado no processo de tratamento de água é uma preocupação ambiental pertinente aos profissionais da área da engenharia sanitária e ambiental e afins. Não obstante, os profissionais responsáveis por planejar, elaborar, implantar e monitorar estações de tratamento de água devem se atentar não apenas ao objetivo de tratar a água, que é de suma importância para a população, mas também aos resíduos gerados, implementando o tratamento e destinação ambientalmente adequados.

O tratamento da água é realizado através da aplicação de sais de ferro e alumínio, que atuam na desestabilização das cargas elétricas das moléculas, contribuindo para a ocorrência da coagulação das impurezas presentes na água, formando flocos que são sedimentados/flotados e posteriormente filtrados para a clarificação final. Este lodo é basicamente líquido, com uma concentração de sólidos

em suspensão entre 0,004 e 4,0%, representando entre 0,2 e 5,0% do volume de água tratada (PROSAB, 2006).

Devido à toxicidade dessa forma de alumínio (Al^{+3}), há a necessidade de elevação do pH, através da aplicação de corretivos da acidez, a valores maiores que aproximadamente 5,5 (pH em água) e, com isso, praticamente todo Al^{+3} permanece na forma de hidróxido ($Al(OH)_3$), (processo chamado de hidrólise). Os compostos então formados podem dar origem a monômeros e polímeros de Al, sendo esses compostos estáveis a pH acima de 5,5. O mesmo processo também ocorre com Fe^{+3} , no entanto com pH ainda menor. A possibilidade de acidificação do Al vem sendo explorada quando se pretende acidificar o meio (PROSAB, 2006).

A NBR 10004/2004 ABNT “Resíduos sólidos – Classificação” define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semissólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição. Essa definição inclui os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição. Compreende também líquidos cujo lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água exija soluções técnica ou economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

A NBR 10004/2004 também classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos que eles podem causar ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ter manuseio e destinação adequados. Os resíduos podem ter os seguintes destinos: aterros classe 1 (para resíduos perigosos), aterros classe 2 (para resíduos **inertes** e **não inertes**); ou a incineradores. A Tabela 1 apresenta uma síntese sobre a classificação dos resíduos, segundo a NBR 10.004/2004.

Tabela 1 - Classificação de resíduos

Resíduos classe I – Perigosos	Aqueles que apresentam periculosidade, conforme definido em 3.2, ou uma das características descritas em 4.2.1.1 a 4.2.1.5 (inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade), ou constem nos anexos A ou B.
Resíduos classe II A – Não inertes	Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B - Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Resíduos classe II B – Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G.

FONTE: ABNT - NBR 10.004/2004.

O anexo G indicado na classificação de resíduos classe II – Inertes se refere aos padrões para ensaios de solubilização de metais, compostos químicos, etc., além de seus limites máximos permitidos para resíduos de ETAs.

Conforme o entendimento da NBR 10.004/2004, os resíduos (lodos de ETAs) também podem ser co-processados para servirem como matéria-prima (usados nas indústrias para fabricação de materiais de construção, como tijolos) ou de energia (usados, por exemplo, em altos-fornos de indústrias de cimento).

Especificamente, o lodo gerado nas estações de tratamento de água é geralmente classificado como Classe II, não inerte, que ao receber o tratamento adequado e de acordo com as análises de suas propriedades físico-químicas terá as definições de quais usos podem ser empregados.

De acordo com a NBR 10.004/2004, “Resíduos classe IIA – Não Inertes Podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.”

Ensaio de caracterização de lodos de diversas ETAs do país apontam para enquadramento deste resíduo como Classe II A, não inerte, em função de alguns elementos solubilizados nos ensaios de classificação em níveis acima dos limites tolerados para classifica-los como inerte. Como consequência, estes resíduos devem ser dispostos em aterros sanitários ou áreas controladas (PROSAB, 2006).

2.3. Propriedades físicas do lodo

A constituição dos resíduos sólidos gerados em ETAs para o abastecimento público é bastante peculiar a cada realidade de localização da estação, pois as condições da qualidade da água bruta determinam qual o sistema de tratamento empregado e os níveis de dosagens de produtos químicos para que a água, no final do tratamento, esteja própria para o consumo humano.

As características do lodo variam com a natureza da água bruta, dos processos unitários e produtos químicos aplicados. Entretanto, pode-se delinear algumas generalizações de modo a antecipar informações para o dimensionamento e projeto de sistemas de desidratação (LONARDI, 2018).

A tendência moderna em relação às técnicas de tratamento de água para abastecimento consiste na busca de sistemas que proporcionem a geração de

quantidades de lodos menores que aquelas produzidas em ETAs convencionais, as quais empregam unidades de decantação antecedendo o processo de filtração da água destinada ao consumo humano (PROSAB, 1999).

Considerando as diversidades de água bruta no Brasil e conseqüentemente o seu nível de poluição, Freitas (2004, *apud* Ribeiro, 2007) apresentaram um panorama relacionado aos resíduos mais comuns gerados em ETAs, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Resíduos prováveis gerados em processos de tratamento de água.

Produto	Proveniência	Aparece no resíduo como:	Sólido
Sólidos dissolvidos	Água bruta	Sólidos dissolvidos	Somente se precipitado
Sólidos suspensos (argila, silte)	Água bruta	Argila e silte	Sim
Matéria orgânica	Água bruta	Provavelmente sem mudança	Sim
Sais de alumínio	Coagulação	Hidróxido de alumínio	Sim
Sais de ferro	Coagulação	Hidróxido de ferro	Sim
Polímeros	Tratamento químico	Sem mudança	Sim
Cal	Tratamento químico e correção de pH	Carbonato de cálcio ou impurezas se for usada solução de cal	Sim
Carvão ativado em pó	Controle de gosto e odor	Carvão ativado em pó	Sim
Cloro, ozônio	Desinfecção	Em solução	Não

Fonte: Freitas, 2004 *apud* Ribeiro, 2007.

2.4. Tratamento dos lodos

O gerenciamento de tratamento e disposição de lodos oriundos do tratamento de água ainda é incipiente e a maioria das ETAs no Brasil funcionam sem as devidas unidades de tratamento desejável, lançam os resíduos gerados sem tratá-los, contrariando as recomendações legais. Quanto aos resíduos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), os estudos relacionados ao tema, desde o tratamento e destino adequado é mais difundido. O tratamento de lodos de uma estação de tratamento de água visa obter condições adequadas para sua disposição final, como obter um estado sólido ou semi - sólido, e, assim, envolve a remoção de água para concentrar sólidos e diminuir o seu volume. Em suma, trata-se de aplicar algum método de separação sólido-líquido, realizado habitualmente por dois modos como a filtração e separação gravitacional (RICHTER, 2001).

2.4.1. Adensamento mecânico e não mecânico

Tanto em ETEs quanto em ETAs o gerenciamento dos resíduos gerados (lodos a partir de esgotos domésticos e lodos gerados no processo de tratamento de água) é de fundamental importância para o bom funcionamento das estações de tratamento e essencial para o meio ambiente. Considerando o lodo especificamente oriundos das ETAs, o teor de umidade é bastante alto, sendo assim necessário a redução da água contida. Uma das formas usuais no processo de redução de umidade do lodo é o adensamento de forma mecânica e também não mecânica.

O adensamento do lodo em ETAs é uma etapa do tratamento de efluentes (lodos gerados na lavagem de floculador, lavagem e descarga de filtros e principalmente de decantadores) que tem a finalidade de reduzir o volume do lodo, conseqüentemente aumentando sua densidade e concentração de sólidos, facilitando a etapa de desidratação.

O adensamento por gravidade é um método de pré - tratamento mecânico do lodo gerado em ETAs e ETEs, visando melhorar as condições operacionais na etapa seguinte de tratamento. Segundo Richter (2001), o adensamento por gravidade é normalmente um processo contínuo, porém em menores instalações pode ser vantajosa a alternativa por batelada (tipo “enche e drena”). Os dois principais métodos de adensamento mecânico estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Tratamento preliminar de lodo por adensamento mecanizado.

ADENSAMENTO	CARACTERÍSTICA	DEFINIÇÃO
Por gravidade	Estáticos;	Uma porção de lodo é conduzida a um tanque onde é deixada decantar por algumas horas e, então, o sobrenadante clarificado pode ser pouco a pouco removido a diversos níveis por meio de um tubo telescópico ou por canalizações fixas sobrepostas, à medida que o lodo decanta e se adensa até alcançar a concentração desejada, ou até que já não se observe mais a decantação do lodo.
	Contínuos.	Os adensadores contínuos são geralmente circulares, assemelhando-se aos clarificadores ou decantadores de manto de lodos, o que de fato são.
Por flotação (forma reversa à decantação)	Ar dissolvido	A flotação é o processo no qual a fase sólida, com uma densidade menor que o líquido em suspensão, é separada permitindo-lhe flutuar para a superfície. O processo é aplicado. O processo é aplicado há mais de 100 anos na indústria de mineração para separar minérios de uma mistura heterogênea. Tem sido usada também no adensamento de lodos domésticos e industriais.

Fonte: Richter, 2001.

No adensamento de lodos, além dos mais aplicados (relacionados na Tabela 04) nas estações de tratamento, existe também o realizado por centrífugas. Nas centrífugas o lodo com água, especificamente oriundo das descargas dos decantadores e de filtros nas ETAs, é introduzido, e sob a força centrífuga os sólidos em suspensão se depositam na parede interna do tambor. Depois, são empurrados para o menor diâmetro, onde são descarregados. O líquido sai do tambor pelo diâmetro maior.

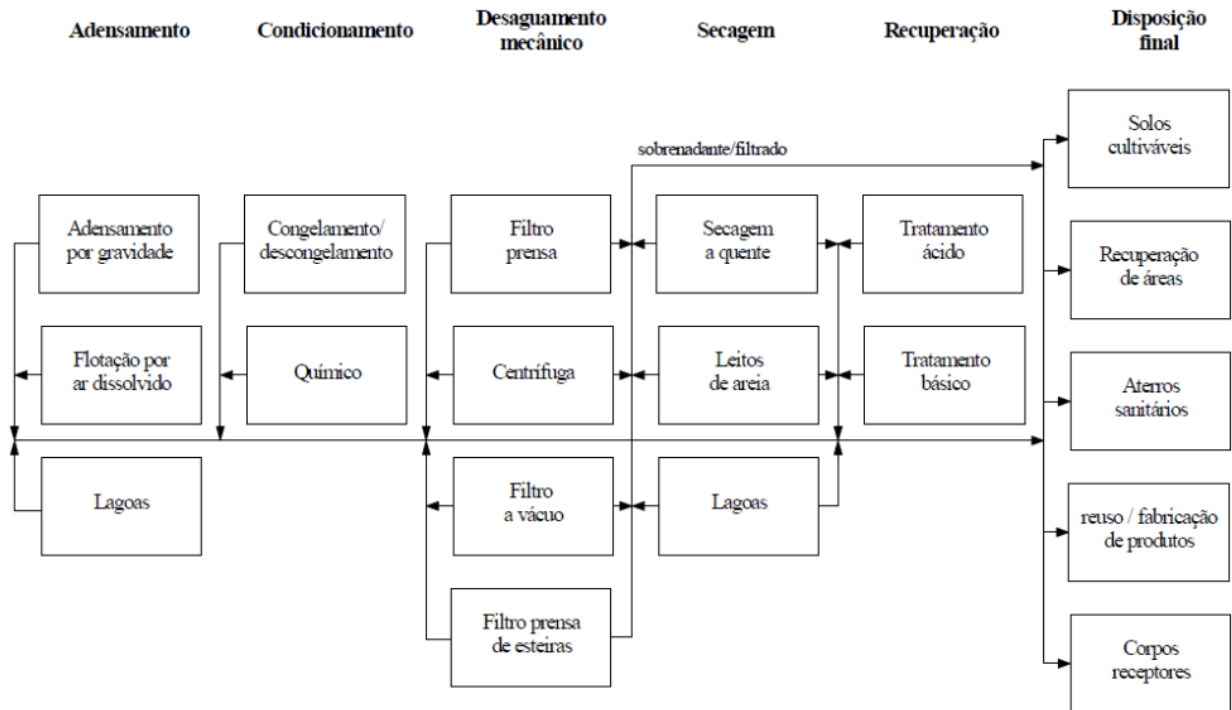
O adensamento não mecânico é, em tese, uma operação de sedimentação simples que ocorre por batelada. Assim no processo de separação de um determinado lodo diluído (descarga de decantadores e filtros principalmente) ou de sólidos em suspensão, tendo como fator determinante a ação da gravidade, ocorre a clarificação do efluente e obtendo-se um lodo de alto teor de sólidos e menor volume, favorecendo assim uma melhor operação de secagem do lodo.

Segundo DHARMAPPA *et al.* (1997, apud Bisogenin *et al.*, 1999), o tratamento de lodo e disposição final, pode ser classificado em seis grandes categorias:

- *Adensamento*: processo de aumento da concentração de sólidos contidos no resíduo para reduzir seu volume, antes da disposição final ou pós-tratamento;
- *Condicionamento*: adição de um produto químico ao resíduo ou alteração física de sua natureza;
- *Desaguamento mecânico*: similar ao adensamento, esse processo envolve a separação líquido-sólidos. É definido como um processo para incrementar a concentração de sólidos do lodo em mais de 8%;
- *Secagem ou desaguamento*: uma extensão da separação líquido-sólidos, aproxima-se do adensamento e desaguamento mecânico. É definido como um processo para incrementar a concentração de sólidos do lodo em mais de 35%;
- *Recuperação de coagulantes*: técnica de tratamento para melhorar as características dos sólidos desaguados e diminuir a concentração de íons metálicos nos resíduos. A recalcação é relacionada como um processo associado ao abrandamento de lodos com o uso da cal;
- *Disposição final e reuso*: remoção dos resíduos da área da ETA ou estocagem final na área da ETA. Esta categoria inclui transporte para aterro de áreas, descarregamento em aterro sanitário, disposição em solos agricultáveis e várias opções de reuso, tais como suplementação de solos e fabricação de tijolos.

Na Figura 1 são apresentados os processos alternativos para o tratamento de lodo de acordo com cada categoria de classificação.

Figura 1 - Processos alternativos para o tratamento e disposição de lodo.



Fonte: DHARMAPPA *et al.* (1997, apud Bisogenin *et. al.*, 1999).

2.4.2. Desidratação mecânica e não mecânica

Segundo Richter (2001), as tecnologias atualmente disponíveis para secagem de lodos usam uma combinação dos seguintes princípios:

1. *Separação por sedimentação em um campo de forças* (gravitacional, centrífugo), quando os sólidos são mais densos que o líquido que os contem. O adensamento por flotação que permite a separação de sólidos menos densos é também possível e é uma alternativa atraente por sua eficiência e baixo custo.
2. *Filtração*, quando os sólidos são grandes o suficiente para serem retidos num meio ou superfície filtrante.

A Tabela 4, mostra as peculiaridades técnicas e de custos relativos dos principais equipamentos utilizados no processo de desidratação mecânica de lodos de ETEs e ETAs.

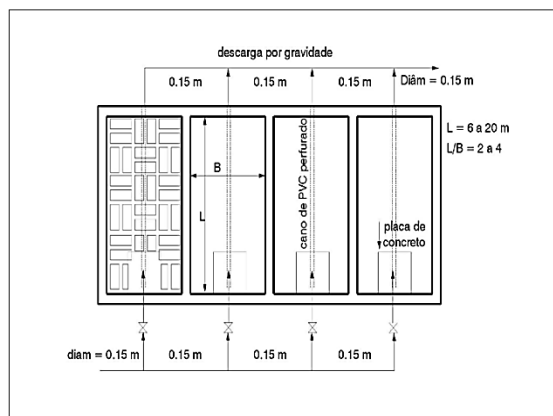
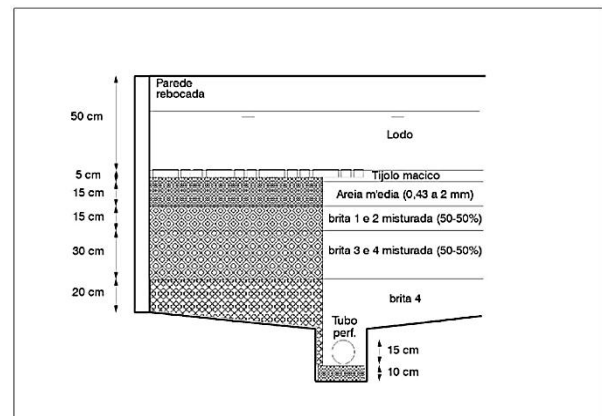
Tabela 4 - Principais tecnologias de desidratação (mecânica).

Técnica	Aplicações	Limitações	Custo relativo
Prensa desaguadora	Capaz de obter um lodo relativamente seco, com 40 a 50% de sólido seco. Lodo de sulfato 15 a 20%.	Sua eficiência é muito sensível às características da suspensão. As correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo.	Baixo
Decantação centrífuga	Capaz de obter um lodo desidratado com 15 a 35% de sólidos. Lodo de sulfato 16 a 18%. Taxa de captura de sólidos entre 90 a 98%. Adequada para áreas com limitação de espaço.	Não tão efetiva na desidratação como a filtração. O tambor está sujeito à abrasão.	Médio
Filtro Prensa	Usado para desidrata sedimentos finos. Taxa de captura de sólidos de até 98%.	Necessita aplicação de cinza e cal. Elevação do pH a 11,5. Troca do meio filtrante demorada. Elevado custo operacional e de energia.	Alto
Filtro rotativo a vácuo	Mais indicado para desidratar sedimentos finos granulares, podendo obter torta de até 35-40% de sólidos e taxa de captura de 88-95%.	É o método menos eficaz de filtração. Elevado consumo de energia.	Mais alto

Fonte: Cheremisinoff, 1998 apud, Richter, 2001.

Quanto aos métodos de desidratação não mecânica, temos a tecnologia bastante utilizada no Brasil, o leito de secagem e a lagoas, ambas as tecnologias exigem uma grande área para sua implantação.

Podemos observar nas Figuras 2 e 3 os esquemas ilustrativos (planta e corte, respectivamente) de um leito de secagem aplicados tanto em ETEs quanto em ETAs.

Figura 2 - Layout de um sistema de leito de secagem.**Figura 3** - Composição da camada drenante de um leito de secagem.

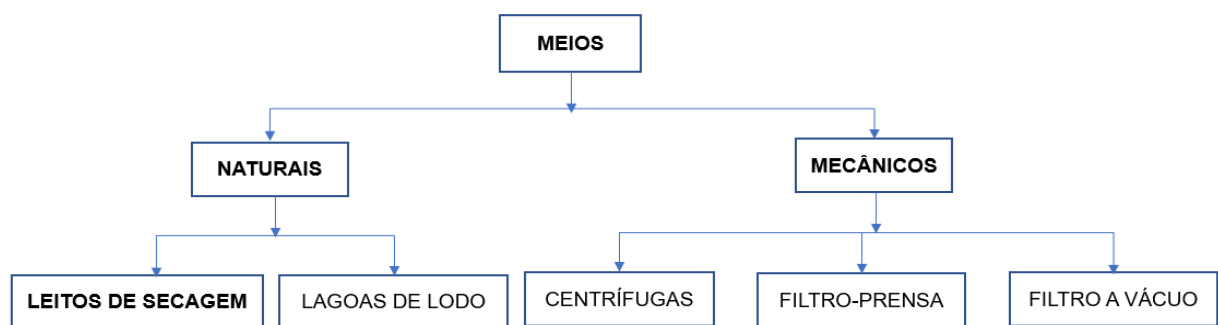
A tecnologia de leitos de secagem tem sido utilizada para remoção de água de resíduos de diversos tipos de tratamento de águas residuárias, e em alguns casos, de abastecimento desde o início do século XX (1900) e a partir de então, vem sendo aplicada praticamente sem mudanças consideráveis em sua estrutura física (ACHON *et al.*,2008).

De acordo com Achon *et al.* (2008), “A remoção de água em lagoas de lodo é um método que pode ser utilizado quando há disponibilidade de área a baixo custo. Esta remoção pode ocorrer em três fases: retirada da água sobrenadante, evaporação e transpiração”.

A definição do tipo de sistema a ser utilizado depende de vários fatores, podendo ser citados: área necessária para implantação, custo da área, distância da estação até o destino final, condições climáticas, custo de equipamentos, operação, preparo de recursos humanos para operação, necessidade de condicionamento, entre outros (PROSAB, 1999).

Conforme descrito no parágrafo anterior, encontra-se destacado no organograma representado na Figura 4, a proposta mais adequada para a ETA Vila Residencial da UHE Tucuruí, após análises conjuntas com a empresa responsável pela operação da mesma, considerando a área disponível e os custos envolvidos.

Figura 4 - Formas de redução de volume de lodo (PROSAB, 1999).



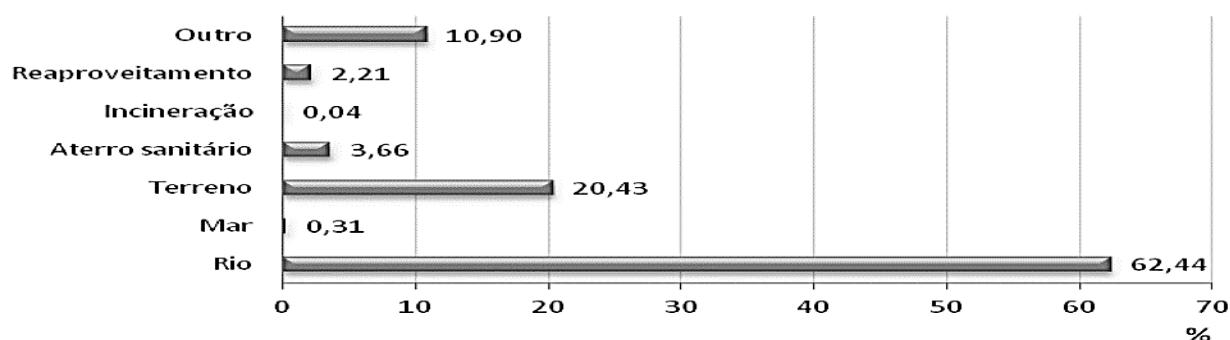
Fonte: PROSAB, 1999.

2.4.3. Disposição final

Segundo Richter (2001), entre os métodos alternativos de disposição de lodos pode-se incluir o lançamento na rede coletora, em lagoas com longo tempo de detenção, aplicação no terreno, aterros sanitários e aproveitamento em subprodutos.

Analisando os dados disponíveis sobre saneamento básico no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), no tocante as ETAs, e conforme afirma Andrade (2014), “dos 5.564 municípios brasileiros, 2.098 produzem lodo no processo de tratamento da água”. As destinações desse lodo gerado são apresentadas na Figura 5. Este mesmo autor afirma que “é importante ressaltar que um município pode dar mais de um destino ao lodo gerado”.

Figura 5 - Destinação do lodo dos municípios brasileiros em percentual.



Fonte: adaptado IBGE (2010) por Andrade *et al.* (2014).

Conforme observado por Andrade *et al.* (2014), o gráfico relacionado à Figura 5 deixa evidente que o lodo gerado em ETAs demonstra que os municípios brasileiros destinam 62,44% nos rios, o que prejudica a qualidade das águas que são utilizadas para diversos fins, inclusive para o abastecimento público, sendo um dos fatores que encarecem o tratamento de água para consumo humano. O critério básico para escolher a alternativa de disposição é o conteúdo de sólidos, geralmente é limitado conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Critério básico para escolha de alternativa para disposição final.

Destinação final de lodo de ETA	Concentração de sólidos (%)
Descarga em um curso de água	01 a 08
Descarga na rede de esgotos sanitários	01 a 08
Aplicação no solo	01 a 15
Aterro sanitário	15 a 25

Fonte: Richter, 2001.

2.5. Legislações e normas vigentes

As legislações relacionadas ao meio ambiente e suas particularidades já estão consolidadas no Brasil, o que não significa pleno cumprimento destas, pois ainda é

evidente a deficiência na estrutura governamental para realizar fiscalizações permanentes em todo território nacional.

A ausência ou inadequação dos serviços de saneamento básico constituem riscos à saúde pública. No Brasil, ainda são verificados elevados índices de internações hospitalares decorrentes de doenças de veiculação hídrica, razão pela qual a implantação desses serviços tem forte impacto na redução dessas doenças e das taxas de mortalidade infantil (ECHER, 2014).

Tema cada dia mais relevante no universo jurídico, o Direito Ambiental é também resultado, no Brasil, de importantes fatores históricos, alguns deles anteriores à própria independência do país. Nem sempre relevantes na sua aparência, alguns deles foram essenciais para o desenvolvimento dessa temática, como o surgimento de importantes leis de natureza ecológica (JUSBASIL, 2010).

Leis diretamente relacionadas aos resíduos sólidos gerados de forma direta e indireta pelo homem foram também uma preocupação para a comunidade científica e também para a sociedade. As preocupações com a deposição de resíduos aleatoriamente no meio ambiente não são recentes, mas ao longo do tempo vieram as consequências por conta da poluição e degradação ambiental, as leis evoluíram e em projetos mais atuais que impactam o meio natural já se evidencia o fator norteador legal para a captação de recursos financeiros e execução de obras no território nacional.

Segundo Achon *et al.*, (2015), afirma que “Os resíduos gerados em ETAs convencionais de ciclo completo são o lodo (LETA) e água de lavagem de filtros (ALAF). Estes resíduos são gerados durante o tratamento de água para consumo humano nas etapas de sedimentação e filtração”.

No Brasil, a maioria das ETAs foi implantada antes da Lei 9.433/1997 (*Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989*), Lei 9.605/1998 (Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências) e Resolução Nº 237/1997 do CONAMA que exige o licenciamento ambiental das atividades potencialmente poluidoras. Portanto, raramente o sistema de destinação e disposição final do lodo gerado nas ETAs era contemplado nos projetos das estações, sendo atualmente exigência legal para novos projetos e ampliações (ACHON, 2015).

A Lei 12.305/2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos - define resíduos e rejeitos, sendo o primeiro passível de ser reutilizado e reciclado. O lodo de ETA se enquadra como resíduos sólidos e, portanto, precisa ser gerenciado de tal forma a cumprir as premissas da PNRS.

A fim de propiciar e facilitar análises e diagnósticos relacionados aos resíduos sólidos, em seu art. 3º a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei 12.305/2010), em sua definição, conceitua e diferencia **resíduos** e **rejeitos**, assim como a **destinação e disposição final**, estando em consonância com NBR 10.004:2004, que esclarece a definição de resíduos sólidos os ‘*lodos provenientes de sistemas de tratamento de água*’, conforme apresenta a Tabela 6.

Tabela 6 - Conceitos, diferenças, destinação e disposição de resíduos sólidos.

Art. 3º	XV - rejeitos	resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;
	XVI - resíduos sólidos	material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.
	VII - destinação final ambientalmente adequada	destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;
	VIII - disposição final ambientalmente adequada	distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Fonte: Achon e Cordeiro, 2015. (Adaptado).

A resolução N° 430/2011 do CONAMA, que complementa e altera a resolução N° 357/2005 também do CONAMA, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e traz em seu Artigo 1º:

- a. **parágrafo único:** O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar o disposto nesta Resolução quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente,

bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

Ainda nesta mesma resolução, nos Artigos 2º e 3º:

- b. **Art. 2º:** A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.
- c. **Art. 3º:** Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.
- d. **Parágrafo único:** O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica:
 - I - acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou
 - II - exigir tecnologia ambientalmente adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor.

As preocupações ambientais não devem ser apenas relacionadas à captação de água para o tratamento e abastecimento público, mas não menos importante como será e quais parâmetros de lançamento dos efluentes gerados em estações de tratamento de água e esgoto.

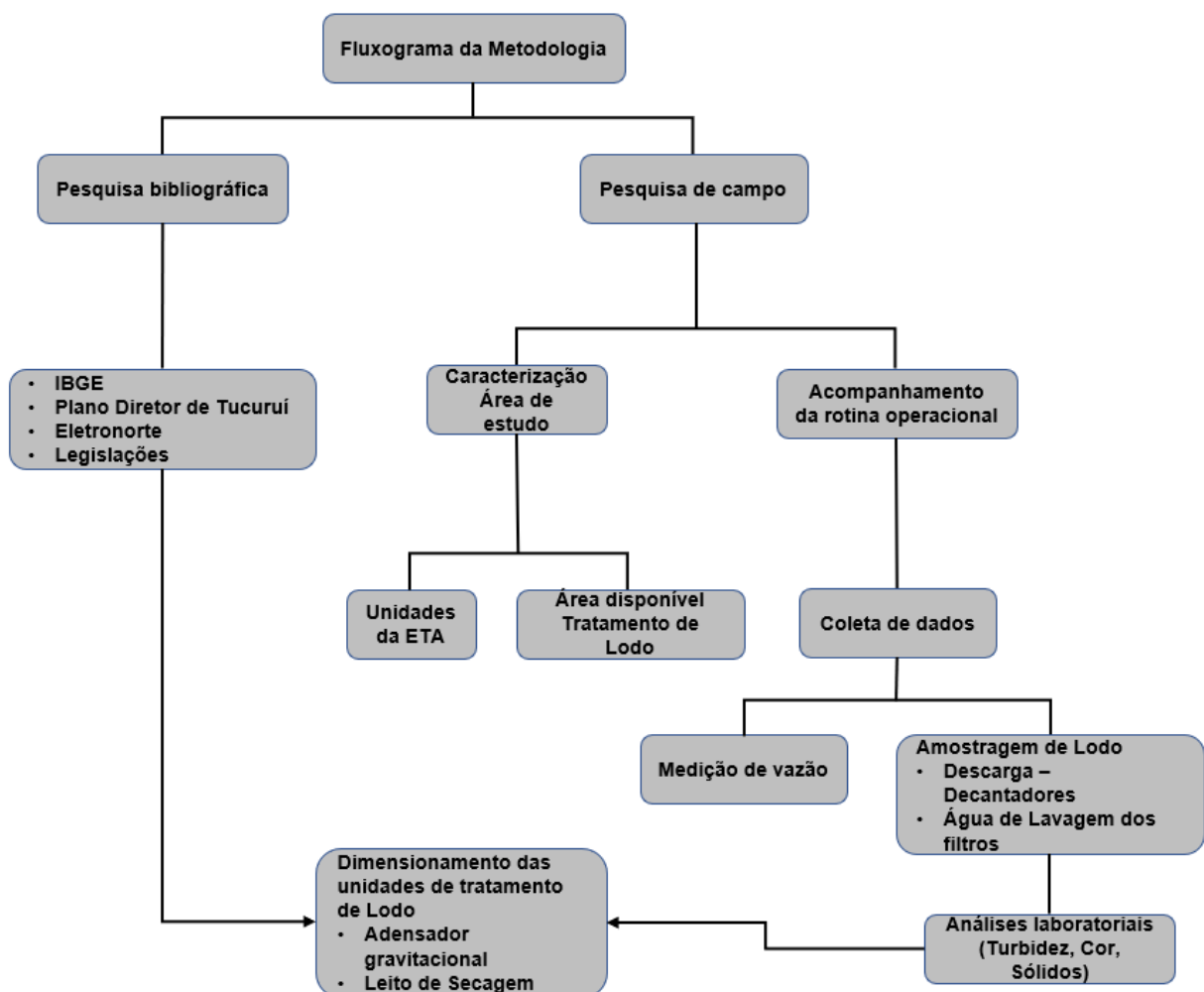
Echer (2014) afirma que, o direito ao meio ambiente equilibrado, do ponto de vista ecológico, consubstancia-se na conservação das propriedades e das funções naturais desse meio, de forma a permitir a “existência, a evolução e o desenvolvimento dos seres vivos”. As leis ambientais para a sociedade são de fundamental importância, pois ao mesmo tempo que regula o uso dos recursos naturais, também faz parte do arcabouço jurídico o ordenamento para a os padrões de lançamento/disposição de resíduos na natureza.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Iniciando pela descrição da área de estudo (subitem 3.1), o presente capítulo seguiu com a proposição dos procedimentos e planejamento das coletas de lodo do decantador e água de lavagem dos filtros, para que fosse possível a realização de análises laboratoriais dentre a série de sólidos, principalmente dos sólidos sedimentáveis, necessários para aquisição dos resultados. As análises selecionadas foram de acordo com o objetivo geral e específico deste trabalho.

Para melhor compreensão da metodologia, os procedimentos utilizados foram organizados por meio de um fluxograma, conforme ilustrado na Figura 6.

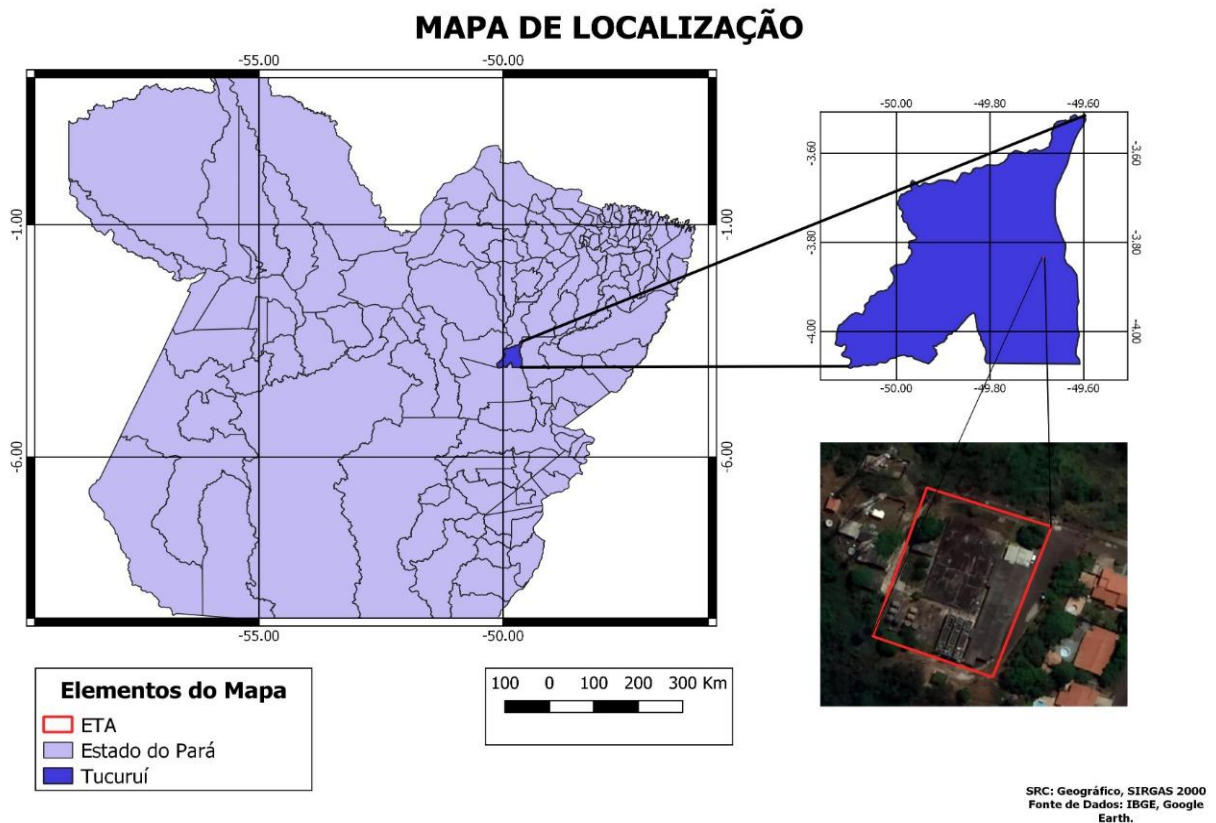
Figura 6 - Fluxograma da metodologia de pesquisa.



3.1. Área de estudo

A Estação de Tratamento de Água da Vila Residencial da ELETRONORTE (VRE) está localizada no município de Tucuruí, Estado do Pará, nas coordenadas geográficas 3°45'57.1" S 49°40'45.2" O, latitude e longitude, respectivamente (imagem de localização a baixo, Figura 7). A ETA atende atualmente 2.564 residências, com uma população de aproximadamente 12.820 habitantes. Segundo o IBGE, 2010 – Resultado preliminar por bairros da cidade de Tucuruí, a população da Vila da UHE Tucuruí correspondia aproximadamente a 9,2% da população do município, que de acordo com o censo demográfico era de 97.128 habitantes, considerando que para o ano de 2018 foi estimada em 112.148 habitantes.

Figura 7 - Mapa de localização do município de Tucuruí.

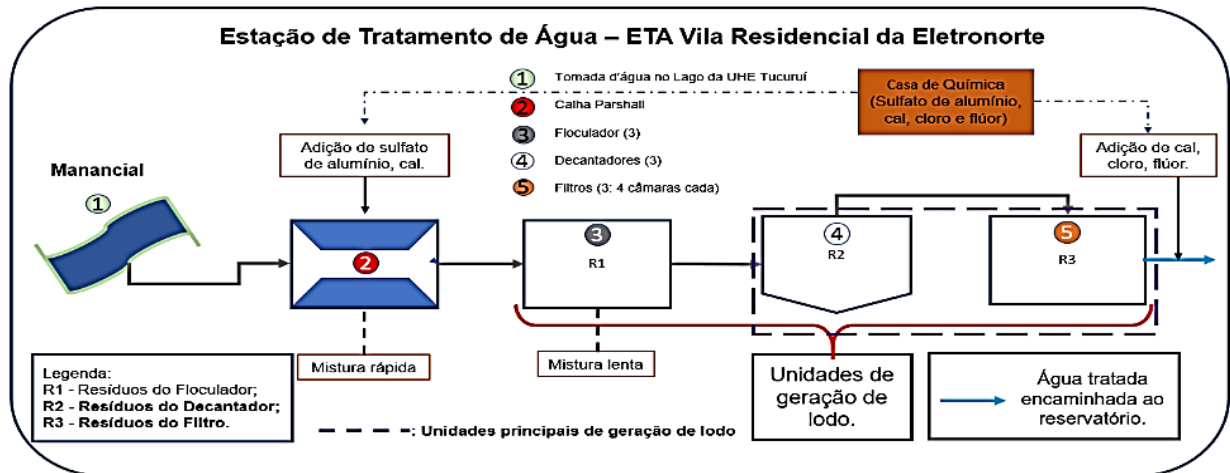


Fonte: Autor, 2019.

Construída em área da união e sob a responsabilidade da Eletronorte, a Estação de Tratamento de Água, ETA Vila Permanente compunha a infraestrutura de saneamento básico projetada para atender a demanda por água potável dos trabalhadores da obra, comércio, instituições de ensino, hospitais, hotel, entre outros.

Como objeto deste estudo, a atenção foi direcionada para o lodo gerado nos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional.



Fonte: Autor (2019).

3.1.1. Caracterização da ETA – Unidades de Geração de Lodo (UGL)

A ETA da Vila Residencial foi construída para atender a demanda de um público específico, tal demanda, advinda por ocasião da construção da Hidroelétrica no município de Tucuruí por volta da década de 70.

A estação foi implantada em uma área cuja topografia favorece a distribuição da água tratada por gravidade. A ETA é classificada como convencional, sendo composta por três módulos, do tipo Compacta, modelo ITAIPU-150, com capacidade de tratamento de cerca de 450 m³/h, sendo prevista para operar em regime contínuo de no mínimo oito horas e até 23 h/dia, garantindo assim a qualidade da água tratada conforme preconiza a portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX, do Ministério da Saúde.

O manancial superficial identifica-se como o lago formado a partir da construção usina hidroelétrica (reservatório da UHE Tucuruí) e o ponto de captação localiza-se a uma distância de aproximadamente 1 km, em linha reta, até a ETA, em uma região chamada de “braço do caripé”, conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Localização do ponto de captação e da ETA da VRE.



Fonte: Google Maps (2019)

A água do reservatório da UHE Tucuruí é recalçada por um conjunto de motor-bombas até a ETA Vila Residencial da UHE Tucuruí através de uma adutora de água bruta, com 936 m de extensão e 600 mm de diâmetro. Os conjuntos motor-bombas estão fixados em uma plataforma flutuante que foi projetada e atracada à margem do lago, como podemos visualizar na Figura 10 e o funcionamento das mesmas ocorre de forma alternada, o que permite fazer manutenções no sistema de bombas.

Figura 10 - Captação e adução de água bruta (Lago da UHE Tucuruí).



Fonte: Cedido pela empresa (Eletronorte).

Seguindo o movimento de cheias e de secas do lago da UHE Tucuruí, a estrutura flutuante permite que seja realizada a captação em todas as épocas do ano. A partir da captação (Figuras 9, 10 e 11) a água bruta é direcionada para um reservatório elevado e deste a água é encaminhada para a unidade Calha Parshall (Figuras 12 e 13). Na Calha Parshall são adicionados os produtos químicos, onde

ocorre a ação de mistura rápida. A mistura lenta ocorre no Floculador (Figuras 14 e 15), etapa fundamental na desestabilização química dos flocos. Em seguida o volume de água floculada passa para o Decantador (Figura 16) onde, durante o processo de decantação das partículas sólidas, a água passa para a unidade de filtragem (filtro indicado na Figura 16). Após a água ser filtrada ela é estabilizada e clorada, para que seja armazenada e/ou distribuída aos consumidores.

Figura 11 - Unidade de captação de água



Figura 12 - Mistura rápida (C. Parshall)



Figura 13 - Calha parshall



Figura 14 - Unidade de mistura lenta (Floculador)



Figura 15 - Etapa de floculação.



Figura 16 - Unidade de decantação e filtro.



3.1.2. Rotina operacional

A ETA da VRE opera com uma vazão média de 125 L/s e períodos de operação médios diários de 23 horas, atendendo atualmente 2.564 residências, cerca de 12.820 habitantes. Conforme mencionado anteriormente, pode-se verificar os dados descritos

na Tabela 7, referente à ETA convencional, modelo compacto ITAIPU-50 (Eletrobras Eletronorte – UHE Tucuruí, 2019).

Tabela 7 - Unidades de Tratamento - ETA da Vila Residencial da Eletronorte.

Unidades	Função
Casa de química	Sistema de preparação e de dosagem de produtos químicos, necessários à coagulação, floculação, desinfecção e correção de pH.
Calha Parshall	Sistema de medição e de mistura rápida da água bruta com produtos químicos.
Floculadores	Unidade de floculação mecânica multiestágios, composta por três módulos.
Decantadores	Unidade de decantação lamelar, composta por três módulos.
Filtros	Unidade de filtração de camada dupla, processo de taxas declinantes, por retrolavagem recíproca, composta por três módulos com quatro câmaras cada.
Tanque de contato	Unidade de desinfecção
Tanque semienterrado	Unidade de reservação.

Fonte: Eletrobras Eletronorte – UHE Tucuruí, 2019. (Adaptado).

Sendo a ETA de ciclo completo e considerando as características da água bruta de manancial superficial, no início do processo são adicionados produtos químicos que visam corrigir a acidez e coagulantes, que podem ser naturais ou sintéticos, na forma líquida ou em pó.

A lavagem dos filtros ocorre com maior frequência no período chuvoso (inverno amazônico), ocorrendo manobras de lavagens com intervalos de 3 em 3 horas, totalizando 8 lavagens por dia, uma vez que a mesma funciona 24 horas, com troca de equipes em quatro turnos, sendo no mínimo 3 operadores por turno. No período seco (verão amazônico) as manobras visando lavagem dos decantadores e filtros são reduzidas na ordem em que os parâmetros que determinam as dosagens de coagulantes e ficam mais baixos.

A água oriunda das descargas dos decantadores e de lavagem dos filtros da ETA da VRE até o momento está sendo direcionada para a rede de coleta de esgoto e todo esse afluyente coletado é encaminhado até a Estação de Tratamento de Esgoto da Vila Residencial.

O monitoramento dos parâmetros de qualidade da potável é realizado diariamente, para assegurar a qualidade da água potável destinada ao consumo humano, assim como preconiza a Portaria de Consolidação N° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX (Ministério da Saúde).

O lodo de uma ETA onde há a utilização de sulfato de alumínio no processo de tratamento é basicamente líquido, com uma concentração de sólidos em suspensão entre 0,004 e 4,0%, representando entre 0,5 e 5,0% do volume de água tratada (PROSAB, 2006). Em relação a aparência e características do lodo proveniente da coagulação por sulfato de alumínio, este lodo de acordo com Richter (2001), variam de acordo com a concentração de sólidos, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Aparência do lodo de sulfato de alumínio

Concentração de sólidos (%)	Aparência do lodo
0 - 5	Líquido
8 - 12	Esponjoso, semi-sólido
18 - 25	Argila ou barro suave

Fonte: Richter, 2001.

Os lodos de sulfato de alumínio sedimentam com relativa facilidade, porém sua baixa compactibilidade resulta em um grande volume e baixo teor de sólidos. Os lodos resultantes do tratamento de água bruta com alta turbidez são mais fáceis de compactar por sedimentação (adensamento) do que os lodos de águas de baixa turbidez (Richter, 2001).

3.2. Coleta de dados e Análises Laboratoriais

Para efeito de determinação das características de tratamento de lodo e, conseqüentemente, o dimensionamento das unidades, foram analisados por este trabalho, pesquisas com abordagem quantitativa dos lodos provenientes da unidade de decantação e filtros, etapas que no processo de tratamento de água ocorrem a geração dos resíduos sólidos de interesse do estudo, assim como a medição de vazão das descargas realizadas com frequência que estão diretamente ligadas aos períodos chuvosos e secos do ano.

A coleta das amostras de lodo se deu em um único dia de operações e manobras na ETA da VRE, onde foram realizadas em três horários do dia e com intervalo de 5 horas entre cada coleta, a fim de obter dados para a estimativa do lodo gerado. Os materiais utilizados na coleta podem ser visualizados nas Figuras 19 e 21.

Nesta etapa de estudo, as coletas realizadas em apenas um dia, levou-se em consideração as condições de trabalho na ETA com relação ao fluxo de pessoas, tempo reduzido para execução do estudo. Também, os dados necessários a partir das

análises da série de sólidos e medição de vazão das descargas dos decantadores e filtros, obtendo no final as concentrações de sólidos e quantidade, além do volume de água gasto por dia, respectivamente, foram suficientes.

A coleta foi realizada por meio de amostragem do lodo contido nos decantadores e água dos filtros, com o qual foi possível obter os quantitativos dos parâmetros de caracterização e lançamento de efluentes de acordo com as legislações vigentes já citadas anteriormente.

Para a coleta dos resíduos da ETA, dentre os três módulos foi selecionado o Módulo C, conforme a Figura 17, 18 e 19. O volume de água bruta que chega na ETA é distribuído igualmente entre os módulos A, B e C.

Figura 17 - Imagem esquemática da estrutura da ETA da Vila Residencial



Fonte: Autor, 2019.

A escolha do módulo C foi definida a partir da visita realizada na ETA, onde verificou-se tipo de operação diária, devido a outros fatores como: oferecer melhor mobilidade e segurança nas coletas e medições de vazão das descargas.

Figura 18 - Decantador e filtro (módulo C).

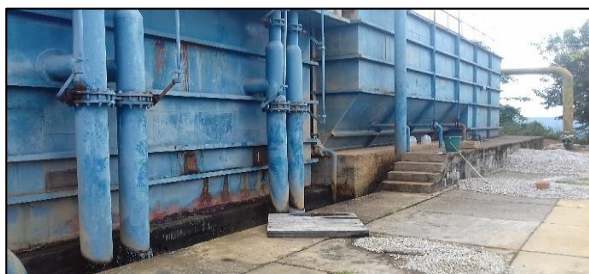


Figura 19 - Material para coleta de amostras.



Figura 20 - Pontos de descarga do filtro.**Figura 21** - Amostras coletadas (lodo).

O procedimento aplicado tanto para as coletas de amostras no decantador quanto na subcâmara do filtro (ambos do Módulo C) foi definido de acordo com o conhecimento da rotina operacional na ETA. Foram realizadas três coletas no dia 13 de abril (10h00, 15h00 e 16h00) com quatro amostras por coleta, sendo três no decantador e uma no filtro, totalizando 12 amostras, volume de 2 L/amostra (24 litros).

A vazão de entrada de cada módulo é de aproximadamente 150 m³/h, que é o volume direcionado para os três módulos (composto por floculador, decantador e filtro) a partir da calha Parshall, que totalizam 450 m³/h (capacidade de tratamento da ETA).

Além da vazão de tratamento da ETA da VRE, outras informações necessárias para os cálculos de quantificação do volume de lodo e das concentrações de sólidos estão dispostas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características principais da ETA.

Dados da ETA da Vila Residencial	
Vazão (Q)	125 L/s (450 m ³ /h)
Turbidez máxima	13,28 (UNT)
Dosagem de Sulfato de Alumínio (coagulante)	18,5 mg/L
Número de Filtros	3
Número de subcâmaras por filtro	4
Área de cada filtro	15,6 m ²
Carreira de filtração	3 horas
Taxa de filtração	9,6 m ³ /m ² .h
Duração média da operação de lavagem dos filtros	30 minutos

Fonte: Autor, 2019.

As análises seguiram as NBR 10.006/2004 e 10.007/2004, obedecendo os métodos analíticos e seguindo todos os procedimentos de acordo com “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMEWW) 22st Edition, 2012*” e

U.S.EPA SW-846, a fim de determinar os parâmetros físico-químicos de interesse. Na Tabela 10, tem-se a metodologia e a referência utilizada para cada parâmetro.

Tabela 10 - Parâmetros analisados do lodo (ETA da VRE).

Parâmetro	Método	Referência
ST (Sólidos Totais)	Amostra é seca a uma temperatura de 103 °C - 105°C, até peso constante. Gravimetria.	SMEWW 22st <i>Edition</i> , 2012
SST (Sólidos Suspensos Totais)	Filtração em membrana, secagem em estufa a 103°C por 1 hora. Gravimetria.	
SS (Sólidos Sedimentáveis)	Cone Imhoff e proveta graduada	
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)	método gravimétrico	

Fonte: Autor, 2019.

Com o objetivo de quantificar o lodo gerado na ETA da VRE, as análises principais foram dos Sólidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais Dissolvidos e Sólidos Suspensos Totais. As outras informações necessárias para utilização nas fórmulas empíricas como Turbidez e Cor da água bruta e o consumo de coagulante foram disponibilizadas pela empresa.

O roteiro programático se desenvolveu da forma que se segue:

a) Dados de vazão da água bruta

A ETA da Vila Residencial da Eletronorte, conforme informações coletadas, opera 24 horas por dia, com capacidade de vazão de tratamento de 450 m³/h, correspondente à 10.800.000 litros por dia. A captação é realizada por duas bombas com capacidade para aduzir até 600 m³/h, atendendo com folga a demanda da população da VRE.

Para determinar o volume de água descartada por dia, levando-se em conta a frequência de manobras realizadas pelos operadores da ETA, foi empregada a metodologia dos canais retangulares estudados em hidráulica e/ou mecânica dos fluidos, conforme a figura 22 e 23. Foi utilizado a fórmula de Francis para vertedores retangulares sem contrações, explicitado na Figura 24, a fim de determinar as vazões a partir dos pontos de descargas e conseqüentemente o volume por unidade de tempo, conforme a Equação 1.

$$Q = 1,838 \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Equação (1)

Onde:

Q = Vazão (em m³/s)

L = Largura do vertedor (m)

H = Carga do vertedor (m).

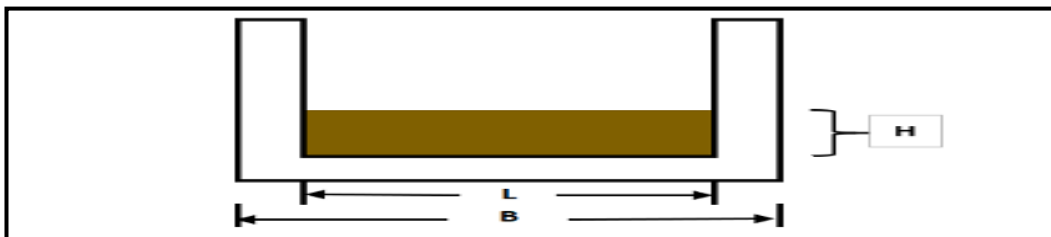
Figura 22 - Medição da altura (H).



Figura 23 - Largura dos vertedores.



Figura 24 - Esquema de um vertedor retangular sem contrações.



Fonte: Autor, 2019.

b) Coleta de amostras de descargas do decantador e lavagem do filtro

A coleta das amostras de lodo gerado na unidade de decantação (Módulo C), composta de três pontos de descarga que são acionados para reduzir a carga de sólidos sedimentados. O volume das amostras para análise foi de 2 L.

A coleta de amostras de água de lavagem dos filtros (Módulo C), composto por quatro subcâmara, foi realizada em apenas uma delas, considerando que todas as quatro subcâmaras que compõe o filtro são lavadas diariamente.

A coleta foi realizada no dia 13 de abril de 2019, sendo distribuída em três horários do dia e com intervalo de 5 horas entre coletas, como descreve a Tabela 11.

As amostras de cada horário foram acondicionadas e encaminhadas para o laboratório da ELETRONORTE.

Tabela 11 - Planejamento de coletas das amostras na ETA.

Locais de coleta na ETA	Nº de coletas			Total de Amostras por ponto de coleta
	10h00	15h00	18h00	
Decantador (módulo C)	3	3	3	9
Filtro – subcâmara 1 (módulo C)	1	1	1	3
Total de amostras....				12

Fonte: Autor, 2019.

c) Análises laboratoriais posteriormente a cada uma das amostras coletas

De imediato, após cada coleta conforme os horários descritos na Tabela 11, foram realizadas nas amostras as análises de temperatura, Turbidez (turbidímetro - medidor multiparamétrico), Cor aparente (colorímetro), Oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (EC) e Temperatura. Nas Figuras 25 e 26 estão alguns dos equipamentos utilizados.

Figura 25 - Medidor multiparâmetro.



Figura 26 - Colorímetro DM – cor e turbidez.



Estes equipamentos referentes à Figuras 25 e 26 são muito práticos e bastante utilizados para medir com qualidade e com uma ótima margem de segurança parâmetros como a turbidez, cor, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura, etc., auxiliando decisivamente no monitoramento da qualidade da água e de efluentes de acordo com os princípios de medições que estabelecem o método USEPA 180.1, como o ALPHA, AWWA e WPCF.

d) Medição e análises de série de Sólidos

- **Sólidos sedimentáveis**

Para a determinação dos sólidos sedimentáveis (SS) utilizou-se o cone Imhoff, graduado, como mostra a Figura 28, adicionado a estes, 1,0 L de cada amostra (Figura 27) homogeneizada anteriormente, permanecendo em repouso por 60 minutos, se estabelecendo assim o desprendimento dos sólidos aderidos e sedimentação dos mesmos, que permitiu a leitura final (posição da interface lodo/líquido sobrenadante), anotando-se o resultado em mL/L.

Figura 27 - Amostras coletadas para análises.

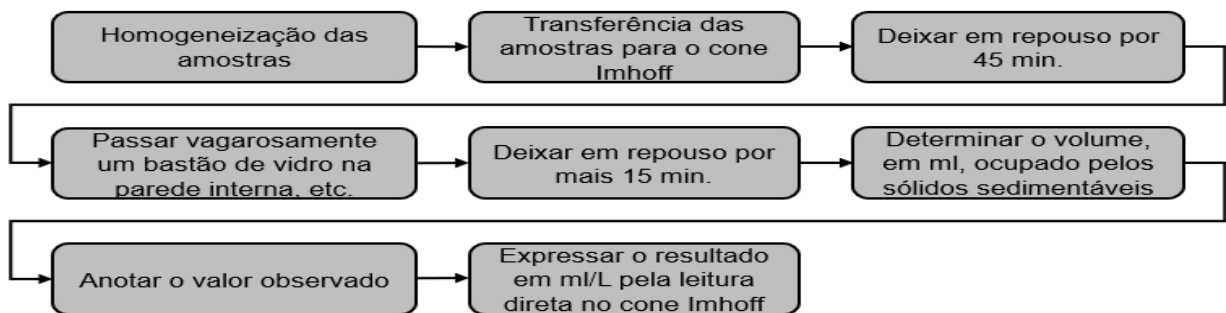


Figura 28 - Cone Imhoff com amostras em análises.



Em resumo, o procedimento é de acordo com o fluxograma das atividades para determinação de sólidos são apresentados na Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma das operações (determinação de sólidos sedimentáveis).



Fonte: Autor, 2019.

- **Sólidos totais**

Inicialmente a cápsula de porcelana (sobre o aquecedor na Figura 30 e na Figura 33) numerada com capacidade para 100 ml foi preparada, sendo lavada com água destilada, em seguida na placa aquecedora (Figura 30) e depois armazenada em dessecador com sílica-gel (Figura 31) antes da pesagem em balança analítica (Figura 33).

Após a anotação do valor P_0 , peso da cápsula vazia, a mesma foi armazenada em dessecador até o instante do seu uso na análise. A amostra homogeneizada foi introduzida na cápsula através de uma proveta de 100 ml, em seguida evaporação e secagem final em estufa a 103-105°C até **peso constante**¹. A evaporação em banho-maria tem por objetivo acelerar o processo de secagem, podendo ser suprimida. A cápsula retirada da estufa (Figura 32) é armazenada em dessecador com sílica-gel até o instante da pesagem em balança analítica. O valor da massa da cápsula com o resíduo seco, P_1 , foi anotado e o nível de sólidos totais foi obtido conforme a Equação 2:

$$ST = \frac{P_1 - P_0}{V} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

ST = Sólidos Totais (mg/L).

P_1 = peso da capsula com amostra (g).

P_0 = peso da capsula sem amostra (g).

V é volume de amostra utilizado (100 ml).

Figura 30 - Cápsula de porcelana



Figura 31 - Dessecador de sílica-gel



Figura 32 - Estufa de secagem



Figura 33 - Balança analítica.



¹ é a parte que resta do **peso** de um material após a perda de toda a água que é possível extrair através de um aquecimento feito em condições controladas de laboratório.

- **Sólidos suspensos totais**

Para a determinação destas frações, utilizou-se filtros-membrana de fibra de vidro com poros de 1,2 μm . A filtração é a vácuo, conforme Figuras 34 e 35. Em seguida foram dispostas em dessecador com sílica-gel, (para o processo de pesagem em balança analítica - P_0) e retornado para o dessecador até o instante da análise.

Figura 34 - Conjunto de filtração a vácuo.



Figura 35 - Filtro-membrana após filtração a vácuo.



As amostras foram filtradas à vácuo, utilizando-se 100 ml ou volumes menores para amostras ou lodos concentrados. O filtro contendo o resíduo em suspensão foi levado para uma estufa durante uma hora a 103-105°C, sendo sempre manuseado com pinças e suportado por cápsula de porcelana devidamente identificada. Em seguida, o filtro com o resíduo seco foi armazenado em dessecador até a pesagem em balança analítica (P_1). Os valores para a série de sólidos são calculados por meio das equações 2, 3 e 4, empregando os equipamentos das figuras 30, 31, 3, 33, 34 e 35.

$$\text{SST} = \frac{P_1 - P_0}{V} \quad \text{Equação (3)}$$

$$\text{STD} = \frac{P_1 - P_0}{V} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

SST = Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)

STD = Sólidos Totais Sedimentáveis (mg/L)

P_1 = peso da capsula com amostra (g).

P_0 = peso da capsula sem amostra (g).

V = é o volume de amostra (ml).

De acordo com os procedimentos recomendados para análises de série de sólidos, as demais frações referentes aos sólidos dissolvidos totais, fixos e voláteis podem ser calculadas por diferença (conforme o interesse e objetivos de estudos) por meio das Equações 5, 6 e 7:

$$SD = ST - SS \quad \text{Equação (5)}$$

$$SDF = SF - SSF \quad \text{Equação (6)}$$

$$SDV = SV - SSV \quad \text{Equação (7)}$$

e) Volume diário de lodo e série de sólidos gerados na ETA

Os teores de sólidos que constituem o lodo gerado na ETA, após a determinação das frações nas amostras coletadas, foram calculadas primeiro a média da média das amostras (para os decantadores) e apenas a média simples para os filtros, uma vez que foram coletadas apenas uma amostra por campanha, conforme a Tabela 11. Estas equações foram aplicadas para calcular os Sólidos em Suspensão Totais (SST), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sólidos Totais (ST) e Sólidos Sedimentáveis (SS), seguindo o mesmo procedimento para encontrar o volume total gerado por dia, por meio das equações 8 e 9.

$$Vld = \frac{\frac{D1}{3} + \frac{D2}{3} + \frac{D3}{3}}{3} \quad \text{Equação (8)}$$

$$Vlf = \frac{F1 + F2 + F3}{3} \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

Vld = Volume de lodo das amostras do decantador (mL/L)

Vlf = Volume de lodo das amostras do filtro (mL/L)

Com as equações 10 e 11, estimou o volume de sólidos em mL/L (mililitro por litro) gerado nos decantadores e nos filtros por dia, que após a soma destes valores, faz-se a multiplicação pelo volume em litros descartados diariamente na ETA, obtendo então o volume de lodo em metro cúbico por dia. A partir dos resultados das análises e das Equações citadas anteriormente, poderá obter os dados para os valores de sólidos gerados por dia.

O volume de água utilizada na ETA da VRE para determinação do volume de lodo gerado encontra-se na Tabela 12.

3.3. Identificação das Alternativas

Após visita de campo realizada juntamente com o responsável pela ETA da VRE, foi executada a medição da área disponível e análises das cotas do terreno para o arranjo do projeto de unidades de tratamento de lodo a dimensionar.

As unidades selecionadas para este projeto foram:

- Adensador por gravidade, e
- Leito de secagem.

Com as devidas medidas, foi possível verificar que a área disponível nas proximidades da ETA atende as necessidades do projeto, totalizando uma área útil de aproximadamente 250 m² e com baixa declividade, desfavorável na maior parte do terreno disponível, necessitando assim de escavações e recalque de lodo para o leito de secagem.

Estas alternativas selecionadas com o intuito de propor uma solução para o tratamento de lodo gerado na ETA seguiram critérios técnicos, ambientais e econômicos, pois cada técnica de tratamento tem suas particularidades, assim como vantagens e desvantagens. O que justificou a escolha destas unidades de tratamento foram:

- ✓ Custo acessível para implantação, uma vez que é recomendado para ETAs com capacidade menor que 200 l/s;
- ✓ Baixo custo de manutenção do Adensador e LS (como peças, mecânica, et.);
- ✓ Facilidade operacional;
- ✓ Produção de lodo concentrado em tempo razoável de acordo com a sua simplicidade operacional;

Vale ressaltar, que equipamentos utilizados para desaguamento e desidratação mecânica de lodos necessitam de áreas muito menores para implantação, que os tanques de lodo e principalmente os leitos de secagem. Porém os custos de

implantação, manutenção e mão de obra treinada encarecem esta opção para os gestores de ETAs.

Outro método de desidratação não mecânica são as lagoas de lodo, sendo que a diferença básica no projeto construtivo em relação ao Leito de Secagem é a profundidade, sendo maior a necessidade de remoção de solo para sua implantação, o que vem a aumentar os custos construtivos, também exigindo maior controle ambiental pelos riscos de rompimento em situação de chuvas intensas.

Com relação ao tamanho e forma, Richter (2001) destaca que a área de uma unidade de Leito de Secagem ou de lagoa geralmente não ultrapassa 1.500 m². Segundo Richter (2001) o número de unidades e, assim, o seu tamanho, deve ser definido pelo engenheiro em função da topografia local, procurando minimizar o movimento de terra.

3.4. Dimensionamento das unidades de tratamento de lodo

Para o dimensionamento, foram utilizados os seguintes livros “Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água dos pesquisadores Di Bernardo, Dantas e Voltan (2011), “Tratamento de Esgotos Domésticos” de Jordão e Pessoa (6ª Edição, 2011), “Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água”, Richter (2001) e as NBR’s: 12216/92 (Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público), 12.209/2011 (Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário).

3.4.1 Adensamento por gravidade

De acordo com a NBR 12209/2011(Elaboração de projetos hidro -sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários), preferencialmente, os adensadores por gravidade destinam-se a lodo primário. O dimensionamento do adensador por gravidade voltado para lodo de ETAs assume outros fatores para este trabalho, em virtude das poucas pesquisas relacionadas e aplicadas em estação de tratamento de água.

O adensamento de lodos oriundo de ETAs busca objetivamente reduzir consideravelmente o máximo de água dos resíduos (lodo), ou seja, aumentando sua concentração para diminuir custos e operações no leito de secagem. As informações que contribuíram para o dimensionamento do adensador por gravidade estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12 - Características operacionais diárias dos decantadores e filtros da ETA.

Parâmetros	Resultado	Unidade
Volume de água descartada nos decantadores	184680	L/dia
Volume de água descartada nos filtros	921600	L/dia
Volume descartado entre descarga (menor intervalo)	138,25	m ³ /h
Produção média de água tratada	9360	m ³ /dia
Menor intervalo entre bateladas (período chuvoso)	3	horas
Concentração de lodo adensado	2	%

Fonte: Autor, 2019.

Com relação as ETAs, a taxa de aplicação de sólidos, a taxa de aplicação hidráulica e o teor de sólidos em suspensão no lodo adensado são parâmetros essenciais para o dimensionamento do adensador por gravidade está diretamente ligado as características de lodo de ETA.

De acordo com Reali e Patrizzi (1999, *apud* Maraschin, 2016), os principais parâmetros envolvidos no projeto de unidades de espessamento por gravidade com escoamento contínuo descritos são:

- Taxa hidráulica de aplicação superficial (TAS): valor máximo de vazão de lodo aplicada por unidade de área útil (em planta) do adensador (m³ de lodo/m² de área. d);
- Taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos (TCS): define o fluxo de sólidos aplicados por unidade de área útil (em planta) do adensador. Expressa o resultado em termos de massa seca (kg) de sólidos suspensos totais aplicados por unidade de tempo (dia), por unidade de área (m²) de adensador (kg de SST/m². d).
- Tanto a TAS quanto a TCS variam de acordo com as características do lodo produzido. Na Tabela 13 estão relacionados valores característicos de parâmetros de projeto verificados em espessadores por gravidade, e reunidos por Reali e Patrizzi (1999), que em referência a estes, Maraschin (2016) também citou-os em seu trabalho.

Tabela 13 - Taxas de aplicação superficial de sólidos em adensadores por gravidade.

Tipo de Lodo	TAS (m ³ /m ² .d)	TCS (kgSST/m ² .d)	Teor de sólidos no lodo espesado (% em massa)
Lodos gerados em estações de Abrandamento		146 a 292	15 a 35
Lodos que utilizam sulfato de alumínio, condicionamento com cal	4,1 a 8,2	25 a 50	6 a 9
Lodos que utilizam saís de alumínio ou ferro, condicionado com polímero	7,0 a 8,8	50	2 a 5

Fonte: REALI e PATRIZZI (1999) *apud* Maraschin, 2016.

Neste trabalho, os parâmetros para as taxas envolvidos no projeto dos adensadores por gravidade, quando calculadas ficaram em 22,5 m³/m²/dia e 0,11 m³/m²/dia, TAS e TCS, respectivamente.

Nesta unidade de tratamento, as operações de controle de enchimento dos adensadores e descarga do lodo serão realizadas manualmente, ou seja, o operador do turno fará o acionamento das válvulas e acompanhará o enchimento, a retirada da água clarificada e no direcionamento do lodo para o leito de secagem, observando o início do clareamento do mesmo e/ou diminuição de sua densidade.

3.4.2 Leito de secagem

Os leitos de secagem foram as primeiras unidades a serem empregadas para produzir lodo seco. Fisicamente, não diferem substancialmente dos tradicionais filtros de areia em uma área confinada com paredes laterais e fundo de alvenaria [...] (PROSAB, 2006) . Ao contrário dos filtros tradicionais de ETAs, os fatores limitantes para sua aplicação é o alto custo e a exigência de grandes áreas para sua instalação e, como propõe Richter (2001), “são indicadas para pequenas estações de tratamento, usualmente com capacidade menor que 200 l/s.”

Assim como o dimensionamento do adensador por gravidade, também buscou-se aplicar a NBR 12209 (ABNT, 2011) para o Leito de Secagem, levando em consideração os critérios essenciais recomendados para esta unidade de tratamento, como tipos de material filtrante, suas dimensões e alturas das camadas, número mínimo de células e também o volume de lodo gerado na ETA e suas características após o adensamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantificação do lodo

Tendo por meio das equações 2, 3 e 4, além dos dados obtidos no cone Imhoff obteve-se os resultados da Tabela 14, para os sólidos.

Tabela 14 - Resultado das análises da série de sólidos.

UNIDADES/ESTUDO	PARÂMETROS	RESULTADOS		
		10h00	15h00	18h00
Decantador	ST: Sólidos Totais (mg/L)	207,3	176	209,4
	SST: Sólidos Suspensos Totais (mL/L)	131,1	149,6	236
	SS: Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	29	22	84,3
	STD: Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	110,6	43,4	22,7
Filtro	ST: Sólidos Totais (mg/L)	70	138,7	99,3
	SST: Sólidos Suspensos Totais (mL/L)	44,8	42,8	172,1
	SS: Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	9	16	25
	STD: Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	31	10	12

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005, referente as condições e padrões de lançamento de fluentes, destaca-se o Art. 16 - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis no inciso I - condições de lançamento de efluentes:

- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

Assim, deve-se realizar o tratamento prévio das descargas do decantadores e de lavagem dos filtros da ETA, uma vez que os valores obtidos em relação aos materiais sedimentáveis ultrapassaram 1 mL/L.

Com a aplicação das equações 8 e 9, chegamos aos seguintes resultados, expressos na Tabela 15.

Tabela 15 - Estimativa de produção de lodo.

Parâmetro	Resultados	Unidade
ST (Sólidos Totais)	436,55	kg/dia
SST (Sólidos Suspensos Totais)	86,5	kg/dia
SS (Sólidos Sedimentáveis)	18,2	m ³ /dia
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)	75	kg/dia

Fonte: Autor, 2019.

A ETA da Vila residencial da Eletronorte – UHE Tucuruí utiliza diariamente volumes estimados de 184,68 m³/dia (184.680 L/dia) nos decantadores e 921,6 m³/dia (921.600 L/dia) na lavagem dos filtros, totalizando 1.106,28 m³/dia de água para a limpeza combinada de decantadores e filtros de acordo com a Tabela 12, correspondendo à aproximadamente 11,8% do volume de água tratada e 18,2 m³ de lodo fresco (Tabela 15), aproximadamente 0,19%, respectivamente, ou seja, uma produção de lodo relativamente baixa, o que pode sugerir boa qualidade de água bruta.

Vale ressaltar que, as equações empíricas comumente utilizadas para quantificar o volume de lodo seco gerado em ETAs podem também ser aplicadas, desde que os dados históricos de turbidez, dosagem de coagulantes sejam de no mínimo três anos de monitoramento, para expressar resultados mais precisos, pois as alterações que podem ocorrer no uso e ocupação do solo ligado ao recurso hídrico utilizado para o abastecimento público podem alterar as características da água bruta para além do comportamento da pluviosidade ano a ano.

4.2. Adensamento

A partir das informações obtidas no período de estudo da rotina operacional da ETA e análises posteriores, chegou-se as seguintes dimensões para o Adensador por gravidade, detalhada na Tabela 16, considerando para o mesmo o volume de água descartado nos filtros e decantadores em cada ciclo.

Tabela 16 - Critérios técnicos construtivos do Adensador por gravidade.

Adensador por gravidade		
Parâmetros	Resultado	Unidade
Número de tanques	4	Unidades
Altura	3,5	m
Profundidade	3,5	m
Comprimento	3,5	m
Área total	49	m ²
Volume útil unitário	36,30	m ³
Volume útil total	145,2	m ³

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com Richter (2001) os adensadores por batelada geralmente tem o fundo em forma de tronco de pirâmide ou de cone invertido, com a finalidade de acumular e facilitar a retirada do lodo adensado.

O adensador ficou: 3,5 m x 3,5 m x 3,5 m e resultou na configuração de 1,75 de parede vertical e 1,75 de parede inclinada, com ângulo de 50° (formando um poço de lodo, que facilita a sedimentação, acumulação e remoção dos sólidos), tendo assim um volume útil de 36,3 m³ por câmara de adensador, considerando o volume de descarte de água nos decantadores e lavagem de filtros para um intervalo mínimo de 3 horas entre as manobras (bateladas), especificamente no pico do período chuvoso, quando a turbidez da água bruta é máxima e conseqüentemente aumenta o teor de sólidos no lodo, assim como a massa de lodo gerada na ETA.

O adensador por gravidade proposto neste trabalho foi projetado para que a remoção do lodo seja realizada por bombeamento para o Leito de Secagem após 4 dias recebendo águas descartadas dos decantadores e de lavagem dos filtros, sendo que a água clarificada tenha a sua remoção executada duas horas após cada batelada com margem de 1 hora para a próxima, considerando o período de menor intervalo entre recargas que é de 3 horas, ou seja, o período mais crítico de chuvas. Já em períodos com menor quantidade de bateladas, estes intervalos serão maiores.

No período menos chuvoso do ano, onde as manobras (bateladas) são realizadas em intervalos maiores, tem-se então um tempo maior de detenção hidráulica e de sedimentação, gerando conseqüentemente um lodo mais concentrado.

O poço de acumulação de lodo no fundo do adensador deve ter paredes com inclinação igual ou superior a 1,5 na vertical para 1 na horizontal, terminando em base

inferior com dimensão horizontal mínima de 0,60 m, sendo estes parâmetros recomendado pela NBR 12209 (ABNT, 2011).

As tubulações de coleta/distribuição utilizadas serão de 150 mm, para atender a vazão das descargas dos filtros e decantadores ao adensador.

A capacidade do conjunto de adensadores será de 145,2 m³, para atender um volume de descarga por batelada de 138,5 m³ no período mais crítico das chuvas, atendendo com folga a demanda exigida, já prevendo possíveis implicações na rotina operacional ou necessidade de se acumular por mais tempo a água clarificada. Tendo a área disponível maior que a área requerida para o adensador, satisfaz o dimensionamento desta unidade de tratamento de lodo da ETA.

O adensamento de lodos em estações de tratamento de água e esgoto tem grande importância no processo de tratamento de resíduos, pois considerando que a geração é diária e permanente, se faz necessário a implementação desta unidade, seja em projetos novos ou em estações antigas não planejadas a partir de pressupostos teóricos e leis ambientais vigentes.

De acordo com Mareschin (2016), o espessamento do lodo é a primeira etapa de remoção da água dos resíduos das ETAs, sendo um processo preparatório para posterior condicionamento e desidratação.

4.3. Desidratação

A etapa final de tratamento de lodo gerado na ETA da VRE será no Leito de Secagem, dividido em duas células, tendo a capacidade de processar a secagem por meio da evaporação e percolação no meio drenante. Por meio das informações obtidas nas Equações 10 e 11, relacionado especialmente aos sólidos sedimentáveis (SS) e o período mínimo adotado (4 dias) para o recebimento de lodo adensado entre bateladas, chegou-se as dimensões relacionadas na Tabela 17, levando em consideração algumas das recomendações da NBR 12209/92. Contribuíram para o dimensionamento do Leito de Secagem a disponibilidade de área para atender as necessidades de tratamento de lodo.

Tabela 17 - Critérios técnicos construtivos do Leito de Secagem.

Leito de Secagem		
Parâmetros	Resultado	Unidade
Número de células	2	und.
Altura livre (acima da camada filtrante)	0,50	m
Comprimento	13	m
Largura	12,5	m
Área total	162,5	m ²
Volume útil unitário	40,625	m ³
Volume útil total	81,25	m ³

Fonte: Autor, 2019.

Cada célula do leito de secagem ficou com as seguintes dimensões: 12,5 m x 6,5 m x 0,5 m (C x L x H) que, juntas, devem comportar um volume de lodo de 40,625 m³. A capacidade útil total será de 81,25 m³, tendo um ciclo de 4 dias cada célula para secagem do lodo. Por fim, a área disponível atendeu a área requerida pra o LS.

A profundidade da estrutura do leito será de 1,90 metros, sendo que a inclinação de fundo adotada foi de 1% para condução do efluente drenado a calha central. As laterais apresentam altura de 1 m (acima da camada drenante), sendo para o lodo a altura útil de 0,5 m.

A altura útil acima desta camada e a inclinação de fundo são estabelecidas pela NBR 12.209/2011. Porém outros autores como aplicado e sugerido por Cordeiro (2001, *apud* Fontana, 2005) realizaram experimentos em sistemas piloto, adotando alturas úteis com 0,5 m, obtendo resultados satisfatórios. Como no caso da coleta do volume de águas descartadas no adensador, a tubulação calculada para atender o volume de lodo adensado para o leito de secagem foi de 150 mm.

4.4. Disposição final

Para Gervasoni (2014), a procura por soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para aproveitamento e disposição final do lodo de ETAs continua sendo um grande desafio para as empresas de saneamento no Brasil. Não é apenas uma dificuldade para grandes ETAs, mas também as pequenas e médias estações de tratamento tem problemas similares quanto ao gerenciamento de lodo gerado.

Diversas são as formas de destinação final para lodo de estações de tratamento, sendo algumas sugestões:

- Fabricação de Bloco Cerâmico e Tijolo
- Fabricação de Cimento e Incorporação do Lodo em Matriz de Concreto
- Recuperação de Solos Agrícolas e Disposição no Solo
- Recuperação de Coagulante do Lodo de ETA
- Reaterro em Obras de Saneamento
- Aterro Sanitário Classe II
- Cobertura de Aterro Sanitário
- Disposição do Resíduo em ETE

A disposição em corpos d'água dos resíduos sólidos não é recomendada, uma vez que os mesmos levam na sua constituição uma série de elementos químicos que em meio aquoso podem prejudicar os organismos aquáticos e desequilibrar os ecossistemas, devendo ser cumprida as determinações da Resolução CONAMA Nº 430/2011.

Existe outras possibilidades de utilização do lodo gerado em ETAs, como por exemplo, na mistura de material na produção de mudas florestais, frutíferas e de jardinagem, desde que seja realizado análises específicas e um pré-tratamento do lodo para quantificação/retirada do produto químico resultante do processo de tratamento da planta. Outra possível destinação é o encaminhamento do mesmo para empresas instaladas no município que trabalhem com a fabricação de tijolos.

5. CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos deste trabalho, visando estimar a quantidade de lodo gerado no processo de tratamento da ETA Vila Residencial da Eletronorte – UHE Tucuruí, foram realizadas as análises em laboratório das amostras de água de descarga de um decantador e de lavagem de uma subcâmara de filtro, assim como o dimensionamento do sistema de tratamento de lodo proposto, bem como posteriormente foi apresentado o layout do projeto correspondente ao Adensador por gravidade e Leito de secagem que funcionarão por batelada.

Seguindo as etapas de visita na ETA para o conhecimento da rotina operacional, assim como medições realizadas, coleta de amostras de lodo para análises laboratoriais, foi possível dimensionar as unidades de tratamento para os resíduos sólidos e na etapa final apresentar o layout do sistema de tratamento proposto para os lodos gerados nesta estação de tratamento.

Assim, com a metodologia aplicada neste trabalho, chegou-se a atingir os objetivos propostos e servindo como contribuição para a empresa, com projetos elaborados a partir do dimensionamento realizado a fim de solucionar problemas ambientais e/ou melhorar a eficiência operacional da ETA quanto ao tratamento de lodo, vindo a favorecer e possibilitar uma destinação/disposição mais adequada aos resíduos sólidos.

O consumo de água tratada nas operações de limpeza dos filtros é de aproximadamente 83% a mais em relação aos decantadores, o que mostra a necessidade de tornar as operações e processos de tratamento de água mais eficientes visando reduzir este consumo por meio da quantidade de lavagens.

A preocupação centrada na produção de água para o consumo humano não é o bastante em uma estação de tratamento de água, pois inevitavelmente este processo gera resíduos que não podem ser lançados diretamente no meio ambiente.

5.1. Recomendações

A proposição deste trabalho não previu o dimensionamento para a utilização de um conjunto motor-bomba para recalcar o lodo do adensador (poço de lodo) para o

leito de secagem, bem como apresentar lista de material e orçamento, pois, a priori, não fazia parte dos objetivos. Em caso de implantação do projeto, e a empresa venha a executar esta etapa, o dimensionamento hidráulico pode ser continuado a partir do projeto aqui apresentado. No layout deste projeto as tubulações de sucção e recalque constam apenas para efeito de representação.

Em relação a rotina operacional na ETA, detectou-se uma não uniformidade nas manobras realizadas para a limpeza das unidades (decantadores e filtros). O que poderia contribuir para melhorar a eficiência destas atividades seria a implantação de um medidor de fluxo eletromagnético ou um medidor de vazão tipo vórtices que é um instrumento versátil que calcula o fluxo de massa, vazão volumétrica, temperatura, pressão e densidade de qualquer líquido, gás ou vapor através de uma tubulação usando o princípio de derramamento de vórtice, o que pode auxiliar no gerenciamento da ETA e reduzir o volume de água descartada.

Mesmo tendo sido dimensionado as unidades de tratamento de lodo para a ETA da Vila Residencial da UHE Tucuruí com base no volume de água consumido nas operações de limpeza e volume de lodo, recomenda-se para trabalhos futuros a utilização de protótipo em escala de laboratório de um adensador e leito de secagem, para aperfeiçoar os parâmetros técnicos construtivos de projeto, após realização de mudanças e adaptações na estação, assim como a caracterização do lodo.

Estas mudanças seriam em relação a melhorar a eficiência nas dosagens de produtos químicos, principalmente o Sulfato de Alumínio, melhorando conseqüentemente a eficiências nas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração.

Recomenda-se ainda o estudo da caracterização do lodo gerado na ETA para definição das possíveis destinações, assim com a água clarificada no adensador (sobrenadante) e o drenado no leito de secagem. Essas indicações visam atender possíveis meios de aproveitamento destes, tendo assim segurança em sua (s) aplicações.

REFERÊNCIAS

ACHON, CALI LAGUNA.; BARROSO, MARCELO MELO.; CORDEIRO, JOÃO SÉRGIO. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. Eng. Sanit. Ambient. - v.18 n.2 - abr/jun 2013 - 115-122. Recebido: 20/09/11 – Aceito: 09/05/13 – Reg. ABES: 066.

ACHON, CALI LAGUNA.; BARROSO, MARCELO MELO.; CORDEIRO, JOÃO SÉRGIO. Leito de drenagem: Sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.13, n.1. Universidade de São Paulo - SP; Biblioteca Digital da Produção Intelectual – BDPI., jan. 2008. p.54-62.

ACHON, CALI LAGUNA.; CORDEIRO, JOÃO SÉRGIO. Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA - LEI 12.305/2010. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento – Poços de Caldas – MG. Mai. 2015.

ANDRADE, CYNTHIA FRANCO.; SILVA, CRISTINA MENDES.; OLIVEIRA, FERNANDA DE CÁSSIA. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/congresso5.htm>. Nov. 2014.

APHA (2012). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22th ed. Washinton.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

BISOGENIN, JOSÉ LUIZ MORENO.; NOBUYOSHI IDE, CARLOS.; IMOLENE, LEILA MARQUES. Secagem de lodo de ETA em leito convencional. 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, set. 1999. Disponível em <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/ii-074.pdf>. Acesso em abr. 2019.

BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B.; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDIBE, 2011. 454 p.

ECHER, REGIANE. Aplicação da política nacional de saneamento básico no município de São Miguel do Oeste. Disponível em <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Regiane-Echer.pdf>. Jan. 2014.

ELETROBRAS ELETRONORTE (UHE TUCURUÍ). Superintendência de Geração Hidráulica – OGH. Superintendência de Gestão de Ativos da Produção da Geração – OGG. Centro de Proteção Ambiental – CPA. Análise físico-química da água. 2019.

FLAUSINO, MATEUS BARRETO.; LIMA, NARALUCE DE.; CARVALHO, SUELLEM CRISTIANE.; FREITAS, DYEGO MARADONA ATAIDE DE.; FIA, RONALDO. Quantificação do lodo gerado na estação de tratamento de água da universidade federal de lavras e relação com a concentração de sólidos na água bruta. Congresso ABES/FENASEN. São Paulo - SP. out. 2017.

FONTANA, ANTÔNIO OSMAR. Sistema de Leito de Drenagem e sedimentador como Solução para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros – Estudo de caso – ETA Cardoso, São Carlos – SP. Dissertação apresentada ao programa de Pós - graduação em engenharia urbana. 2005.

GERVASONI, RONALD. Caracterização e avaliação do potencial de destinação do lodo de estações de tratamento de água do estado do paraná. Disserta o de mestrado. Set. 2014.

JORDÃO, EDUARDO PACHECO.; PESSÔA, CONSTANTINO ARRUDA. Tratamento de Esgotos Domésticos. ABES, 6^a Edi o, 2011.

JUSBRASIL. 2010. SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (STJ). Linha do tempo: um breve resumo da evolu o da legisla o ambiental no Brasil. Disponível em: <https://stj.jusbrasil.com.br/noticias/2219914/linha-do-tempo-um-breve-resumo-da-evolucao-da-legislacao-ambiental-no-brasil>. Acesso em: 2019.

LEI N . LEI N  12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm . Acesso em 12.2018.

LEI N . LEI N  9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em 12.2018.

LONARDI, GISLAINE. Dimensionamento de leito de secagem: remo o natural de água de resíduo sólido de esta es de tratamento de  gua. Relatório técnico/científico (Bacharel em Engenharia Química). Universidade do Sul de Santa Catarina, tubarão-SC, 2018.

MARASCHIN, MANOEL. Espessamento do lodo de esta o de tratamento de  gua: Avalia o da sedimenta o e flota o (2016). Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Santa Maria, RS. jun. 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE -MS (BRASIL, 2017) - Anexo XX da Portaria de Consolida o N  5 (PRT MS/GM 2914/2011). Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (2017), 20 pag.

NASCIMENTO, VALDILEI CAMILO DO.; SOUZA, VINÍCIUS MARQUES MOREIRA DE.; FREITAS, ADIELITON GALVÃO DE.; ANDRADE, IZABEL CRISTINA DE MATOS. Quantifica o e proposta de destina o final do lodo de decantador da Esta o de Tratamento de  gua (ETA) em Itabirito - MG. Revista PETRA v.3, n .1. 2017. Disponível

em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-izabela/index.php/ptr/issue/view/109>.
Acessado em dez. 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Relatório do Programa de Monitoramento Conjunto-2017. Disponível em: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf?ua=1>. Acessado em 28.12.18.

PEREIRA, TICIANA MUNIZ.; GOMES, MARIA HELENA RODRIGUES E PEREIRA.; RENATA DE OLIVEIRA. Estimativa final da produção de lodo em estações de tratamento de água: estudo de caso. João Pessoa-PB, XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE, novembro de 2012.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – PR. 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL. Joinville – SC. set. 2003.

PROSAB, 1999 (REDE COOPERATIVA DE PESQUISA). Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodo de Estações de Tratamento de Água. Reali, Marco Antônio Penalva (Coordenador). 1ª Edição, ABES RJ, 1999.

PROSAB, 2006 (REDE COOPERATIVA DE PESQUISA). Usos Alternativos de Lodos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto. Andreoli, Cleverson V. (Coordenador). 1ª Edição, ABES RJ, 2006.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In Reali, M. A. P. (Coordenador). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240 p.

RIBEIRO, FREDERICO LUIZ DE MATOS. Quantificação e Caracterização Química dos Resíduos da ETA de Itabirito -MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto (MG) UFOP, 2007. 133p.

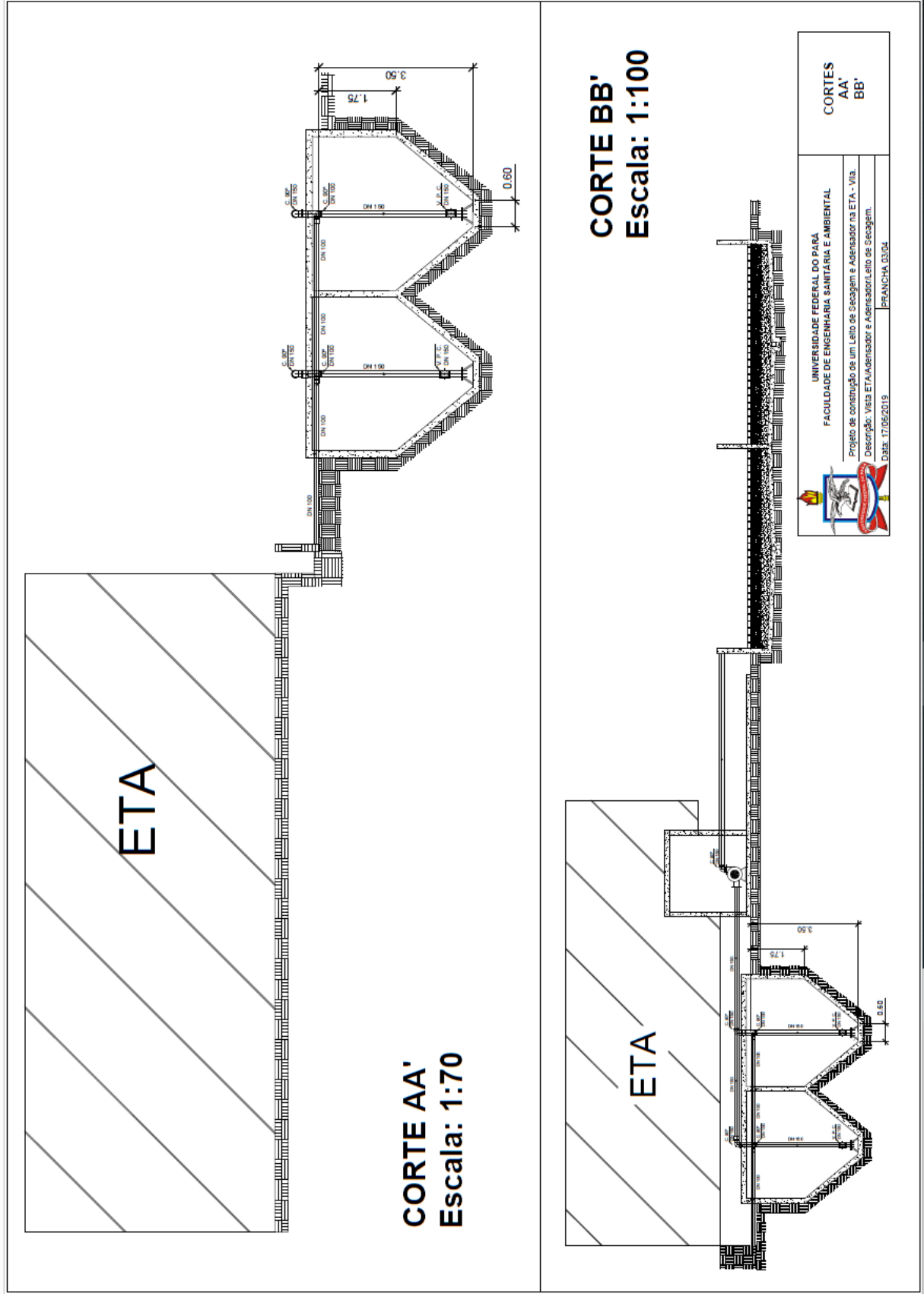
RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. 1 ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 112 p., 2001.

RODRIGUES, FERNANDO NERIS. Caracterização dos Resíduos da Estação de Tratamento de Água da UFLA e Aproveitamento na Confecção de Tijolos de Solo-cimento. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Lavras (MG) UFLA, 2015. 118 p. Serviço de Água e Esgoto de Novo Hamburgo – RS (COMUSA). Tratamento de Água. Disponível em: <http://www.comusa.rs.gov.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em 22.03.2019.

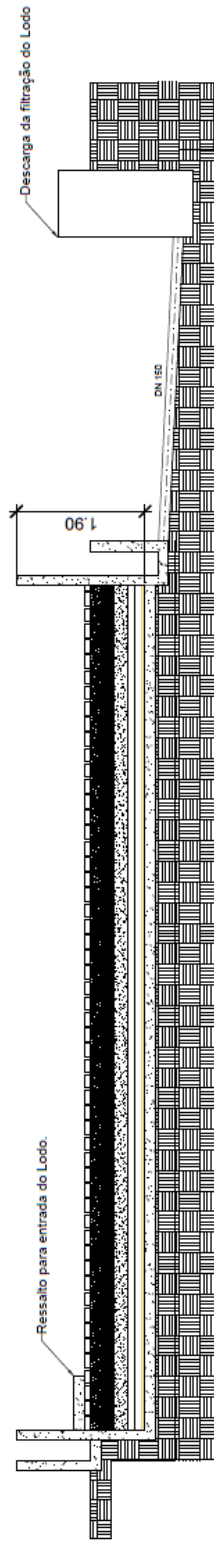
TSUTIYA, MILTON TOMOYUKI.; HIRATA, ANGÉLICA YUMI. I-025 – Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa - Anais... João Pessoa: ABES, 2001. <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-025.pdf>. Acessado em 02 de janeiro de 2019.

APÊNDICES

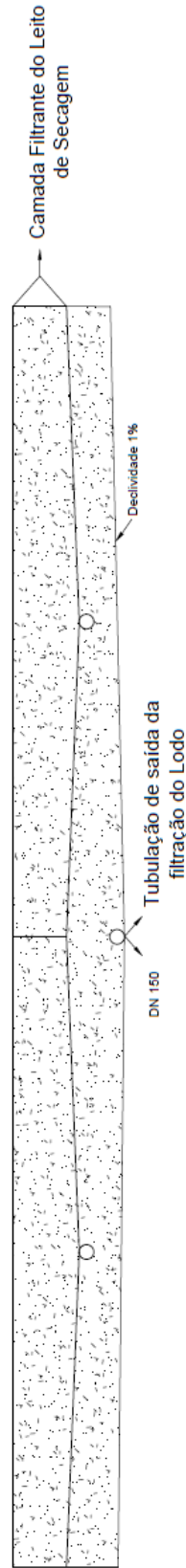
APÊNDICE A – Cortes AA' – BB' _Adensador por gravidade e Leito de Secagem.




APÊNDICE B – Cortes CC' – DD' _Leito de Secagem.



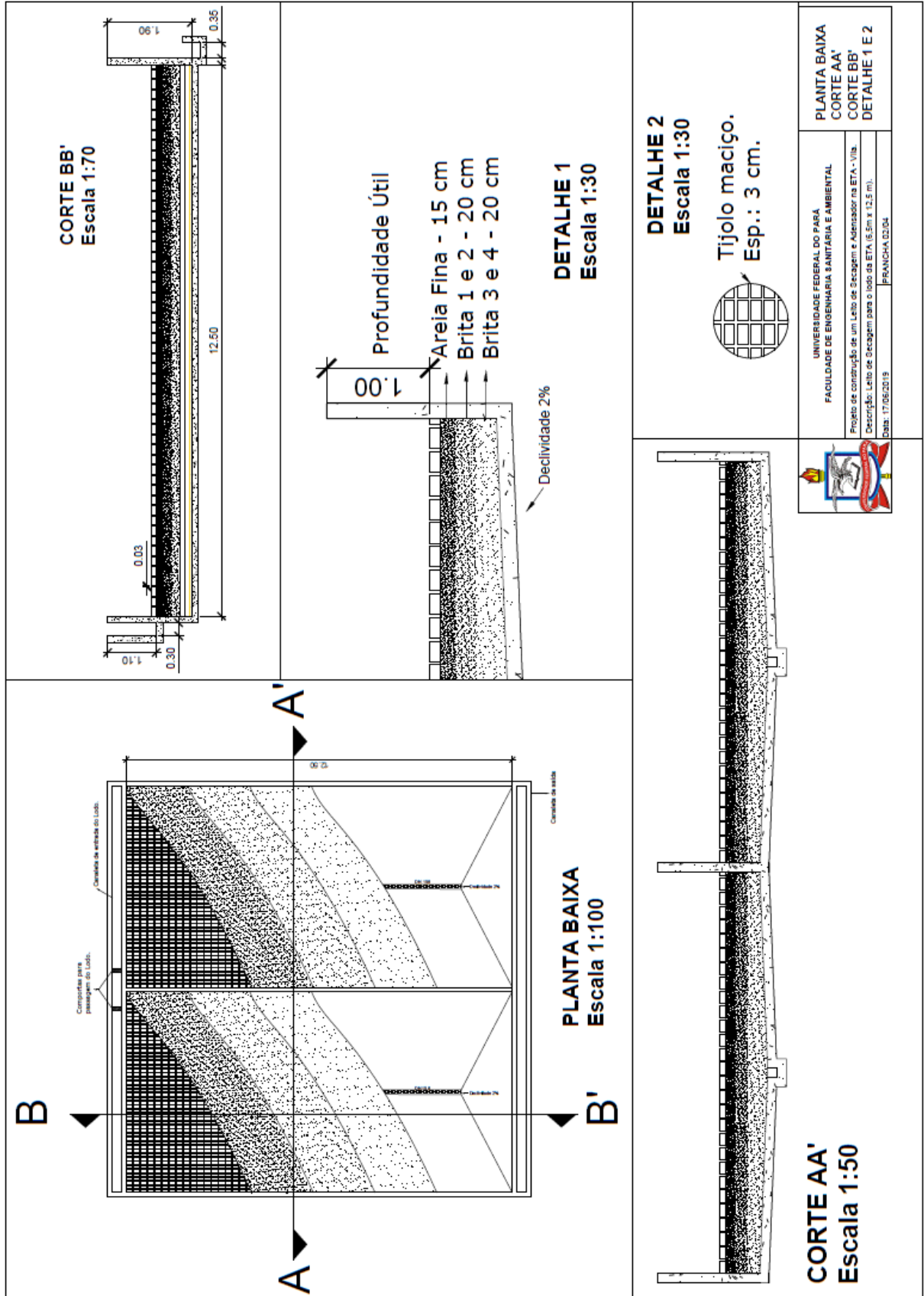
CORTE CC'
Escala: 1:60



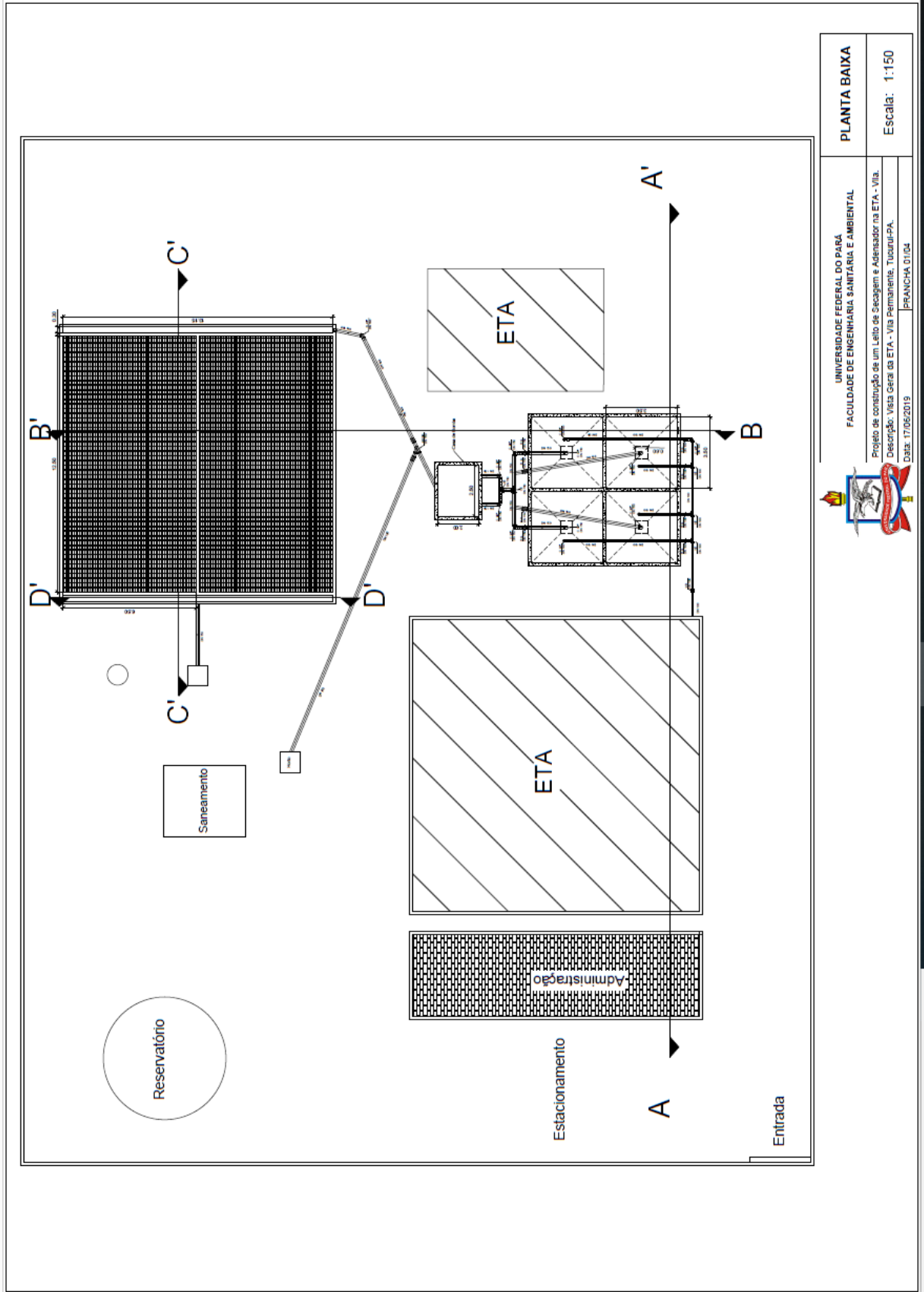
CORTE DD'
Escala: 1:40


	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ	CORTES CC' DD'
	FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL	
Projeto de construção de um Leito de Secagem e Adensador na ETA - Vila.		
Descrição: Leito de Secagem/Canaleta e Perfil da Canaleta.		
Data: 17/06/2019		
PRANCHAS: 04/04		

APÊNDICE C – Planta baixa e cortes AA’ – BB’_Leito de Secagem.



APÊNDICE D – Planta baixa geral



	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL	PLANTA BAIXA
Projeto de construção de um Loteio de Saneamento e Adensador na ETA - Vila Desceção, Vila Geral da ETA - Vila Permanente, Tucuruí-PA.		Escala: 1:150
Data: 17/06/2019		PRANCHA 01/04