



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**LORRANA JORGE FROTA**

**INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE DOSAGENS DE CONDICIONANTE  
QUÍMICO NO DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM TUBOS GEOTÊXTEIS**

**Palmas, TO**

**2022**

**Lorrana Jorge Frota**

**Influência dos diferentes tipos de dosagens de condicionante químico no desaguamento do lodo de ETA em tubos geotêxteis**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Palmas para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental

Orientador (a): Sérgio Carlos Bernardo Queiroz

**Palmas, TO**

**2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- F941i Frota, Lorrana Jorge.  
Influência dos diferentes tipos de dosagens de condicionante químico no desaguamento do lodo de ETA em tubos geotêxteis. / Lorrana Jorge Frota. – Palmas, TO, 2022.  
47 f.  
  
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Ambiental, 2022.  
Orientador: Sérgio Carlos Bernardo Queiroz  
  
1. Resíduos de ETA. 2. Condicionante químico. 3. Tubo Geotêxtil. 4. Desaguamento. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

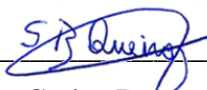
**Lorrana Jorge Frota**

**Influência dos diferentes tipos de dosagens de condicionante químico no desaguamento do lodo de ETA em tubos geotêxteis**

Monografia apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Ambiental foi avaliado para a obtenção do título de bacharel e aprovada (o) em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

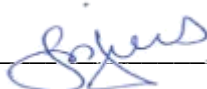
Data de aprovação: 29 / 06 / 2022

Banca Examinadora



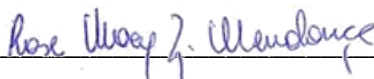
---

Prof. Dr. Sérgio Carlos Bernardo Queiroz, UFT



---

Prof. Me. Sebastião Nolêto Júnior, FACTO



---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Rose Mary Gondim Mendonça, UFT

## RESUMO

Dentre as tecnologias disponíveis para realizar o desaguamento dos resíduos gerados no tratamento de água (RETA), a filtração em tubo geotêxtil combinada a uso de polímeros se tornou uma opção bastante viável, sendo usada em diversas ETAs no Brasil. Entretanto, existem muitas incertezas sobre os parâmetros de projeto que devem ser adotados e sobre qual a combinação de geotêxtil x condicionante químico que otimiza o desaguamento destes resíduos. De modo que presente trabalho, por meio de ensaios de bancada em filtro de geotêxtil, buscou responder questionamentos referentes a influência das dosagens de polímeros no desaguamento em geotêxteis, onde foram testados 6 (seis) tipos de polímeros através de 3 (três) dosagens distintas em um lodo com as mesmas características físico-químicas. Os resultados dos ensaios de bancada mostraram que o uso de polímeros no auxílio do desaguamento do lodo no geotêxtil foi eficiente, reduzindo valores de turbidez nas amostras. O polímero que mostrou o melhor resultado no processo de desaguamento foi o Não Iônico.

**Palavras-chaves:** Estação de tratamento de água. Lodo. Condicionante químico. Desaguamento. Tubo geotêxtil.

## **ABSTRACT**

Among the technologies available to dewater the waste generated in the water treatment (RETA), the filtration in a geotextile tube combined with the use of polymers has become a very viable option, being used in several ETAs in Brazil. However, there are many uncertainties about the project parameters that should be adopted and about which combination of geotextile x chemical conditioner that optimizes the dewatering of these residues. Thus, that work, through bench tests in geotextile filter, sought to answer questions regarding the influence of polymer dosages on dewatering in geotextiles, where 6 (six) types of polymers were tested through 3 (three) distinct dosages in a sludge with the same physical-chemical characteristics. The results of the bench tests showed that the use of polymers to aid the dewatering of sludge in the geotextile was efficient, reducing turbidity values in the samples. The polymer that showed the best result in the dewatering process was Non-Ionic.

**Keywords:** Water treatment station. Sludge. Chemical conditioner. Dewatering. Geotextile tube.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Tecnologias de tratamento de água em função da qualidade da água bruta.....	15
Figura 2 - Estados da água na composição do lodo.....	17
Figura 3 - Tecnologias com remoção hidráulica e mecanizada para tratamento de resíduos de ETA de ciclo completo. ....	19
Figura 4 - Filtro prensa de placas .....	20
Figura 5 - Filtro Prensa de Esteira, Huber SE. ....	20
Figura 6 - Centrífuga .....	21
Figura 7 - Leito de secagem para recebimento de lodo adensado .....	22
Figura 8 - Esquema de lagoa de sedimentação.....	23
Figura 9 - Tubos geotêxteis. ....	24
Figura 10 - Sistema de desaguoamento por tubo geotêxtil.....	24
Figura 11 - Etapas do processo de desaguoamento do lodo .....	25
Figura 12 - Configuração de um sistema de tratamento de resíduo de ETA.....	26
Figura 13 - Exemplos de geossintéticos mais utilizados em obras: (A) geotêxteis, (B) geomembrana, (C) geogrelha, (D) georrede, (E) geocomposto, (F) geomanta e (G) geocélulas .....	27
Figura 14 - Classificação dos geotêxteis .....	27
Figura 15 - Acomodação de partículas que provocam entupimento nos geotêxteis .....	28
Figura 16 - Distribuição da umidade na formação da torta de lodo. ....	29
Figura 17 - Fases da pesquisa.....	31
Figura 18 – Amostras de lodo separadas e homogeneizadas.....	34
Figura 19 – Lodo sendo misturado ao condicionante químico no <i>JarTest</i> .....	34
Figura 20 – Sistema de ensaio de bancada de filtração em tubo geotêxtil .....	35
Figura 21 - Sistema de ensaio de bancada de filtração em tubo geotêxtil.....	35
Figura 22 – Amostras de filtrado coletadas .....	36
Figura 23 - Turbidímetro .....	36
Figura 24 - Resultados de turbidez do filtrado em função das dosagens de polímero .....	38
Figura 25 – Resultados de vazão de desaguoamento para dosagem 1,3 mg Pol/gSST.....	40
Figura 26 - Resultados de vazão de desaguoamento para dosagem 2,17 mg Pol/gSST.....	40
Figura 27 - Resultados de vazão de desaguoamento para dosagem 3,03 mg Pol/gSST.....	41
Figura 28 - Resultado do tempo de desaguoamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 1,3 mg Pol/gSST.....	42
Figura 29 - Resultado do tempo de desaguoamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 2,17 mg Pol/gSST.....	42
Figura 30 - Resultado do tempo de desaguoamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 3,03 mg Pol/gSST.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos sistemas fechados em geotêxtil com base em suas dimensões...	28
Tabela 2 - Relação dos equipamentos necessários .....	31
Tabela 3 - Condicionantes químicos .....	32
Tabela 4 - Parâmetros e unidades de medida .....	32
Tabela 5 – Resultados do Teor de Sólidos do Resíduo de ETA.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ED	Eficiência de desaguamento
EF	Eficiência de filtração
EI	Eficiência de infiltração
ETA	Estação de Tratamento de Água
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
MA	Gramatura
PD	Porcentagem de desaguamento
pH	Potencial Hidrogeniônico
PP	Perda de partículas
PS	Percentual de sólidos
RETA	Resíduos do Tratamento de Água
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1. Estação De Tratamento De Água (Eta)</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2. Resíduo De Estação De Tratamento De Água (Reta)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3. Tecnologias Utilizadas Para O Tratamento De Resíduos De Eta</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3.1. Sistemas Mecanizados Para Desaguamento De Resíduos</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3.1.1. Filtro Prensa De Placas</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3.1.2. Filtro Prensa De Esteira Ou Filtro De Bandas</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3.1.3. Centrífuga</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3.2. Sistemas Naturais Para Desaguamento De Resíduos</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3.2.1. Leito De Secagem</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3.2.2. Lagoa De Secagem</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3.3. Sistema Misto Para Desaguamento De Resíduo Com Uso De Geotêxteis</b> .....	<b>23</b>
<b>3.3.3.1. Fundamentos Da Tecnologia De Geobags</b> .....	<b>24</b>
<b>3.3.3.2. Características E Propriedades Dos Materiais Geossintéticos</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3.3.3. Colmatação Em Geotêxteis</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3.3.4. Desaguamento Através De Tubos Geotêxteis</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3.3.5. Formação Da Torta De Lodo (Filter Cake)</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3.3.6. Condicionantes Químicos Para Auxiliar No Processo De Desaguamento</b> .....	<b>30</b>
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1. Equipamentos, Materiais E Métodos De Análise</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2. Coleta E Caracterização Dos Resíduos Da Eta</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3. Ensaio De Bancada Do Resíduo Da Eta</b> .....	<b>33</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1. Resultados Da Caracterização Do Resíduo De Eta</b> .....	<b>37</b>
<b>5.2. Turbidez Do Filtrado</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3. Vazão De Desaguamento</b> .....	<b>39</b>
<b>5.4. Tempo De Desaguamento</b> .....	<b>41</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>44</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
---	-----------

## 1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de água (ETAs) geram uma grande quantidade de resíduos, independente das tecnologias implantadas. Filtração Direta ou Ciclo completo, estão em destaque como sistemas de tratamento de água para consumo humano no Brasil (ACHON *et al.*, 2013). E cerca de 62,44% dos municípios brasileiros destinam o resíduo de ETA em corpos d'água (SILVA, 2019).

O resíduo gerado no processo de tratamento da água em ETAs, denominado lodo, é oriundo da sedimentação de sólidos nos decantadores e presente na água de lavagem de filtros, e é classificado como resíduo sólido de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). Portanto, deve ser corretamente tratado e descartado em concordância com a legislação ambiental vigente (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

Dentre os impactos que os resíduos de ETAs podem causar em um corpo de água, estão a deterioração da qualidade de água pela adição de sólidos e microrganismos removidos previamente no tratamento de água, redução do volume útil do corpo de água devido ao assoreamento, alterações da biota aquática e possíveis efeitos tóxicos aos seres humanos e animais (ASCE & AWWA, 1996; REALI, 1999; ANDREOLI, 2001; GUIMARÃES *et al.* 2014; DI BERNARDO *et al.*, 2017). E uma outra questão deste resíduo é que ele possui partículas de várias dimensões e baixa concentração de sólidos, o que dificulta a sua disposição (ACHON *et al.*, 2013).

No Brasil os lodos de ETAs são comumente tratados por técnicas convencionais de separação sólido-líquido, que podem ser realizadas por métodos de espessamento de lodo, métodos não mecânicos e métodos mecânicos (GUIMARÃES *et al.* 2014; REALI 1999; USEPA 2011). A etapa de adensamento possibilita a obtenção de um resíduo com concentração de sólidos de até 5%, no entanto, esta concentração não é ideal para a disposição final do resíduo. Neste sentido, a concepção de um sistema de desidratação do resíduo é importante para se reduzir de forma considerável a quantidade de água (FERREIRA FILHO, 2017).

Existem diversas formas de desidratação dos resíduos, uma alternativa entre elas é o método de filtração por tecido geotêxtil (DI BERNARDO *et al.*, 2017). Moo-Young e Tucker (2002) citam que tanto os engenheiros quanto os pesquisadores descobriram que os materiais de conteúdo de alto teor de água pode ser desidratados com o uso de tubos geotêxteis. Que de acordo com SILVA (2019) trata-se de uma solução eficiente e viável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Visto que são sistemas fechados que proporcionam o desaguamento da porção líquida clarificada e a retenção da porção sólida do efluente.

Os tubos geotêxteis são construídos a partir de costuras de folhas de tecido geotêxtil que são capazes de encapsular e reter uma quantidade relativamente grande de material saturado (MOO-YOUNG e TUCKER, 2002). Em resumo, a técnica consiste em eliminar o excesso de água do resíduo, por meio da drenagem do líquido pelos pequenos poros do geotêxtil, acontecendo desaguamento progressivo e redução do volume original. Quando concluído o processo de desidratação, o tubo é aberto e o material sólido é removido e descartado (FOWLER *et al.*, 1997; MOO-YOUNG *et al.*, 2002; MUTHUKUMARAN e ILAMPARUTHI, 2006).

Um fator importante a ser considerado no desaguamento em tubo geotêxtil é a influência do uso do condicionamento químico no processo final na qualidade do efluente (SILVA, 2019). Satyamurthy e Bhatia (2009) relatam que a introdução de produtos químicos pode, por exemplo, melhorar a qualidade do filtrado e diminuir a resistência à filtração. Dependendo das características físico-químicas do resíduo, o condicionamento químico pode ser um polímero catiônico, aniônico e não-iônico (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

No geral, a adição de polímeros sintéticos diminui a resistência específica à filtração através da aglomeração de partículas sólidas, permitindo a remoção de um volume maior de líquido em um período mais curto (REALI, 1999).

Dentro desse contexto este trabalho busca a compreensão do comportamento dos condicionantes químicos em diferentes dosagens no desaguamento em tubos geotêxteis de lodo gerado em uma estação de tratamento de água.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a influência dos diferentes tipos de dosagens do condicionante químico no desaguamento do logo gerado em uma estação de tratamento de água em tubos geotêxteis em escala de bancada.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Avaliar a eficiência do desaguamento dos tubos geotêxteis por meio de ensaios a nível de bancada, através da turbidez e volume filtrado;
- Avaliar a importância dos condicionantes químicos polímeros sintéticos catiônico, não-iônico, aniônico no desaguamento em tubo geotêxtil.

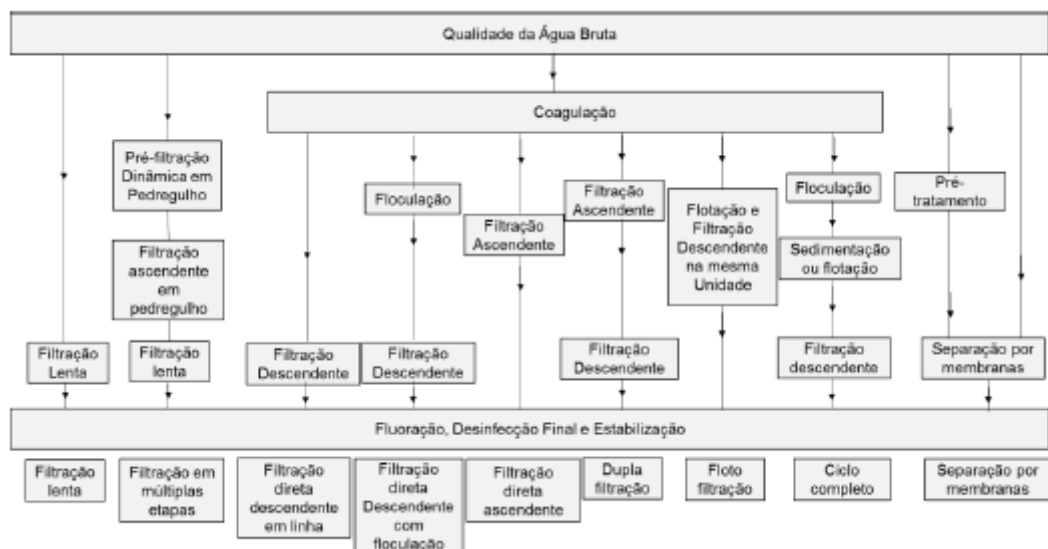
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Estação De Tratamento De Água (ETA)

A água é um bem de domínio público que deve ser usada prioritariamente para o consumo humano e dessedentação de animais (BRASIL, 1997). Para atender os padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria GM/MS n° 888/2021 e não oferecer riscos à saúde humana, a água bruta deve passar por uma série de processos de purificação. A Estação de Tratamento de Água (ETA) é a unidade responsável por garantir o atendimento dessas exigências e fornecer água com qualidade e em quantidade adequada para consumo (ALMEIDA, et al., 2017).

A seleção de um processo adequado para o tratamento de uma determinada água deve ser baseada na natureza da água bruta (com a caracterização físico-química e microbiológica), em ensaios de tratabilidade, na qualidade desejada para a água tratada (em atendimento a Portaria N° 888/21 do Ministério da Saúde), na segurança do processo, na viabilidade de construção, na existência de equipamentos adequados, na exequibilidade de operação e manutenção do sistema implantado (RICHTER, 2009).

Figura 1 - Tecnologias de tratamento de água em função da qualidade da água bruta



Fonte: Ardila, 2020 (adaptado de GUIMARÃES, 2007; DI BERNARDO et al., 2017).

De acordo com Achon et al. (2013), a maior parte das estações de tratamento de água existentes no Brasil, cerca de 7.500 unidades instaladas, utilizam a tecnologia de tratamento de ciclo completo, composto pelos processos unitários de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração rápida e desinfecção.

A tecnologia de tratamento de água conhecida como sistema convencional ou de ciclo completo é associada ao maior consumo de produtos químicos para coagulação, se comparada

a outras configurações de ETAs, sendo responsável pela geração de um maior volume de resíduos, compostos por flocos constituídos por partículas (orgânicas e inorgânicas) sólidas ou coloidais, precipitados químicos e microrganismos com características densa e viscosa, os quais são denominados por lodo de estação de tratamento de água (SOBRINHO et al., 2019).

Segundo Di Bernardo et al. (2017), em ETAs de ciclo completo observa-se a dificuldade no tratamento de águas com turbidez e cor verdadeira relativamente baixas, daí a necessidade de utilizar novas tecnologias para esse tipo de água e o surgimento de estações de tratamento com filtração direta.

As vantagens dos sistemas de filtração direta podem ser observadas na redução das dimensões das estações de tratamento, com a eliminação das etapas de floculação e decantação, redução na quantidade de coagulante, em função do mecanismo de coagulação das partículas, produção de menor volume e massa de lodo seco, dentre outros (DI BERNARDO et al., 2017).

Observa-se que independente da tecnologia adotada, obrigatoriamente se tem a formação de lodo dentro das ETAs e quando lançado *in natura* no meio ambiente, esse resíduo pode desencadear diversos impactos no corpo receptor, dentre eles está a redução da luminosidade do meio líquido, a limitação ou impedimento do uso do corpo receptor como fonte de dessedentação de animais ou como manancial de abastecimento, o aumento da concentração de metais tóxicos, organismos patogênicos e compostos orgânicos (DI BERNARDO et al., 2012), além de efeitos negativos na biota (BARBOSA, 2000).

Diante do exposto, a descarga desses resíduos sem o devido tratamento nos corpos hídricos ou em aterros sanitários não é considerada uma opção de descarte sustentável (AHMAD, et al., 2016), além de colocar em risco a população que faz usos desses mananciais em áreas urbanas e na zona rural para irrigação, dessedentação animal e outras finalidades de forma inadvertida (DI BERNARDO, et al., 2017).

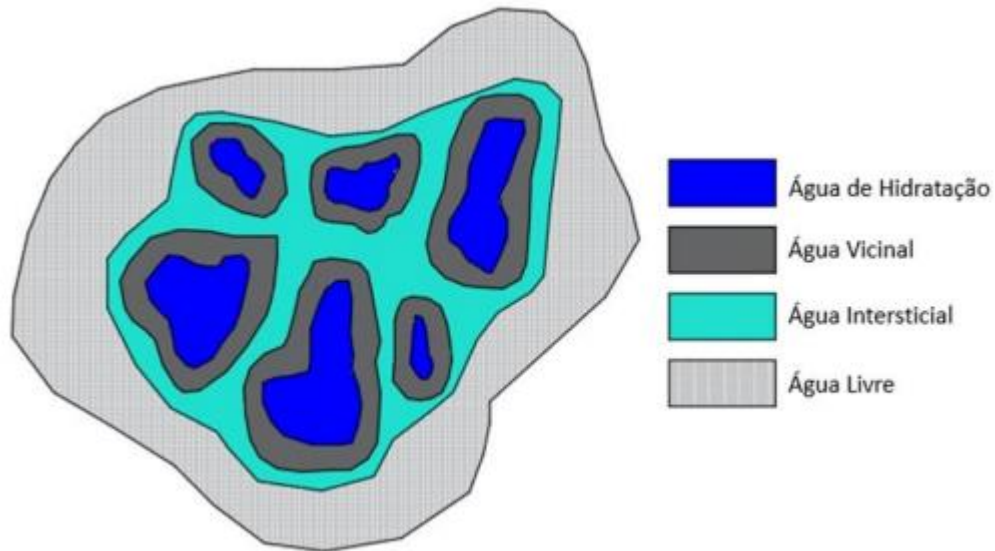
### **3.2. Resíduo De Estação De Tratamento De Água (Reta)**

O resíduo sólido resultante do processo de clarificação da água dentro das ETAs é de difícil manejo e disposição final (ACHON, et al., 2013), visto que a composição do lodo gerado depende das características da água bruta em função dos elementos e microrganismos presentes, da capacidade da ETA, dos produtos químicos utilizados no processo de tratamento e do tipo de tecnologia adotada (DI BERNARDO, et al., 2017).

O volume de água presente no lodo apresenta diferentes estados na composição do floco e estes influenciam na separação das fases, de acordo com Smoller et al. (1994), são

quatro estados: água livre, partículas não estão associadas aos sólidos, água intersticial ou capilar que está retida nos interstícios dos flocos, água vicinal onde através dos pontos de hidrogênio a água encontra-se presa na superfície das partículas e água de hidratação em que há uma ligação química na qual a partícula está ligada a fração sólida. Os quatro estados podem ser identificados através da Figura 2.

Figura 2 - Estados da água na composição do lodo



Fonte: Queiroz, 2019 (adaptado de Reali, 1999; SMOLLEN et. al., 1994).

As características dos coagulantes usados durante o tratamento da água exercem efeitos consideráveis sobre a composição e estrutura molecular do lodo (OOI et al., 2018). De acordo com a difração de raios-x realizada (OOI, et al. 2018) no lodo de uma ETA que utiliza sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3$ ) como coagulante apresenta majoritariamente silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe), juntamente com minerais como caulim ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e moscovite ( $\text{KA}_2[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}[\text{OH}]_2$ ).

O lodo gerado em estações de tratamento de água, independente da tecnologia adotada na planta e os insumos utilizados no tratamento é considerado resíduo sólido de acordo com a Lei 12.305/2010 que é a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, portanto sua destinação deve estar em consonância com as diretrizes determinadas para destinação e disposição final ambientalmente adequada.

O gerenciamento dos resíduos deve ser realizado considerando a classificação segundo a ABNT NBR 10.004/2004, visando a minimização ou eliminação de passivos ambientais da fonte geradora, levando em consideração que:

“O lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d’água, além de outros usos

que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público (BRASIL, 1997a).”

O lançamento de resíduos gerados em ETAs nos corpos hídricos sem a autorização do órgão ambiental fiscalizador pode ser configurado como crime ambiental em função dos efeitos diretos causados no ambiente do corpo receptor, provocando danos à fauna aquática, contaminação do solo e da água, de acordo com o artigo 54 da Lei 9.605/98. (BRASIL, 1998).

Atualmente o crescimento populacional e a expansão industrial requerem maiores demandas de volume de água para consumo, tendo por consequência a intensificação da carga poluidora dos efluentes lançados em corpos receptores (LEE, KIM e YOO, 2018). Tais cursos d'água são utilizados à jusante como fontes de abastecimento e necessitam de maiores doses de coagulantes durante o processo de coagulação do tratamento da água bruta a fim de remover os poluentes e a carga orgânica presentes no líquido, ocasionando assim o aumento da quantidade de lodo gerado (LEE, et al, 2018).

### **3.3. Tecnologias Utilizadas Para o Tratamento De Resíduos De ETA**

Para a escolha da tecnologia de tratamento do lodo deve-se verificar as condições operacionais da estação, características do lodo (FONTANA, 2004), disponibilidade de área e o clima local (SILVA, 2019).

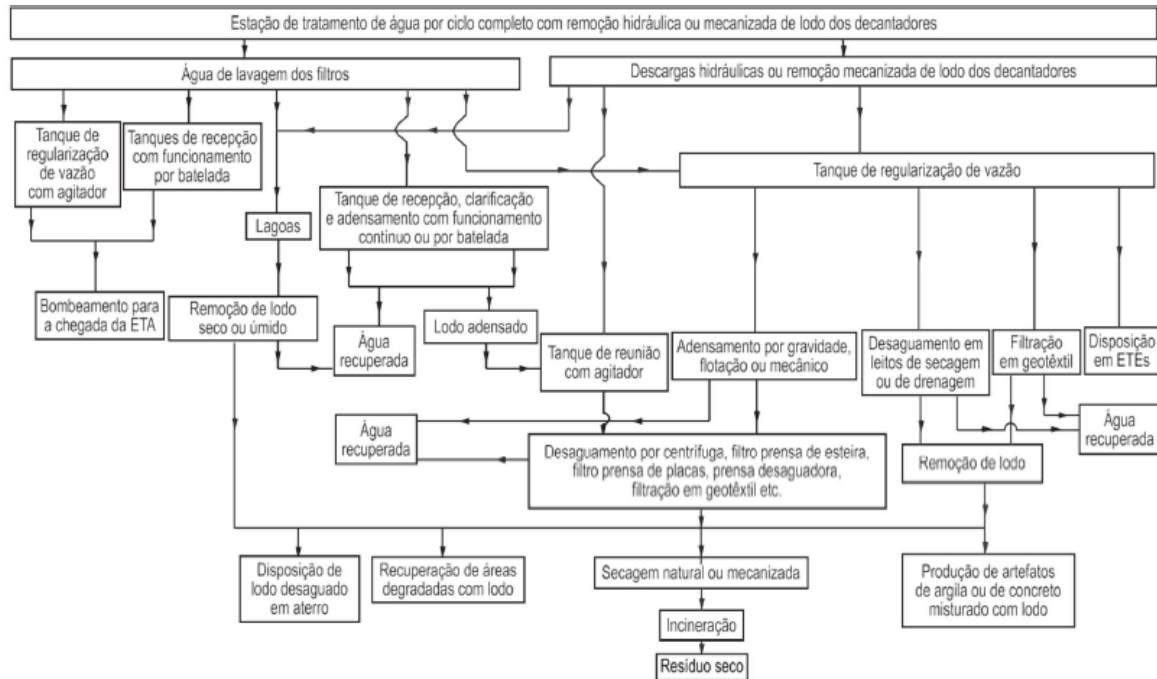
Outro ponto relevante na escolha do sistema de tratamento adequado para ser utilizado no tratamento do resíduo é o ensaio de tratabilidade no caso de projetos de ETAs novas e levantamentos qualitativos e quantitativos para sistemas existentes (DI BERNARDO et al., 2017) com o intuito de minimizar os impactos gerados pelo descarte do lodo (WAKEMAN, 2007).

Independente da tecnologia a ser adotada deve-se considerar a etapa de adensamento como uma operação unitária essencial para o tratamento do lodo (SILVA, 2019). Os equipamentos de desaguamento mecânico disponíveis no mercado orientam que para o funcionamento adequado de suas tecnologias o teor de sólidos no resíduo a ser tratado deve estar na faixa de 20 a 32g/L de Sólidos Suspensos Totais, representando um teor de sólidos de 2% em massa/massa. (FERREIRA et al., 1998).

O adensamento consiste na maior remoção possível da água livre que antecede o desaguamento final, em que usualmente se realiza por meio de decantação ou flotação para produção de um resíduo concentrado e conseqüente redução de volume de água (RICHTER, 2001).

A Figura 3 apresenta as tecnologias com remoção hidráulica e mecanizada que podem ser utilizadas no tratamento de resíduos, considerando uma estação de ciclo completo, onde a geração de lodo ocorre nas etapas de decantação e filtração.

Figura 3 - Tecnologias com remoção hidráulica e mecanizada para tratamento de resíduos de ETA de ciclo completo.



Fonte: Silva, 2019 (adaptado de Di Bernardo, et. al., 2012).

Para Richter (2021), dentre a variedade de equipamentos para desaguamento de sólidos com uso de tecnologia mecanizada, em ordem crescente de custo podem ser citadas a prensada desaguadora, centrífuga, filtro prensa e filtro rotativo a vácuo. Geralmente são sistemas implantados em estações com indisponibilidade de área ou em plantas que buscam um processo com remoção de maiores concentrações de sólidos, segundo Libânio (2016).

De acordo com o fluxograma apresentado na Figura 3, segue abaixo o detalhamento das tecnologias indicadas para o desaguamento dos resíduos sólidos gerados nas etapas de decantação e filtração em estações de tratamento de água.

### 3.3.1. Sistemas Mecanizados Para Desaguamento De Resíduos

#### 3.3.1.1. Filtro Prensa De Placas

A tecnologia de desaguamento de lodo por meio do filtro prensa é caracterizada por utilizar a filtração por pressão para a desidratação do lodo de placas (Figura 4) e consiste no bombeamento do lodo em direção as placas filtrantes, onde ocorre a compressão do substrato semissólido a fim de reduzir seu teor de umidade (WAKEMAN, 2007). O resultado desse

procedimento é uma torta com teor de sólidos maiores do que os resultantes dos filtros de correia e centrífugas (PIEPER, 2008).

Figura 4 - Filtro prensa de placas



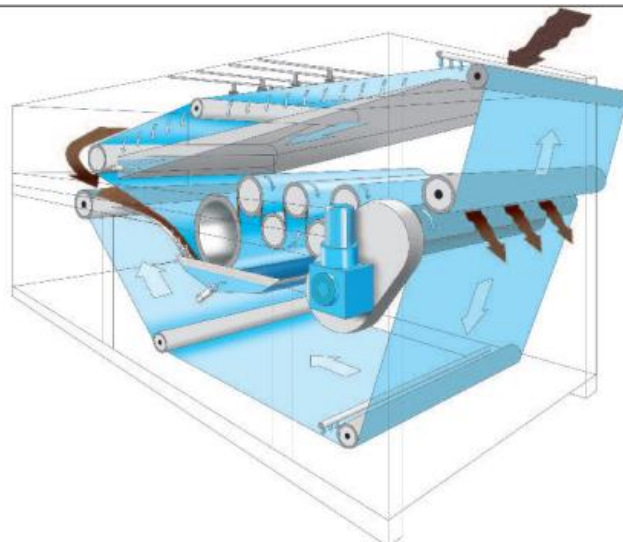
Fonte: Wakeman, 2007.

De acordo com Richter (2001), o filtro prensa quando utilizado para desidratação de lodo que apresenta partículas finas possibilita a produção de uma torta com teor de sólidos entre 40 e 50% em termos mássicos, com uma taxa de captura de até 98%.

#### 3.3.1.2. *Filtro Prensa De Esteira Ou Filtro De Bandas*

Trata-se de uma tecnologia de desaguamento mecanizado, que pode receber o lodo de forma contínua operando com esteiras filtrantes (MULLER, 2018). O lodo a ser desaguado entra em uma câmara onde recebe a mistura polimérica, para auxiliar no desaguamento, e segue por uma esteira porosa onde ocorre a drenagem da água livre. Após a passagem pela zona de drenagem o lodo é direcionado para zona de compressão, onde ocorre a filtração forçada do resíduo que é comprimido pelas esteiras filtrantes com rolos tratores (REALI, 1999; TUROVSKIY et al., 2006), conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Filtro Prensa de Esteira, Huber SE.



Fonte: Autor, 2022.

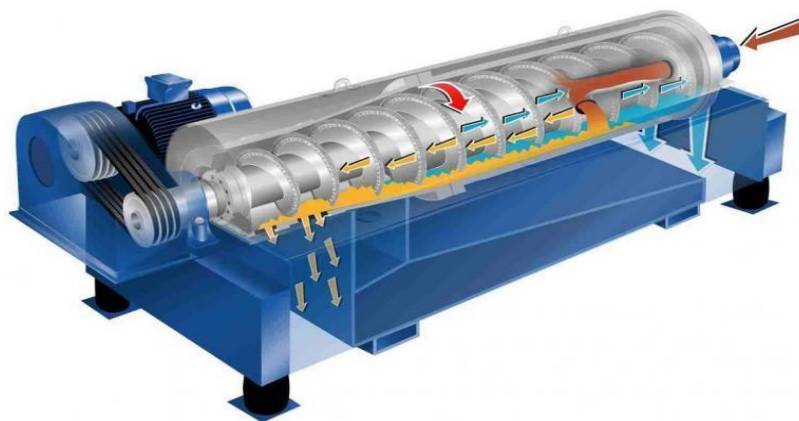
De acordo com Di Bernardo et al. (2011), a recomendação para uso dessa tecnologia é que o teor de sólidos suspensos presente no lodo afluyente seja na faixa de 3 a 6% (massa/massa) e o equipamento apresenta capacidade de desaguar 80 a 120 Kg SST/h por metro de largura da esteira, obtendo como resultado uma torta com concentração de SST entre 15 e 20% (massa/massa). Para Muller (2018), a etapa de polimerização é determinante na produção de um clarificado com melhor qualidade, com consumo de polímero na faixa de 1,5 a 3,0 g pol./Kg SST (DI BERNARDO et al., 2011).

### 3.3.1.3. Centrífuga

Com o mesmo princípio da sedimentação, em que depende da força gravitacional para promover a separação sólido/líquido por diferença de densidade, as centrífugas utilizam a aceleração radial por meio da força centrífuga na ordem de 500 à 4000 vezes superior a força da gravidade para separar a mistura (RICHTER, 2001).

Nas centrífugas o lodo adensado é conduzido para um tanque de armazenamento, onde é mantido sob agitação enquanto parte de seu volume é bombeado para câmara de centrifugação. No interior da câmara os sólidos da mistura serão projetados através da aceleração da força centrífuga (G) onde serão arrastados, através de uma rosca transportadora até uma das extremidades. Nessa etapa, o sedimento é descarregado, enquanto a porção líquida é levada a outra extremidade, conforme Figura 6 (DI BERNARDO et. al., 2011).

Figura 6 - Centrífuga



Fonte: Autor, 2022.

De acordo com Richter (2001), a eficiência na separação sólido-líquido em centrífugas se deve a velocidade diferencial ou relativa, caracterizada como a velocidade entre a rosca infinita e o tambor rotativo e deve variar na faixa de 2 e 20 rpm.

Em velocidade diferencial mais baixa é possível produzir torta mais seca, com maior acúmulo de sólidos no cone, já para velocidades mais altas a tendência é produzir turbulência impactando na qualidade do efluente clarificado (OLIVEIRA, 2010).

### 3.3.2. Sistemas Naturais Para Desaguamento De Resíduos

#### 3.3.2.1. *Leito de Secagem*

Desde o início do século XX é uma solução de desaguamento natural com a separação sólido/líquido por meio de drenagem (processo rápido) e evaporação (processo lento e contínuo) da água livre presente no lodo oriundo do processo de clarificação da água nas ETAs (Figura 7) (MULLER, 2018). Trata-se de uma técnica que requer grande disponibilidade de área, visto que quanto menor a altura da camada de lodo, mais fácil será o processo de desidratação (REALI, 1999) e condições climáticas favoráveis (SANTOS et al., 2021).

Figura 7 - Leito de secagem para recebimento de lodo adensado



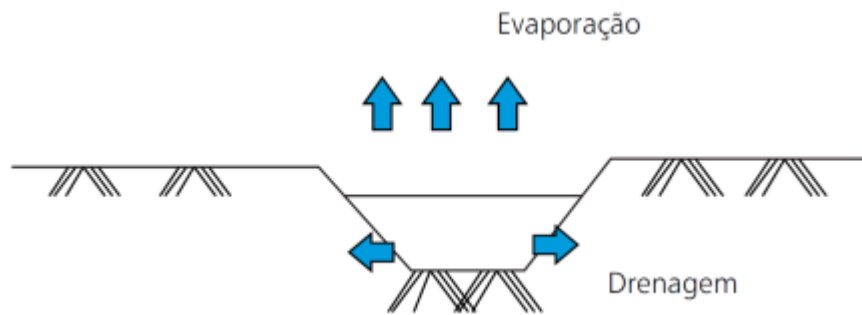
Fonte: Autor, 2022.

#### 3.3.2.2. *Lagoa de Secagem*

A lagoa de secagem é um dos métodos de desaguamento de lodo mais antigos e que ainda é muito utilizado dentro das estações de tratamento de água. Trata-se de uma técnica em que a evaporação é a principal forma de saída da água livre e a drenagem ocorre de maneira branda ou inexistente (REALI, 1999), conforme demonstrado na Figura 8.

Essa técnica de separação é classificada como uma solução de desaguamento natural sem drenagem com sedimentação das partículas em suspensão e evaporação da água livre (BOULLOZA et al., 2017) e está sujeita ao intemperismo da região onde está instalada (MULLER, 2018), sendo a insolação, temperatura e umidade do ar fatores determinantes para seu bom funcionamento.

Figura 8 - Esquema de lagoa de sedimentação



Fonte: Muller (2018 adaptado de Reali, 1999).

### 3.3.3. Sistema Misto para desaguamento de resíduo com uso de geotêxteis

Por décadas, conforme relatos de Grzela (2011), o desaguamento de resíduos foi realizado com uso de técnicas como lagoas, filtros prensa e centrífugas. Tecnologias com limitações como tempo de desidratação, capacidade de drenagem e altos custos, o que para Silva (2019) abriu oportunidades para novos processos com alta capacidade de drenagem e baixa manutenção.

O uso dos sistemas de confinamento de resíduos com uso de tubos geotêxteis foi iniciado ao final dos anos 90 em processos de desaguamento de material contaminado em Porto de Oakland, no estado da Califórnia, Estados Unidos da América (FOWLER et al., 1996). Na operação do sistema, o material de dragagem que estava contaminado foi bombeado hidráulicamente para um tubo geotêxtil permeável, possibilitando a drenagem da água livre com redução do volume inicial do resíduo entre 40 e 65% e posterior disposição final da porção desidratada em aterro sanitário (SILVA, 2019).

O uso de tubos geotêxteis tem sido uma tecnologia bastante empregada nos últimos anos para sistemas de desaguamento de lodo em função de seu baixo custo de implantação e sua eficiência na separação sólido-líquido (BHATIA, 2009) e podem ser confeccionadas de acordo com a escala de operação desejada (LAWSON, 2008).

Para os autores Fowler et al. (1995) e Avancini (2017), os tubos geotêxteis apresentam vantagens perante outras tecnologias em função da sua facilidade de instalação, relação de viabilidade para custo-benefício, confiabilidade, baixo custo operacional sem demanda de mão de obra contínua para operar o sistema, alta capacidade de retenção de sólidos e contaminantes, desaguamento de clarificado com baixo impacto ambiental (SILVA, 2019).

A aplicabilidade das contenções geotêxteis no domínio ambiental possibilitam o desaguamento controlado do lodo e de sedimentos contaminados, o que permite a redução

substantial de seus volumes e torna-os gerenciáveis para o descarte final adequado (LAWSON, 2008).

Figura 9 - Tubos geotêxteis.



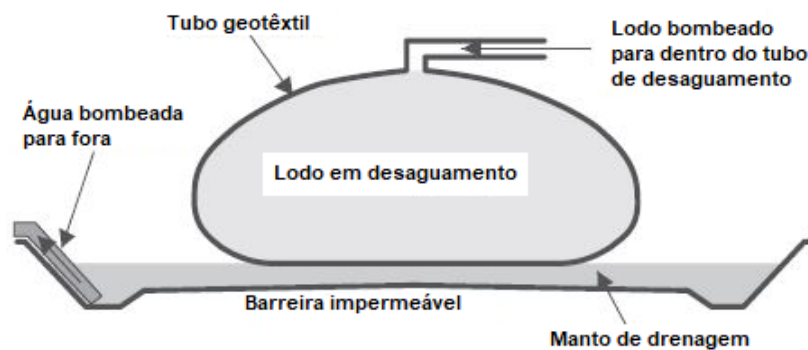
Fonte: Adaptado de Lawson (2008).

### 3.3.3.1. Fundamentos da Tecnologia de Geobags

O sistema de desaguamento por tubos geotêxteis (Figura 10) é composto basicamente por um tubo geotêxtil instalado sobre um solo impermeabilizado e preenchido com substrato para a drenagem, onde a água livre desaguada através dos poros do bag é bombeada para fora da barreira impermeável e o lodo desidratado permanece dentro do tubo ou é encaminhado para sua destinação final (LAWSON, 2008).

Na confecção do substrato de drenagem ou berço drenante deve ser considerado que esta área possua um sistema de revestimento que assegure uma rápida percolação do efluente desaguado (IGSBR 004, 2014).

Figura 10 - Sistema de desaguamento por tubo geotêxtil.



Fonte: Adaptado de Lawson, 2008.

De acordo com Queiroz (2019), o processo de desaguamento de lodo em sistemas com geobags envolve três fases: enchimento, desaguamento e consolidação, demonstrado na Figura 11. Na etapa de enchimento o lodo adensado é bombeado através de bombas centrífugas para o interior da bolsa geotêxtil e em seu processo de transporte recebe um auxiliador para o desaguamento, o polímero, e se inicia o desaguamento; onde a água livre é drenada através dos poros do tubo.

No desaguamento o volume drenado pode ser bombeado para retornar à estação de tratamento de água, juntamente com a água bruta, processo conhecido como recirculação, devendo atender padrões, por exemplo, máximo de turbidez de 5 uT, ou pode ser descartada no meio ambiente, caso esteja suficientemente tratada, com máximo de 100 uT (LAWSON, 2008).

A terceira etapa, descrita por Queiroz (2019), denominada como consolidação se dá pela dessecação com a saída do vapor d'água pelo tecido, sendo influenciada pela quantidade de sólidos no resíduo e a capacidade de armazenamento do geotêxtil (KOERNER et al., 2006), de modo que a dissipação da água é de forma lenta e requer entre 2 e 4 meses para alcançar o teor de sólidos desejado, dependendo do material que estará em desaguamento e o tipo e dosagem de polímero (LAWSON, 2008).

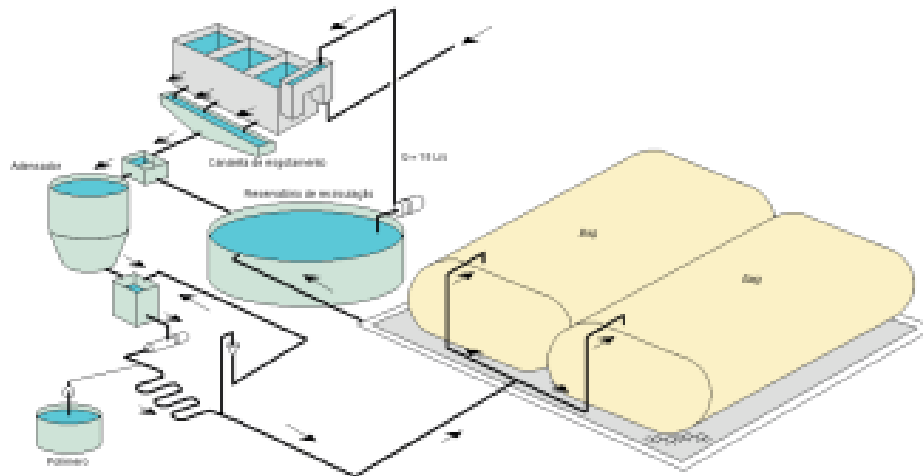
Figura 11 - Etapas do processo de desaguamento do lodo



Fonte: Autor, 2022.

O sistema de desaguamento por geotêxteis geralmente inclui combinações de equipamentos de bombeamento e tubulações (LAWSON, 2008), tecido geossintético composto por fibras monofilamentares ou multifilamentares de polipropileno, poliéster (MOO-YOUNG, GAFFNAY e MO, 2002) ou outros materiais sintéticos. Além de instalações de mistura de aditivos aceleradores e instalações específicas para descarte do fluxo final de resíduo desidratado (LAWSON, 2008). Na Figura 12 é possível observar a configuração de uma unidade de tratamento de resíduo com uso de geotêxteis.

Figura 12 - Configuração de um sistema de tratamento de resíduo de ETA.



Fonte: Vianna, 2007.

Em um experimento realizado em laboratório por Moo-Young, Gaffnay e Mo (2002), foi analisada a relação entre a retenção de sólidos e a permeabilidade da parte líquida em tubos geotêxteis para avaliar a eficiência de filtração e de desaguamento.

Para tal, utilizou-se cinco tipos de materiais com alto teor de água (sedimento contaminado de lago de granulometria fina [GGB], dois tipos de lodo provenientes de fábricas de papel e celulose [PS e TWM] e dois tipos de sedimento portuário [CALWC e CAHWC]) e quatro tipos diferentes de tecido geossintético (Geotex® 44T, 46T, 1016T e 1212T) submetidos a duas pressões de filtração distintas, 34,5 kPa (pressão semelhante as condições reais do meio ao preencher o tubo) e 69,0 KPa (pressão mais alta representando o desaguamento em um tubo durante um longo período de tempo).

Como resultado, Moo-Young, Gaffnay e Mo (2002) observaram que a pressão de filtração mais elevada tem pouco influência sobre a eficiência de filtração, o que, de acordo com estes autores, indica que a pressão não é um fator de controle para a retenção de partículas finas. Já a eficiência de desaguamento, para o mesmo material sob a mesma pressão de filtração, pode variar conforme o material geotêxtil usado, dependendo da propriedade hidráulica deles. Outra constatação é que a pressão de filtração mostrou ter alguns efeitos sobre a eficiência de desaguamento.

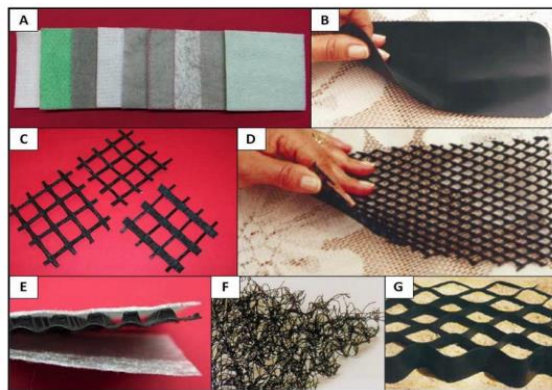
Portanto, pressões de filtração elevadas, em sistemas de desaguamento através de tubos geotêxteis, podem provocar um desaguamento mais rápido, no entanto não ajuda a alcançar um percentual final maior de sólidos (MOO-YOUNG, GAFFNAY e MO, 2002).

### 3.3.3.2. Características e propriedades dos materiais geossintéticos

De acordo com a ISO 13434 (2008), os materiais geossintéticos são descritos como alternativa tecnológica, em especial nos âmbitos geotécnicos de materiais versáteis, com diversas possibilidades de aplicação em substituição, parcial ou total, de recursos naturais como cascalho, areia e argila (SHUKLA et al., 2006).

O material pode ser apresentado na forma de manta, tira ou estrutura tridimensional fabricado a partir de material polimérico (natural ou sintético) de modo que na fabricação se determina a estrutura do geotêxtil, de acordo com a ABNT NBR ISO 10318-1 (ABNT, 2018) e a ASTM D4439 (ASTM, 2018).

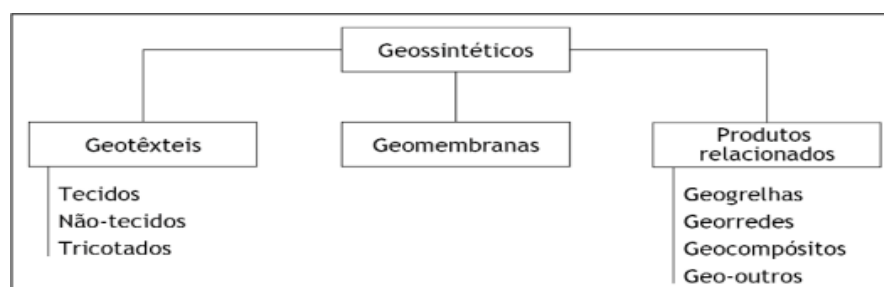
Figura 13 - Exemplos de geossintéticos mais utilizados em obras: (A) geotêxteis, (B) geomembrana, (C) geogrelha, (D) georrede, (E) geocomposto, (F) geomanta e (G) geocélulas



Fonte: Milagres (2016, Adaptado de Vertematti, 2003; Carneiro, 2009)

Baseado no processo de fabricação, os geotêxteis são classificados como tecido, não tecido ou tricotado (SILVA, 2019), conforme a Figura 14. Para o geotêxtil tecido observa-se um arranjo de fios ordenados, entrelaçados em duas direções, confeccionados através do processo de tecelagem. Já para o geotêxtil não tecido ocorre a distribuição aleatória de fibras (monofilamentos constituídos ou cortados) sem direções preferenciais, com interligação das fibras através de processos que envolvem ação mecânica (agulhagem), térmica ou química (CASTRO, 2005b).

Figura 14 - Classificação dos geotêxteis



Fonte: Milagres, 2016 (Adaptado de Carneiro, 2009).

Segundo a norma técnica GRI Test Method GT15 (GRI, 2009), os sistemas fechados fabricados em geotêxteis podem ser classificados de acordo com suas dimensões, conforme o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos sistemas fechados em geotêxtil com base em suas dimensões

Nomenclatura	Perímetro (m)	Comprimento (m)
Bolsa em geotêxtil	0,2 a 2,0	0,3 a 0,7
Container em geotêxtil	0,5 a 10,0	5,0 a 30,0
Tubo em geotêxtil	5,0 a 30,0	15,0 a 100,0

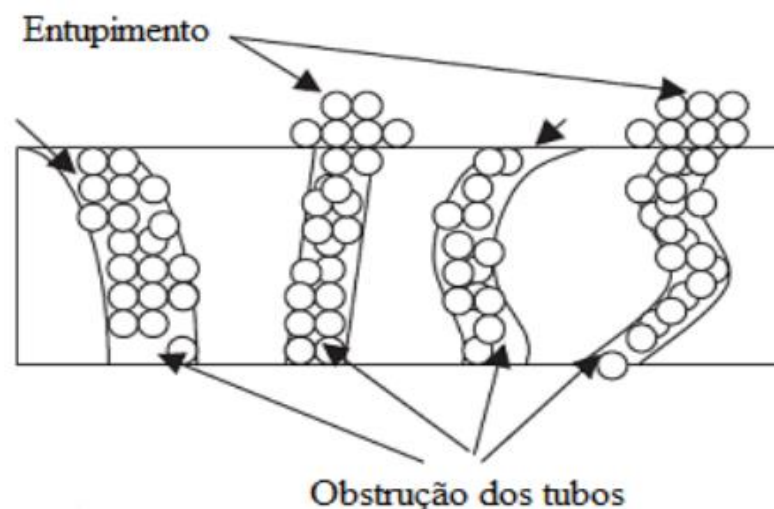
Fonte: Gri, 2009.

### 3.3.3.3. Colmatação em geotêxteis

Colmatação é um parâmetro definido como a perda de carga hidráulica do geossintético em função da obstrução física dos poros, de modo que o fluxo residual está abaixo do que foi projetado para o sistema drenante (SANSONE et al., 1992).

A colmatação física se dá na interface sólido – filtro, demonstrado através da Figura 15, onde a partícula fina se desloca sendo carregada pela água, sendo esta condição um dos maiores problemas em se utilizar os geotêxteis em sistemas de filtração e drenagem (ORTIZ, 2012).

Figura 15 - Acomodação de partículas que provocam entupimento nos geotêxteis



Fonte: Ortiz, 2010 (adaptado de FAURE et. al., 2006)

A resistência a colmatação é um critério que deve ser avaliado para escolha de um geotêxtil com objetivo de assegurar o fluxo no interior da estrutura durante sua vida de serviço dentro do sistema na qual encontra-se em operação. É através desse ensaio que se observa as restrições quanto as aberturas de menor dimensão ou porosidade mínima, visto que

critérios de retenção e permeabilidade avaliam as condições das maiores aberturas (AVANCINI, 2017).

#### 3.3.3.4. Desaguamento através de tubos geotêxteis

Para o desaguamento de resíduos finos, os geossintéticos utilizados com frequência são os geotêxteis tecidos, não tecidos e os geocompostos (GUIMARÃES et al., 2013). Tais materiais devem apresentar bons desempenhos nas etapas de drenagem, com capacidade de retenção de sólidos e permitir o escoamento de fluidos simultaneamente (SILVA, 2019).

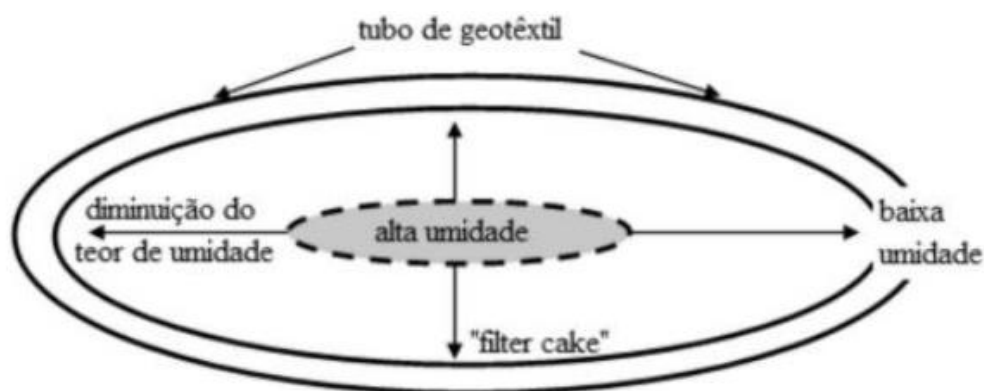
Do ponto de vista técnico trata-se de uma tecnologia eficiente, ambientalmente segura, com viabilidade econômica para implantação e operação. Os sistemas fechados de geotêxteis permitem a drenagem da porção líquida presente no lodo, processo denominado desaguamento e o confinamento da fase sólida contida no resíduo (FOWLER et al., 2002).

#### 3.3.3.5. Formação da torta de lodo (*filter cake*)

A camada de sólidos que adere na interface entre o geotêxtil e o material que está em processo de desaguamento por colmatação física ou biológica por cegamento é denominada torta de lodo ou *filter cake*. Trata-se de uma camada auto – filtrante que aumenta a retenção das partículas, porém reduz a permeabilidade do sistema, contribuindo para redução de eficiência do processo de desaguamento (AVANCINI, 2017).

O acompanhamento da umidade em função da distância do material distribuído no interior do geotêxtil é um parâmetro importante a ser monitorado para avaliar a formação da torta de lodo e seu impacto no processo de desaguamento, visto que a umidade tende a ser mais elevada no centro do material, como está demonstrado na Figura 16 (GAFFNEY et al., 1999).

Figura 16 - Distribuição da umidade na formação da torta de lodo.



Fonte: Avancini, 2017 (adaptado de Gaffney et al., 1999).

### 3.3.3.6. *Condicionantes químicos para auxiliar no processo de desaguamento*

Os condicionantes químicos, também chamados de polímeros, tem como principal função aumentar o tamanho das partículas do lodo. Este aumento de tamanho resulta num decréscimo da área superficial específica por peso unitário dos sólidos do lodo. Desde que a resistência à desidratação é relacionada com perdas por atrito superficial na matriz do lodo, melhorando assim, as taxas de desidratação (HAAK, 2011).

Os polímeros sintéticos e naturais já são utilizados em ETAs como auxiliares de coagulação, floculação e filtração (SILVA, 2019). Dentre os polímeros comumente empregados em processos de desaguamento de lodo, temos como principais os sais metálicos, cal e polímeros orgânicos. Segundo Di Bernardo (2017), os polímeros podem ser classificados em catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfóteros.

Os polímeros iônicos são caracterizados pela presença de sítios ionizáveis, os catiônicos se caracterizam pela presença de sítios ionizáveis positivos, os aniônicos pela presença de sítios ionizáveis negativos e por fim, os anfóteros se caracterizam pela presença de sítios ionizáveis positivos e negativos.

O processo de desaguamento em tubos geotêxteis pode ser influenciado por diversos fatores, conforme foi apresentado em capítulos anteriores. E para melhorar as condições de desaguamento, aumentar as taxas de drenagem e retenção de sólidos no interior dos geossintéticos (KHACHAN et al., 2014) faz-se o uso de condicionantes químicos, os denominados polímeros. Seja pela aglutinação das partículas em suspensão, aumentando seu peso específico e maximizando seu potencial de retenção, seja pelo aumento da velocidade do processo de desaguamento devido a diminuição da resistência a filtração.

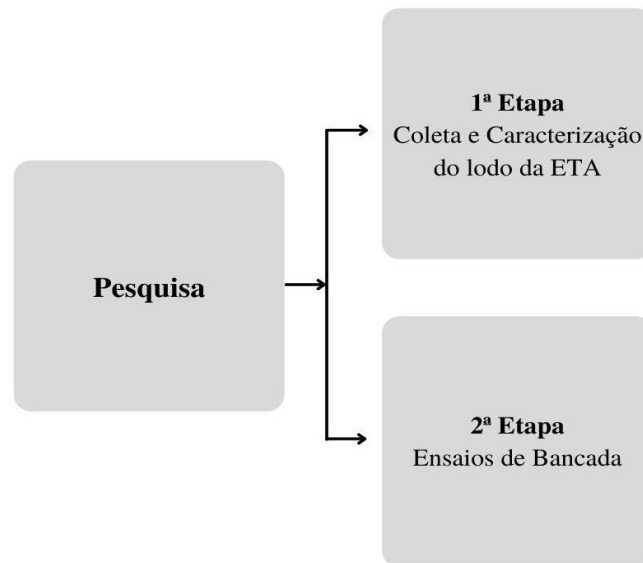
É importante ressaltar que a eficiência do condicionamento do lodo com utilização de polímero depende de vários fatores. O condicionamento ótimo não será realizado sem uma boa combinação deles. Os fatores que mais influenciam na desidratabilidade do lodo são: dosagem de polímero, tempo de mistura e gradiente médio de velocidades (HAAK, 2011).

Os resultados da utilização de dosagem de polímero sobre o desaguamento do lodo são geralmente evidentes. Os teores de desaguamento aumentam consideravelmente com o aumento da dosagem de polímero (YUZHU, 1996). Já uma combinação excessiva, tanto do ponto de vista de tempo como de velocidade, pode causar a desagregação das partículas do lodo, “desestabilizando-as” logo após tê-las floculado (HAAK, 2011).

#### 4. METODOLOGIA

Neste capítulo será descrito a execução do experimento. A pesquisa foi dividida em 2 etapas, conforme Figura 17, sendo a primeira etapa a coleta, preparo e caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de água estudada; e a segunda etapa foi a realização de ensaios de bancada, com adição de polímero e desaguamento em geotêxtil. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análise de Águas do Instituto Federal do Tocantins – IFTO – Campus Palmas.

Figura 17 - Fases da pesquisa



Fonte: Autor (2021).

##### 4.1. Equipamentos, materiais e métodos de análise

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados, respectivamente, os equipamentos que foram utilizados na pesquisa, os condicionantes químicos aplicados nos ensaios de bancada, e os parâmetros coletados e ensaiados.

Tabela 2 - Relação dos equipamentos necessários

Equipamento	Função
Jar Test – modelo: 2018-6 LDb C4F4	Mistura do resíduo com os condicionantes químicos
Balança eletrônica - modelo: Mark L 1002i	Pesagem de condicionantes químicos
Turbidímetro - marca: HACH - modelo: Cat. No. 2100Q01	Leitura da turbidez
Disco geotêxtil (ensaios de bancada)	Filtragem do lodo coletado

Fonte: Adaptado de Silva (2019)

Tabela 3 - Condicionantes químicos

<b>Tipo</b>	<b>Produto químico</b>	<b>Estado físico</b>	<b>Carga/Peso molecular</b>	<b>Densidade da massa</b>
CAT Média Alto I	Polímero Sintético Catiônico CHEMIFLOC 9040-X	Sólido granulado	Média/Alto	0,8 g/cm <sup>3</sup>
CAT Média Alto II	Polímero Sintético Catiônico CLIM FLOC C7532	Sólido granulado	Média/Alto	0,8 g/cm <sup>3</sup>
CAT Alto I	Polímero Sintético Catiônico CHEMIFLOC 9080-X	Sólido granulado	Alta/Alto	0,8 g/cm <sup>3</sup>
CAT Alto II	Polímero Sintético Catiônico CLIM FLOC C7852	Sólido granulado	Alta/Alto	0,8 g/cm <sup>3</sup>
ANI Alto	Polímero Sintético Aniônico CLIM FLOC A8933	Sólido granulado	Alta/Muito Alto	0,8 g/cm <sup>3</sup>
NI Alto	Polímero Sintético Não Iônico CHEMIFLOC 3002-X	Sólido granulado	Não iônica/Alto	0,72 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2021).

A coluna “Tipo” refere-se a sigla do condicionante, sendo o seu tipo, carga e peso molecular. Por exemplo, o polímero sintético catiônico de carga média e peso molecular alto foi denominado com a sigla de CAT Média Alto.

Tabela 4 - Parâmetros e unidades de medida

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade de medida</b>
Sólidos Suspensos Totais	mg/L
Teor de sólidos	%
Turbidez	uT

Fonte: Adaptado de Silva (2019).

#### 4.2. Coleta e caracterização dos resíduos da ETA

As coletas de resíduos foram realizadas em Setembro de 2021, nas etapas de decantação e água de lavagem dos filtros de uma ETA de ciclo completo, seguindo os procedimentos descritos abaixo:

- a) Foram coletados 2000L de lodo descartado no momento da realização da limpeza rotineira do decantador, através da tubulação de descarga de resíduo existente na unidade.
- b) Armazenado o volume coletado em uma caixa d'água destinada para acondicionamento da amostra para teste;

- c) A amostra coletada descansou por 24 horas para concentrar os sólidos no fundo da caixa e possibilitar a retirada do sobrenadante;
- d) Coletou-se 1 litro do lodo acumulado no interior da caixa de amostragem para caracterização;

Foi realizado análises do lodo coletado em laboratório, seguindo a metodologia descrita no Standard Methods 2540-D (APHA, 2012). Essa metodologia consiste nos seguintes passos:

- a) Lavou-se a cápsula de porcelana, para retirada de qualquer impureza;
- b) Depois foi aquecida por 2 horas em uma estufa a uma temperatura variando entre 103-105 °C;
- c) Após retirada, foi resfriada até temperatura ambiente em um dessecador, e ao atingir a temperatura, foi pesada a cápsula e anotado o valor;
- d) Foi homogeneizada uma amostra do lodo para eliminar previamente os possíveis interferentes; e medido e transferido as amostras para as cápsulas (ensaio 1 utilizou 10mL e ensaios 2 e 3, 5mL);
- e) Repetiu-se o processo de evaporação na estufa a 103-105 °C por 2 horas e após evaporado, a cápsula foi levada ao dessecador e deixada esfriar; em seguida foi pesada e anotado o valor;
- f) Para encontrar os resultados de Sólidos Suspensos Totais e Teor de Sólidos, foram utilizadas as seguintes equações:

Equação 1:

$$SST_{Lodo} = \frac{(SST_{aap} - SST_{sobren})}{V_{Lodo}}$$

Equação 2:

$$TSólidos_{Lodo} = \frac{SST_{Lodo}}{10000}$$

#### 4.3. Ensaios de bancada do resíduo da ETA

O método utilizado para os ensaios de bancada foi o mesmo usado por Silva (2019), a instalação de um sistema de filtração de bancada que permite o desaguamento do resíduo em uma matriz geotêxtil, funcionando como filtro por gravidade. Para a montagem do sistema de bancada, foram utilizados apenas materiais simples, como reduções em PVC de 75x50 mm, minibancada de madeira, disco de geotêxtil e abraçadeira metálica. O filtro estruturado com itens apresentados deve ser encaixado em funil acondicionado em um suporte para ter estabilidade (Figura 21). Foram seguidos os seguintes procedimentos:

- a) Homogeneização do lodo de ETA e medição de 0,5 L de amostra (Figura 18);

Figura 18 – Amostras de lodo separadas e homogeneizadas



Fonte: Autor (2022)

- b) O lodo foi colocado no equipamento *JarTest*, para que houvesse mistura homogênea e semelhante ao que ocorre em escala real, variando-se as dosagens dos condicionantes químicos (polímeros sintéticos aniônico, catiônico e não iônico) de 1,3; 2,17 e 3,03 mgPol/gSST, com gradiente de mistura de  $200 \text{ s}^{-1}$  e tempo de mistura do polímero de 60 segundos, conforme Figura 19;

Figura 19 – Lodo sendo misturado ao condicionante químico no *JarTest*



Fonte: Autor (2022)

- c) Após a mistura do condicionante químico no *JarTest* as amostras foram filtradas em geotêxtil;

Figura 20 – Sistema de ensaio de bancada de filtração em tubo geotêxtil



Fonte: Autor (2022)

Figura 21 - Sistema de ensaio de bancada de filtração em tubo geotêxtil



Fonte: Silva (2019)

- d) Durante a filtração em geotêxtil, foi registrado o volume do filtrado em função do tempo. A cada 10s realizou-se uma coleta com objetivo de analisar o tempo de desaguamento. Para o encerramento do desaguamento contínuo nos ensaios de bancada, seguiu-se a proposta de Tominaga (2010) de 20 gotas por minuto;

Figura 22 – Amostras de filtrado coletadas



Fonte: Autor (2022)

- e) Após a etapa de filtração, foi realizada a caracterização do filtrado, sendo analisados os seguintes parâmetros: volume filtrado, com auxílio de proveta, e os valores de turbidez da amostra composta com auxílio de turbidímetro (Figura 23).

Figura 23 - Turbidímetro



Fonte: Autor (2022)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. São expostos os dados da caracterização do resíduo e os ensaios de desaguamento no filtro geotêxtil para os polímeros avaliados com variação de dosagem conforme apresentado na metodologia.

Como base de referência, o que caracteriza o bom funcionamento dos sistemas de tubos geotêxteis em conjunto aos condicionantes químicos no desaguamento de resíduos está baseado no desempenho de três características operacionais: alta capacidade de retenção de sólidos; alta capacidade drenante para elevar o teor de sólidos do resíduo retido dentro do tubo e por fim proporcionar o desaguamento do tubo em fluxo contínuo no menor tempo possível.

### 5.1. Resultados da caracterização do resíduo de ETA

A Tabela 5 apresenta os resultados de Sólidos Suspensos Totais e Teor de Sólidos do LETA (lodo de estação de tratamento de água) em estudo.

Tabela 5 – Resultados do Teor de Sólidos do Resíduo de ETA

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Sólidos Suspenso Totais (mg/L)	11420	11280	11940
Teor de Sólidos (%)	1,14	1,13	1,19
Média de SST (mg/L)			11546,67

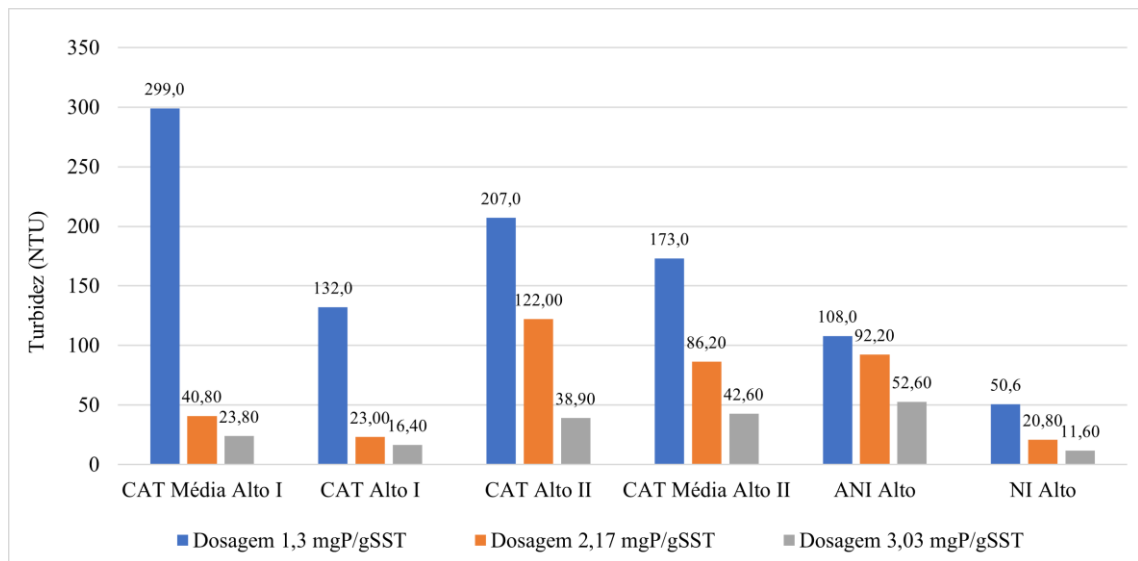
Fonte: Autor (2022).

### 5.2. Turbidez do filtrado

Na Figura 24 são apresentados os valores da turbidez do filtrado para os diferentes tipos de polímeros com as dosagens pré-estabelecidas de 1,3; 2,17 e 3,03 mg/L de pol/g de sólidos suspensos.

Para a dosagem de 1,3 mgP/gSST os valores encontrados de turbidez do filtrado foram elevados, principalmente para os polímeros catiônicos, sendo o maior para o CAT Média Alto I (Catiônico com carga média e peso molecular alto). Para a dosagem 2,17 mgP/gSST foram encontrados valores de turbidez medianos, com o valor mais elevado do CAT Alto II (Catiônico com carga e peso molecular alto). E na dosagem 3,03 mgP/gSST foram encontrados os melhores valores de turbidez, abaixo de 100 uT, mesmo para aqueles que obtiveram resultados elevados nas dosagens anteriores.

Figura 24 - Resultados de turbidez do filtrado em função das dosagens de polímero



Fonte: Autor (2022).

Com base nos resultados obtidos é possível observar que o condicionante NI Alto apresentou a melhor retenção de sólidos no filtro geotêxtil, com os menores resultados de turbidez remanescente no clarificado, nas diferentes concentrações aplicadas, indicativo de uma grande eficiência de filtração, quando se correlaciona a turbidez à concentração de sólidos em suspensão. O condicionante químico denominado NI Alto trata-se de um produto não iônico, ou seja, sem cargas positivas ou negativas, porém de alto peso molecular, caracterizada por grandes cadeias monoméricas responsáveis pelas interações para formação do “filter cake”, favorecendo a retenção de partículas e minimizando o efeito “piping” frente aos demais produtos testados. Estudos indicam que o peso molecular do polímero aplicado como auxiliador de floculação é um fator determinante para eficiência no processo de desaguamento e retenção de sólidos visto que interações químicas são predominantes frente as eletrostática (Lima, 2016), de modo que fatores como as dosagens, tempo, gradientes de mistura adequados e as características do lodo em processo de desaguamento refletem de forma significativa no grau e qualidade da desidratação, não sendo necessariamente os produtos com cargas iônicas os predominantes para proporcionar o melhor desaguamento.

O produto CAT Alto I apresentou resultados relevantes de turbidez remanescente no clarificado coletado ao final do ensaio, sendo um produto potencial para ser aplicado, porém requer dosagens elevadas para eficiência no desaguamento quando se observa a qualidade do clarificado obtido, sendo uma alternativa de uso. Com base na especificação química do produto este também possui alto peso molecular, diferindo do anteriormente discutido por apresentar alta carga catiônica.

Na maioria das vezes, em sistemas de tratamento de RETA, o filtrado das unidades de desaguamento pode ter dois destinos: ou é descartada em corpos hídricos, ou é recirculada ao início do tratamento da ETA. O padrão de qualidade utilizado para o descarte, pelas empresas de saneamento, normalmente é o valor máximo permitido de turbidez para corpos hídricos classe 2, que segundo a resolução CONAMA 357/05, é de 100 uT. Já para o reaproveitamento do filtrado na própria ETA, devido à falta de norma ou legislação específica no Brasil, utilizam-se valores preconizados internacionalmente, como no caso do Reino Unido, que estabelece um valor máximo de 5 uT (UKWIR, 1998).

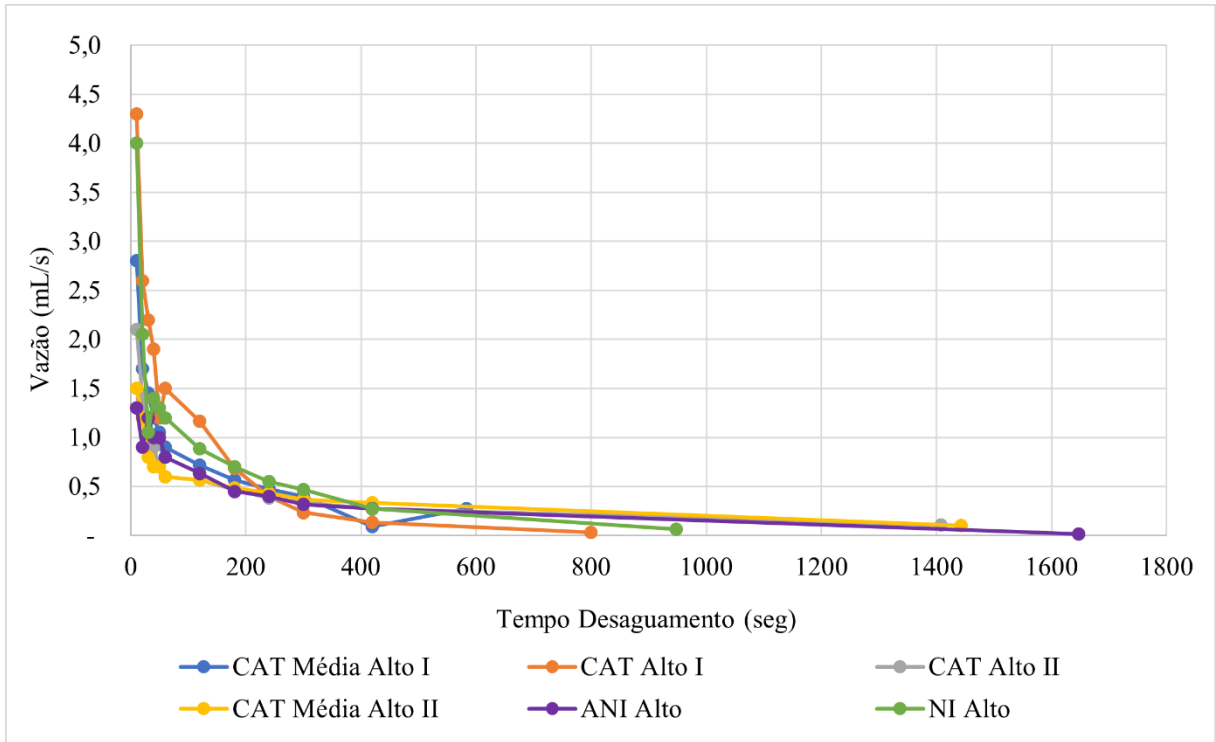
Utilizando estes dois padrões de turbidez como referência, verificou-se que nenhum efluente filtrado (Figura 24), nas três dosagens, obteve valores próximos ou inferior ao recomendado para recirculação em ETA, abaixo de 5,0 uT de turbidez. Para o descarte do efluente filtrado em corpos d'água, somente a dosagem de 3,03 mgP/gSST entregou valores abaixo de 100 uT para todos os condicionantes testados. Na concentração de 1,3 mgP/gSST somente os produtos ANI Alto e NI Alto obtiveram valores para o descarte. Para concentração de 2,17 mgP/gSST, somente o CAT Alto II teve resultado acima de 100 uT, inviabilizando o descarte do efluente em corpo hídrico. Em resumo, os condicionantes Catiônicos só mostraram capacidade para descarte quando levados à maiores concentrações, enquanto o produto Não Iônico (NI Alto) apresentou resultados desejáveis nas três dosagens que foi submetido.

### **5.3. Vazão de Desaguamento**

Nas Figuras 25, 26 e 27 são apresentados os resultados de vazão de desaguamento para os diferentes tipos de polímeros e dosagens durante os ensaios em bancada no filtro em geotêxtil.

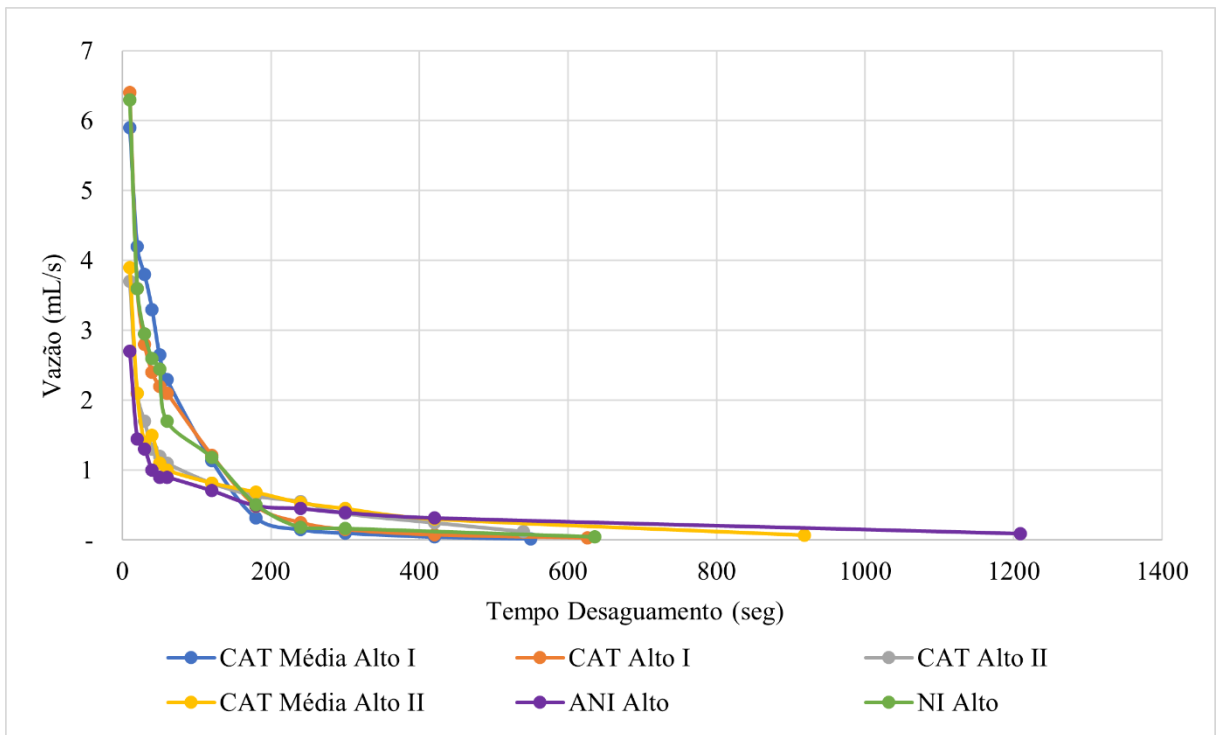
O polímero ANI Alto, de alta carga aniônica e peso molecular muito alto, não mostrou ser eficiente em nenhuma das 3 dosagens testadas, já que demandou de mais tempo de desaguamento, resultando em uma vazão inferior. O condicionante NI Alto demonstrou resultados desejáveis e constância nas três dosagens testadas. O mesmo ocorreu para o produto CAT Alto I, que obteve resultados aproximados, e apesar de apresentar na dosagem 1,3 mgP/gSST um valor elevado de turbidez, nas duas últimas dosagens seus valores se aproximaram ao do polímero NI Alto.

Figura 25 – Resultados de vazão de desaguamento para dosagem 1,3 mg Pol/gSST



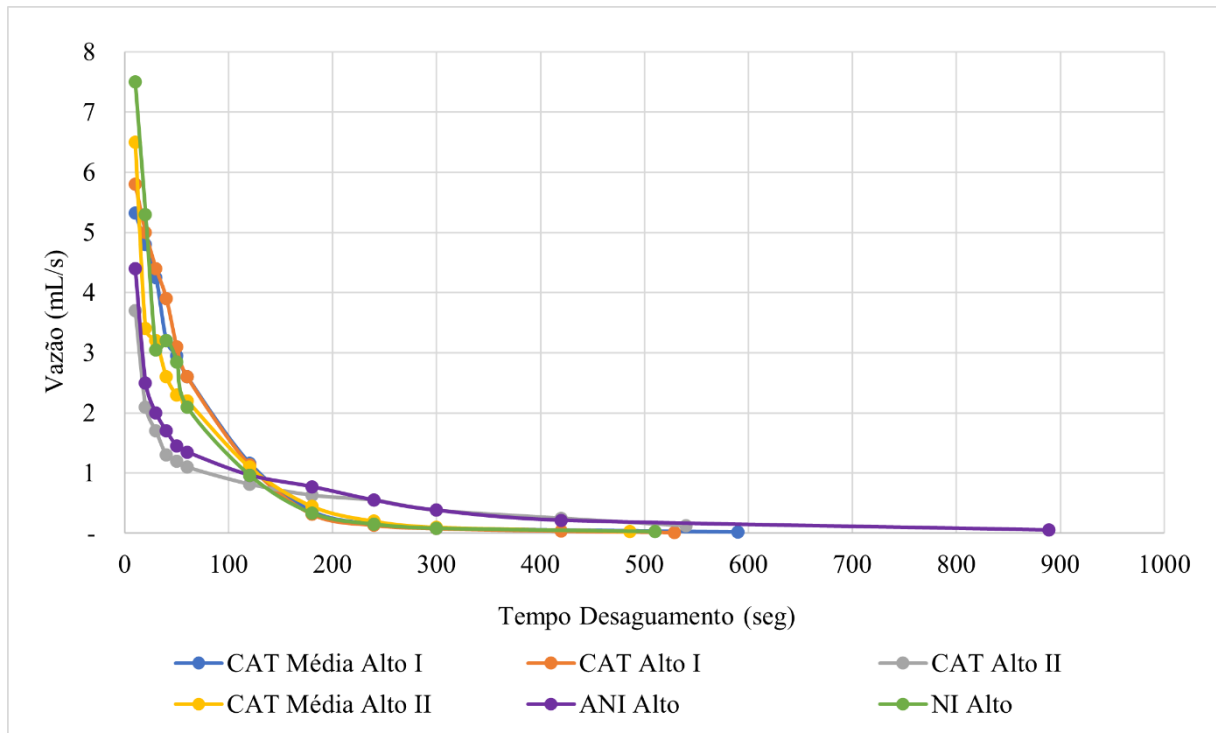
Fonte: Autor (2022).

Figura 26 - Resultados de vazão de desaguamento para dosagem 2,17 mg Pol/gSST



Fonte: Autor (2022).

Figura 27 - Resultados de vazão de desaguamento para dosagem 3,03 mg Pol/gSST



Fonte: Autor (2022).

Foi possível perceber que menores valores de vazão estão relacionados a maiores concentrações de lodo. Isto pode ser atribuído ao fato de que existem mais partículas suspensas no filtrado. Com uma grande quantidade de sólidos, o material durante o processo de filtração forma rapidamente o filter cake, que é uma camada de sólidos agregada próxima ao tecido que diminui a permeabilidade do geossintético e impede a passagem livre de finos.

De acordo com os ensaios, dosagens mais altas de polímero levam a vazões mais altas e retenção de sólidos relativamente alta. Isto porque através da turbidez, é possível se ter uma ideia da quantidade de material que é passante ou retido.

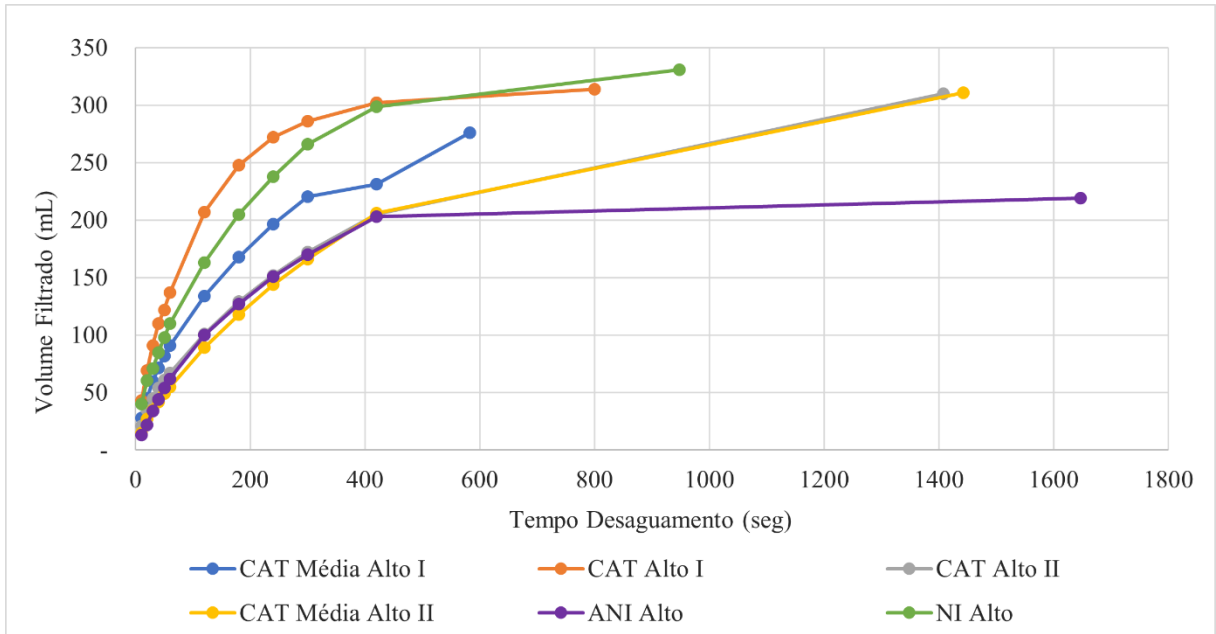
#### 5.4. Tempo de Desaguamento

O tempo de desaguamento é definido como a quantidade total de tempo necessário para desaguar um volume conhecido de resíduo. E o que se verifica nas Figuras 28, 29 e 30 é o comportamento do tempo de desaguamento durante os ensaios em bancada no filtro em geotêxtil.

Observando os resultados de volume filtrado frente ao tempo de desaguamento é possível observar que o produto NI Alto se destacou nas dosagens de 1,3 e 2,17 mgPol/gSST, com grande eficiência de desaguamento. Enquanto o CAT Alto I apresentou resultados de volume filtrado relevantes nas dosagens de 2,17 e 3,03 mgPol/gSST, sendo assim uma

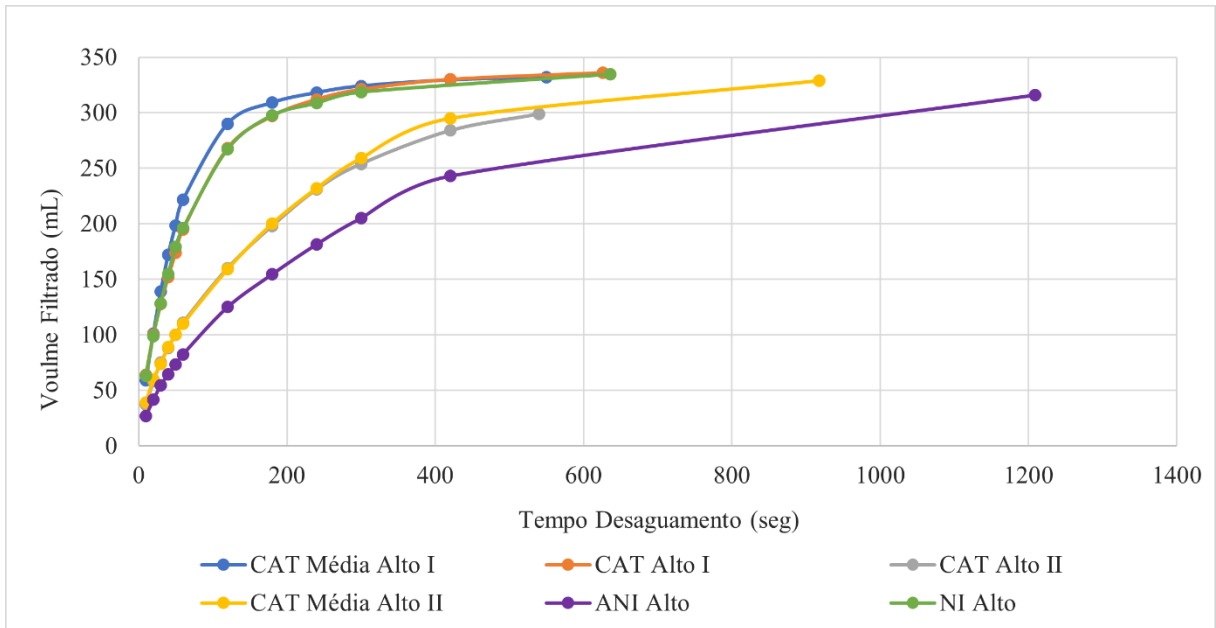
alternativa frente ao primeiro condicionante citado, mas solicita atenção quanto a dosagem necessária para se mostrar eficaz.

Figura 28 - Resultado do tempo de desaguamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 1,3 mg Pol/gSST



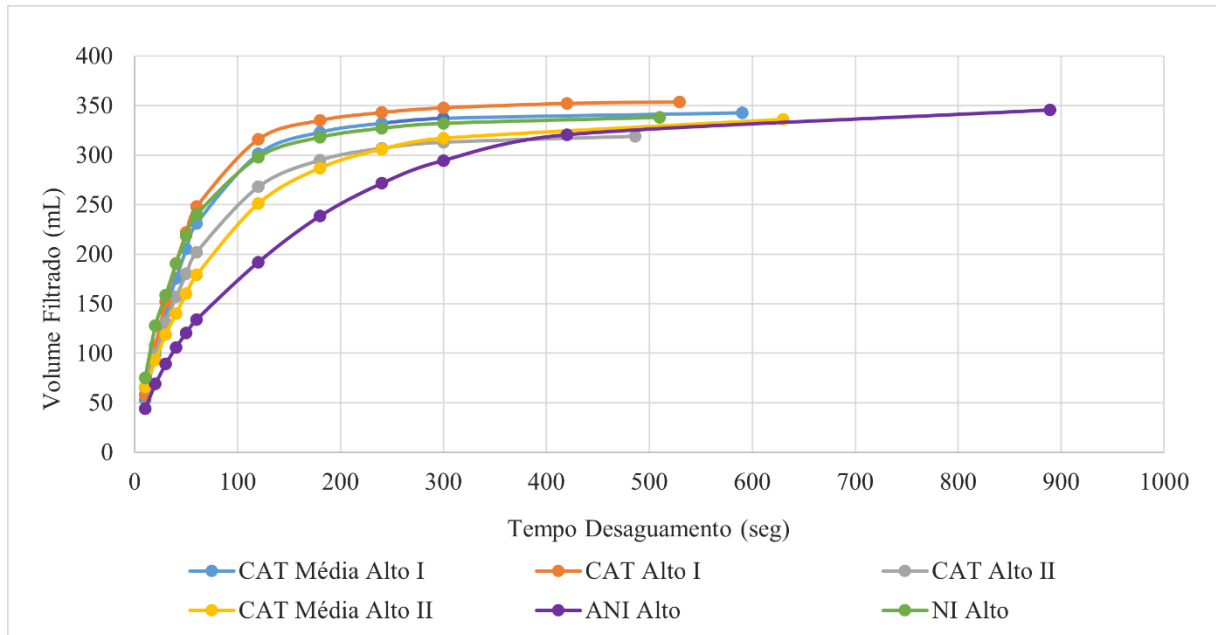
Fonte: Autor (2022).

Figura 29 - Resultado do tempo de desaguamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 2,17 mg Pol/gSST



Fonte: Autor (2022).

Figura 30 - Resultado do tempo de desaguamento em função do volume filtrado, para a dosagem de polímero de 3,03 mg Pol/gSST



Fonte: Autor (2022).

Vários trabalhos com tubo geotêxtil (Satyamurthy e Bhatia, 2009; Koerner e Koerner, 2006; Maurer, 2011; Khachan e Bhatia, 2016) verificaram o ganho que o condicionamento químico otimizado proporciona na redução do tempo de desaguamento em certos tipos de resíduo. No presente trabalho somente o polímero aniônico, ANI Alto, não obteve redução significativa no tempo de desaguamento com o aumento das dosagens. Assim, deve-se encontrar uma dosagem ótima com o menor tempo de desaguamento, e que concomitantemente atenda aos requisitos de qualidade do efluente desejado.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado, chegou-se às seguintes conclusões:

- Quanto ao condicionamento químico dos resíduos estudados, observou-se nesta pesquisa a importância de realizar ensaios para a determinação da dosagem do polímero, já que uma dosagem excessiva ou insuficiente pode prejudicar o desempenho do sistema de desaguamento em geotêxtil.
- O ensaio de bancada com filtro em tubo geotêxtil confirmou-se como um método simples e eficiente na predição de parâmetros importantes que só poderiam ser obtidos em escala-piloto ou escala real, como: o teor de sólidos do resíduo desaguado, a qualidade do efluente filtrado, o melhor condicionamento químico.
- O uso de polímeros no processo de tratamento dos resíduos é essencial, pois promovem uma floculação/coagulação mais eficiente otimizando o desaguamento do lodo, fazendo com que os sólidos fiquem retidos com mais facilidade nos filtros.
- A utilização de sistemas de tratamento dos resíduos gerados em ETAs é de fundamental importância, sendo ela uma alternativa de minimização dos impactos ambientais causados pelo descarte do lodo diretamente no corpo hídrico.
- De forma geral, o condicionante químico Aniônico CLIM FLOC A8933 (ANI Alto), que possui características de carga alta e peso molecular muito alto, não demonstrou ser efetivo no desaguamento do lodo de ETA estudado.
- O polímero que apresentou maior eficiência foi o polímero Não Iônico CHEMIFLOC 3002-X, denominado NI Alto. Este polímero apresentou valores de turbidez para as três dosagens estudadas, respectivamente, 50,6; 20,80 e 11,60 uT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHON, C. L., BARROSO, M. M., CORDEIRO, J. S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISSO 24.512: desafio do saneamento básico**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, v.18, n. 2, p.115-122.
- AHMAD, T., AHMAD, K., ALAM, M. **Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options**. Procedia Environmental Sciences, v.35, p. 950-955, 2016.
- ALMEIDA, M. C., SILVA, M. M., PAULA, M. de. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v.5, n.1, p.25-40, 2017.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, EUA, 2012.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS- ASCE; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA. **Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residual**. Nova Iorque, EUA, 1996. 294 p.
- ANDREOLLI, C. V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001, 282 p.
- ARDILA, M. A. A. **Avaliação de sistemas fechados em geotêxteis não tecidos para o desaguamento de lodo de ETA por meio de ensaios de semi-desempenho**. Dissertação (Mestrado em Ciências). – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.
- ARDILA, M. A. A., SOUZA, S. T. de, SILVA, J. L. de, VALENTIN, C. A., DANTAS, A. D. B. **Geotextile tube dewatering performance assessment: an experimental study of sludge dewatering generated at a water treatment plant**. Sustainability, v.12, p. 8129, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318-1: Geossintéticos- Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, 2018.
- BARBOSA, R. M. **Avaliação do impacto de lodos de estações de tratamento de água à biota aquática através de estudos ecotoxicológicos**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- BHATIA, S. K., MAURER, B. W., KHACHAN, M. M., GRZELAK, M. D., PULLEN, T. S. **Performance indices for unidirectional flow conditions considering woven geotextiles and sediment slurries**. In: GEO-CONGRESS 2013. Anais. San Diego, Califórnia, Estados Unidos, 2013.
- CARNEIRO, J. R. da C. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental: a importância da incorporação de aditivos químicos**. 2009. 534 f. Tese (Doutorado). Universidade de Porto, 2009.
- DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D., VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. Editora LDiBe, São Carlos – SP, 2012. 540 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. & VOLTAN, P.E.N. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3ª Edição. São Carlos: Rima, 2017, 1246 p.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2017, v. 1, 1472 p.

FOWLER, J., DUKE, M. L., SCHMIDT, M. L., CRABTREE, B., BAGBY, R. M., and TRAINER, E. **Dewatering sewage sludge and hazardous sludge with geotextile tubes**. Seventh International Conference on Geosynthetics, 22 -27 September 2002, Nice, French Riviera.

FOWLER, Jack; BAGBY, Rose Mary; TRAINER, Ed. **Dewatering sewage sludge with geotextile tubes**. Geotechnical Fabrics Report, 1997. v. 15, n. 7, p. 26-30.

GAFFNEY, D. A.; MARTIN, S. M.; MAHER, M. H.; BENNET, T. A. **Dewatering contaminated, fine grained material using geotextiles**. In: Proceedings of the Geosynthetics Conference, Proceedings...1999.

GEOSYNTHETIC INSTITUTE. GRI Test Method GT15: **Standard test method for the pillow test for field assessment of fabrics/ additives used for geotextile bags, containers and tubes**. Folsom, PA. 2009.

GUIMARÃES, M. G. A., URASHIMA D. C., VIDAL D. M. **Dewatering of sludge from a water treatment plant in geotextile closed systems**. Geosynthetics International, 2014, v. 21, n. 5, p. 310-320.

HAAK, W. **Condicionamento químico de lodo de estação de tratamento de água com monitoramento através de potencial**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

JÚNIOR, S.V.C. **Ciência dos polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª Edição. São Carlos: 2006.

KHACHAN, M. M.; BHATIA, S. K.; BADER, R. A.; CETIN, D.; RAMARAO, B. V. **Cationic starch flocculants as an alternative to synthetic polymers in geotextile tube dewatering**. Geosynthetics International, 2014.

KHACHAN, M. M.; BHATIA S.K. (2016). **The efficacy and use of small centrifuge for evaluating geotextile tube dewatering performance**. *Geotextiles and Geomembranes* (45) 280-293.

KOERNER, G. R.; KOERNER, M. R. (2006). **Geotextile tube assessment using a hanging bag test**. *Geotextiles and Geomembranes*. v. 24, n. 2, p. 129-37.

LAWSON C. R. **Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering**. *Geosynthetics International* 6 (15) 384- 427, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.04.001>

LEE, Y., KIM, I., YOO, Y. **Stabilization of high-organic-content water treatment sludge by pyrolysis**. *Energies*, v.11, p. 3292, 2018.

LIMA, R.M. **Desaguamento do lodo da estação de tratamento de água (ETA) 006 da cidade de Palmas-to, por meio de polímeros e filtração em geotêxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

LOPES, M. P.; LOPES, M. L. **A durabilidade dos geossintéticos**. [s.l.] FEUP Edições, 2010.

- MAURER, B. W. (2011). **Flocculation and Filtration in the Geotextile Tube Environment**. Thesis, Master of Science in Civil Engineering, The Syracuse University.
- MILAGRES, B. V. **Degradação de geotêxteis frente a elementos climáticos em ensaios de campo e laboratório: Realidade climática local**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
- MOO-YOUNG, H. K.; TUCKER, W. R. **Evaluation of vacuum filtration testing for geotextile tubes**. *Geotextiles and Geomembranes*, 2002, v. 20, n. 3, p. 191–212.
- MOO-YOUNG, H. K., GAFFNEY, D. A., MO, X. **Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes**. *Geotextiles and Geomembranes*, v.20, p. 289-303, 2002.
- MOREIRA, V. A. **Degradação de geotêxteis aplicados no desaguamento de resíduos e expostos às condições climáticas de campo**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.
- MÜLLER, M. **Efeito de diferentes configurações no deságue de lodos em sistemas de confinamento de resíduos em geotêxtil**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2018
- MUTHUKUMARAN, A. E.; ILAMPARUTHI, K. **Laboratory studies on geotextile filters as used in geotextile tube dewatering**. *Geotextiles and Geomembranes*, 2006, v. 24, n. 4, p. 210-219.
- OLIVEIRA, N.S., **Estudo da secagem de lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- OOI, T. Y., YONG, E. L., DIN, M. F. M., REZANIA, S., AMINUDIN, E., CHELLIAPAN, S. V., RAHMAN, A. A., PARK, J. **Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using response surface methodology**. *Journal of Environmental management*, v.228, p. 13-19, 2018.
- ORTIZ, C. A. H. **Desempenho de geotêxteis na filtração de suspensões água – solo**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal São Carlos, São Carlos, 2012.
- PIEPER, K. M.C. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- QUEIROZ, S. C. B. **Influência das características da água bruta no desaguamento de resíduos gerados no tratamento de água pela filtração em tubo geotêxtil**. 2019. 226 f. Tese (Doutorado). Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP, Ribeirão Preto, 2019.
- REALI, M. A. P. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos e Estações de Tratamento de Água**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro: Rima, ABES, 199, 240 p.
- REALI, M.A.P. PATRIZZI, L.J., CORDEIRO, J.S.: **Desidratação de Lodo por Centrifugação**. In: **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Prosab, Rio de Janeiro 1999.

SANTOS, R. G. C., VIEIRA, B. R., ESTEVES, G. L. L., OLIVEIRA, L. F. de, MIGUEL, L. G. S., DUTRA, M. E. L., BATISTA, M. de S. **Diminuição do volume de lodo de estação de tratamento de águas usando leito de drenagem.** Revista THEMA, v.9, n.1, p. 71-78, 2021.

SATYAMURTHY R., BHATIA S.K. **Effect of polymer conditioning on dewatering characteristics of fine sediment slurry using geotextiles.** *Geosynthetics International*, 2009, v. 2, n. 16, p. 83-96.

SCHUJMAN, O.S. **Estudo da viabilidade de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água de chuva.** Engenharia Ambiental, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

SILVA, G. G. **Eficiência do desaguamento de resíduo de estação de tratamento de água em tubo geotêxtil.** 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP, Ribeirão Preto, 2019.

TOMINAGA, E. **Análise dos procedimentos para avaliação de desempenho de sistemas fechados com geotêxtil para desaguamento.** 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.

UNITED KINGDOM WATER INDUSTRY RESEARCH (UKWIR). **Guidance manual supporting the water treatment recommendations from the Badenoch group of experts on Cryptosporidium.** London: Water Industry Research Limited, 1998.

USEPA. **Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report. Summary of Residuals Generation, Treatment, and Disposal at Large Community Water Systems.** Washington, D.C, 2011. 378 p.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** Editora Edgard Blucher, 1ª edição, São Paulo, Brasil, página 413, 2004.

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.