

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E BIOLÓGICA DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA) PARA FINS DE REAPROVEITAMENTO

### PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF WATER TREATMENT PLANT SLUDGE (STW) FOR REUSE PURPOSES

Victória Oliveira Assunção Lima<sup>a</sup>, Hallerrandro Ferreira dos Santos<sup>a</sup>, Byanca Lorraine Bezerra Amador<sup>a</sup>, Glauber Epifânio Loureiro<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade do Estado do Pará (UEPA)

*assuncao victoria70@gmail.com, hallerrandro12@gmail.com, amadorbyanca@gmail.com, epfania@uepa.br*

*Submissão: 18 de junho de 2024*

*Aceitação: 12 de fevereiro de 2025*

#### Resumo

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) geram uma elevada quantidade de lodo durante seu processo de potabilização da água, principalmente na etapa de decantação. Este lodo é classificado como resíduo sólido e não pode ser descartado diretamente no meio ambiente, pois pode provocar contaminação no solo ou no corpo hídrico, o que demonstra a necessidade de conhecimento das suas características para que possa ser definido o seu destino. Diante disso, o objetivo do estudo foi caracterizar o lodo do decantador da ETA de forma qualitativa, por meio de análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos de amostras coletadas no período seco e no período chuvoso, em que os parâmetros analisados foram: N, Al, Cd, Ca, Pb, Fe, Mg, Mn, Hg, Ni, Sólidos Totais, Carbono Orgânico Total e Coliformes Totais. Os resultados encontrados de sólidos totais variaram de 70% entre o período seco e o período chuvoso. A temperatura e o pH mantiveram-se constantes da primeira para a segunda amostra. Em geral, os níveis de metais pesados encontrados foram abaixo do limite de quantificação e apenas o teor de manganês no período seco apresentou valores acima do limite permitido pela legislação. Quanto aos Coliformes Totais, no período chuvoso a concentração encontrada foi maior, porém não suficiente para avaliação de contaminação. Observou-se através das análises que o lodo apresenta potencial de aplicação em solos, compostagem e em áreas degradadas, com uso controlado, deixando de ser um rejeito para ETA e tornando-se um resíduo com potencial de aproveitamento.

**Palavras-chave:** ETA; resíduo sólido; tratamento do lodo.

#### Abstract

Water Treatment Stations (STW) generate a large amount of sludge during the water purification process, mainly in the decantation stage. This sludge is classified as solid waste and cannot be discarded directly into the environment because it can cause contamination in the soil or in water bodies, which demonstrates the need for knowledge of its characteristics so that its destination can be defined. Therefore, the objective of the study was to characterize the sludge from the decanter of the STW in a qualitative way through the analysis of physical, chemical and biological parameters of samples collected in the dry and rainy periods, where the parameters analyzed were: N, Al, Cd, Ca, Pb, Fe, Mg, Mn, Hg, Ni, Total Solids, Total Organic Carbon and Total Coliforms. The results showed a 70% variation in total solids between the dry and rainy periods. The temperature and the pH remained constant from the first to the second sample. In general, the concentration of heavy metals found were below the quantification limit, and only the manganese content in the dry period showed values above the limit allowed by the legislation. As for the total coliforms, the concentration found in the rainy season was higher, but not enough to evaluate contamination. It was observed through the analyses that the sludge has a potential for application in soils, composting, and in degraded areas, with controlled use, ceasing to be a waste product for STW and becoming a residue with potential for use.

**Key-words:** STW. Solid Waste. Sludge Treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a população mundial cresceu significativamente, especialmente nos centros urbanos. Esse aumento populacional levou a uma maior demanda por serviços em diversos setores, incluindo infraestrutura, saúde, educação e saneamento básico, como no saneamento básico através do consumo de água potável, exigindo uma maior vazão de água para ser tratada e atender a demanda da população (Viana *et al.*, 2014).

O Brasil detém cerca de 12% das águas superficiais do planeta (ANA, 2012). Apesar da abundância do recurso hídrico no Brasil, há um grande problema associado à sua qualidade e distribuição. Para isso, o tratamento de água é um serviço oferecido pelas companhias de saneamento, que proporcionam água potável para o consumo humano com o objetivo de adequar a água bruta aos padrões estabelecidos na Portaria n° 888 (Brasil, 2021).

Existem diversas tecnologias de tratamento da água e a mais adequada depende de fatores como a capacidade da estação, disponibilidade de recurso, pessoas qualificadas para operação e manutenção do sistema, além da qualidade da água bruta, sendo o tratamento convencional o mais utilizado no Brasil (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2011).

No Brasil existem cerca de 7.500 unidades de ETA's, e a maioria delas funciona com o processo de tratamento convencional, que apresenta as seguintes etapas físicas e químicas: captação, coagulação, floculação, filtração, decantação, desinfecção, correção do pH e adição de flúor (Achon; Cardoso; Cordeiro, 2013).

Se o serviço de tratamento da água não for planejado e gerenciado corretamente ocasiona risco de impacto negativo ao meio ambiente, principalmente pela geração de resíduo sólido (lodo). Grande parte deste resíduo é produzido na etapa de decantação, com relevante concentração de produtos químicos (Lima *et al.*, 2021).

Os lodos de ETAs possuem características variadas que dependem da qualidade da água bruta, da dosagem de produtos utilizados, além da forma de limpeza dos decantadores. Grande parte das ETAs existentes no Brasil, lançam seus resíduos sem nenhum tratamento no corpo

d'água mais próximo à estação, provocando impactos negativos ao recurso hídrico (Andrade; Silva; Oliveira, 2014).

Segundo Achon, Cardoso e Cordeiro (2013), a maioria das ETAs lançam seu resíduo em cursos d'água mais próximos contrariando as legislações estaduais e federais vigentes que tratam do lançamento de efluentes líquidos, sendo raras as estações que apresentam um sistema de tratamento e destinação adequada a fim de evitar os impactos negativos causados por esses resíduos.

A disposição inadequada do lodo pode provocar degradação do meio ambiente, como a contaminação de mananciais e do solo, em virtude do seu teor de sólido, composição química e biológica, além dos problemas relacionados à presença de metais, visto que são utilizados como coagulantes no tratamento físico-químico o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Logo, se faz necessária a destinação correta deste tipo de resíduo, pois o retorno dele diretamente ao manancial impacta negativamente o meio ambiente (Viana *et al.*, 2014).

“Uma das maiores problemáticas que as ETAs enfrentam é a dificuldade de tratar o lodo e dispor de maneira a não causar impactos ambientais sobre os aspectos técnico, econômico e ambiental”. (Bittencourt *et al.*, 2012) O aumento da preocupação e a regulamentação sobre a preservação e recuperação da qualidade do meio ambiente têm evitado o lançamento *in natura* destes resíduos, impondo a procura por métodos de destinação que não causem danos ao meio ambiente (Pereira, 2011).

Devido às características químicas do lodo de ETA, este pode ser disposto por métodos convencionais e alternativos, como incorporação em tijolos, concreto ou aterros sanitários (Bittencourt *et al.*, 2012). Segundo Mota (2011), o lodo de ETA também pode ser utilizado na recuperação de áreas degradadas e aplicação em solos agrícolas, que podem apresentar benefícios como a melhoria estrutural do solo, ajuste de pH e melhorias das condições de aeração do solo.

Desse modo, o estudo objetiva caracterizar o lodo *in natura* do decantador de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), por meio de análises químicas, físicas e biológicas para fins de indicar a potencial destinação final ambientalmente adequada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Procedimentos metodológicos

O presente estudo é uma pesquisa aplicada, com uma abordagem quali-quantitativa e objetivo descritivo, para a qual foram realizadas análises bibliográficas e documental, aplicadas a um estudo de caso.

### 2.2 Caracterização da área de estudo

A ETA fica localizada à margem do rio Tocantins, teve início das suas operações na década de 1970, passando por reformas ao longo dos anos. A ETA é do tipo convencional e funciona 24 h; ela capta água bruta do rio Tocantins, possui capacidade de captação de  $3000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , porém capta cerca de  $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e distribui  $1800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , tendo algumas perdas no sistema. A água tratada na ETA atende cerca de 25 mil residências através do sistema de distribuição.

A caracterização da área de estudo realizou-se por meio de visitas *in loco*, assim como a identificação das etapas de tratamento, a vazão média diária tratada, a forma de limpeza dos decantadores e sua frequência, a destinação final atual do lodo produzido e a existência de área disponível para a implantação do tratamento de lodo.

No processo de tratamento da água são adicionados o coagulante e floculante para desestabilizar as partículas em suspensão. A ETA opera com floculadores que facilitam a aglomeração dos sólidos presentes na água, formando os flocos que seguem em direção aos decantadores de alta taxa, que estão divididos em dois blocos: bloco I e bloco II. O bloco I apresenta a aplicação de floculante e coagulante em etapas separadas do decantador, tendo o tempo de tratamento de água mais longo do que no bloco II.

Após a decantação dos sólidos é necessário que a água passe pela etapa de filtração, as pequenas partículas ainda em suspensão são retidas nos filtros que possuem material de areia e cascalho. A água clarificada é direcionada ao tanque de contato para que haja a desinfecção e correção de pH por meio do gás cloro; logo após, são destinados para a estação elevatória de água tratada para que seja distribuída para a população.

A estação de tratamento de água possui 2 misturadores rápidos, floculadores tipo chicana; no bloco I há 16 decantadores de alta taxa e no

bloco II há 11 decantadores de alta taxa, 11 filtros rápidos em funcionamento e 1 filtro morto, tanque de contato, estação elevatória de água tratada, área química, centro de controle operacional e subestação elétrica.

### 2.3 Quantificação do lodo

#### 2.3.1 Caracterização da água bruta

Para caracterização da água bruta foram utilizados dados obtidos nos relatórios diários disponibilizados por um banco de dados da companhia de abastecimento. Esses dados não seguem uma série histórica completa dos últimos anos, desta forma, foi necessário adotar dados de 2019, sendo este o ano com maior número de análises.

As análises realizadas na ETA para verificar as características da água foram a cor, turbidez e pH, conforme o exposto na Tabela 1, que demonstra os valores médios mensais em cada parâmetro. Em relação ao cloro, Policloreto de Alumínio (PAC) e polímero, eram realizados *jar test* para saber a dosagem ideal a ser aplicada no tratamento da água, porém esses dados não constam no relatório.

Apesar de 2019 ter sido o ano com mais análises, no banco de dados não foram identificados os relatórios de análises dos meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Como demonstrado na Tabela 1, em relação aos meses de março, abril e maio não foram demonstrados no relatório a vazão da bomba do coagulante e floculante. Dessa forma, foram utilizados os meses que correspondem ao período seco e período chuvoso (Gráfico 1).

O Gráfico 1 demonstra que a partir do mês de maio houve diminuição da vazão do rio, demonstrando períodos secos de maio a outubro e período chuvoso de novembro a abril.

Segundo Rodrigues (2014), a distribuição no regime da precipitação tem influência direta com o nível do rio, uma vez que as maiores cotas do rio coincidem com o período de maior precipitação, assim como os de menor valor coincidem com o período menos chuvoso. Com essa perspectiva, o cálculo de estimativa do lodo produzido na ETA utilizou dados dos meses de junho a novembro, conforme o Gráfico 2.

De acordo com o Gráfico 2, percebe-se que a vazão da bomba de coagulante e polímero aumentam de acordo com a turbidez da água bruta, sendo os meses junho e novembro com maior turbidez e maior vazão da bomba de

coagulante.

Em análise aos relatórios da ETA identificou-se que o coagulante utilizado em 2019 era o Policloreto de Alumínio (PAC), conhecido também como hidróxicloreto de alumínio, com 23% de alumina solúvel expresso em Óxido de Alumínio e 18% de basicidade, medida em percentagem de OH, tendo modificação em relação ao coagulante utilizado em 2021. Atualmente é utilizado o Polisal que é um coagulante inorgânico à base de sais de alumínio.

### 2.3.2 Método de quantificação

Devido à falta de disponibilidade dos dados de dosagem do coagulante foi necessária a transformação dos dados da bomba dosadora em dosagem do coagulante ideal através da Eq. 1. Esta equação é uma modificação da fórmula de cálculo de diluição das soluções  $C1.V1 = C2.V2$ . Em vez de um volume V, tem-se a vazão instantânea Q, utilizando Q maiúsculo e minúsculo para a diferenciar a vazão da água bruta da vazão do coagulante. Já a concentração, convencionou-se para a concentração do coagulante fabricado, e o d para a dosagem ideal (Equação 1):

$$q_{bomba} = Q \times d / C \quad (1)$$

Onde:

$q_{bomba}$  = Vazão da bomba dosadora ( $m^3.h^{-1}$ )

Q = Vazão da água bruta a ser tratada ( $m^3.h^{-1}$ )

d = Dosagem ideal de trabalho do coagulante ( $mg.l^{-1}$ )

C = Concentração real do coagulante fabricado ( $mg.l^{-1}$ )

A quantificação do lodo da ETA (decantador e filtro) foi realizada por meio de fórmulas empíricas que se adaptam aos dados disponibilizados pela estação de tratamento de água. As fórmulas utilizadas foram elaboradas por Richter (2001) demonstradas nas Equações 2 e 3, e Kawamura (1991 *apud* Brasil, 1999), demonstrada na Equação 4. Pois de acordo com o estudo de Nascimento *et al.* (2017), as fórmulas empíricas de Richter e Kawamura encontraram valores próximos em relação à produção de lodo em uma ETA.

Para encontrar a massa de sólidos secos por água tratada foram aplicadas as Equações 2 e 4; após encontrar o valor do sólido seco pela fórmula de Richter utilizou-se a Equação 3 para encontrar a tonelada de sólidos por mês.

$$S = (0,2 \cdot C + K1 \cdot T + K2 \cdot D) / 1000 \quad (2)$$

Onde:

S – massa de sólidos secos precipitada ( $kg/m^3$  de água tratada);

C – Cor da água bruta (uH);

T – Turbidez da água bruta (NTU);

D – Dosagem de coagulante ( $mg.l^{-1}$ );

K1 – 1,3;

K2 – 0,26 (para o uso de sulfato de alumínio como coagulante); K2 – 0,40 (para o uso de cloreto férrico).

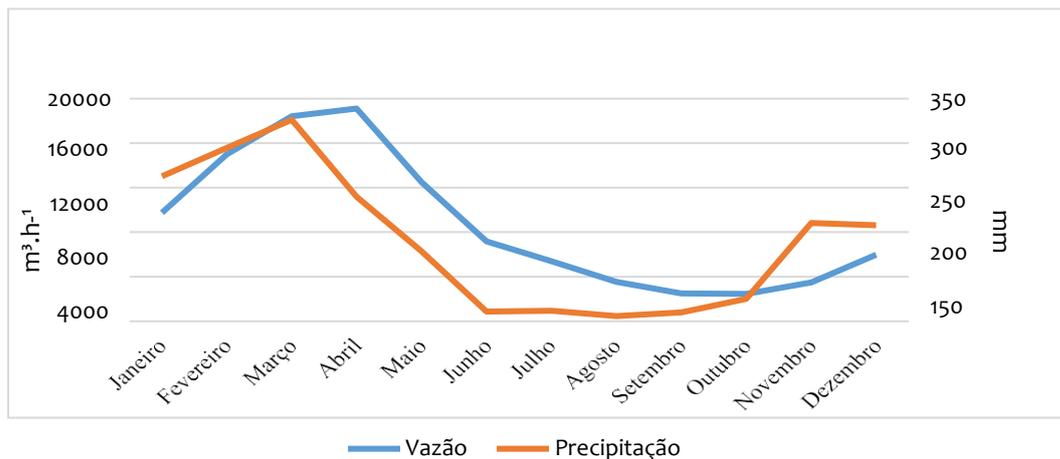
**Tabela 1 - Média mensal dos parâmetros da água bruta**

Mês	Cor [uH]	Turbidez [NTU]	pH	PAC [mL.min <sup>-1</sup> ]	Polímero [mL.min <sup>-1</sup> ]
Março	100,00	33,70	6,91	N.A	N.A
Abril	119,04	27,26	6,73	N.A	N.A
Maio	107,51	29,00	6,91	N.A	N.A
Junho	58,53	17,97	7,02	327,22	4,18
Julho	34,18	9,91	6,97	203,64	2,33
Agosto	12,47	5,07	7,16	189,05	2,08
Setembro	9,96	4,49	6,98	145,50	1,36
Outubro	11,12	5,28	7,19	148,16	1,32
Novembro	22,14	11,91	6,71	252,90	2,18

Legenda: N.A (Não se aplica)

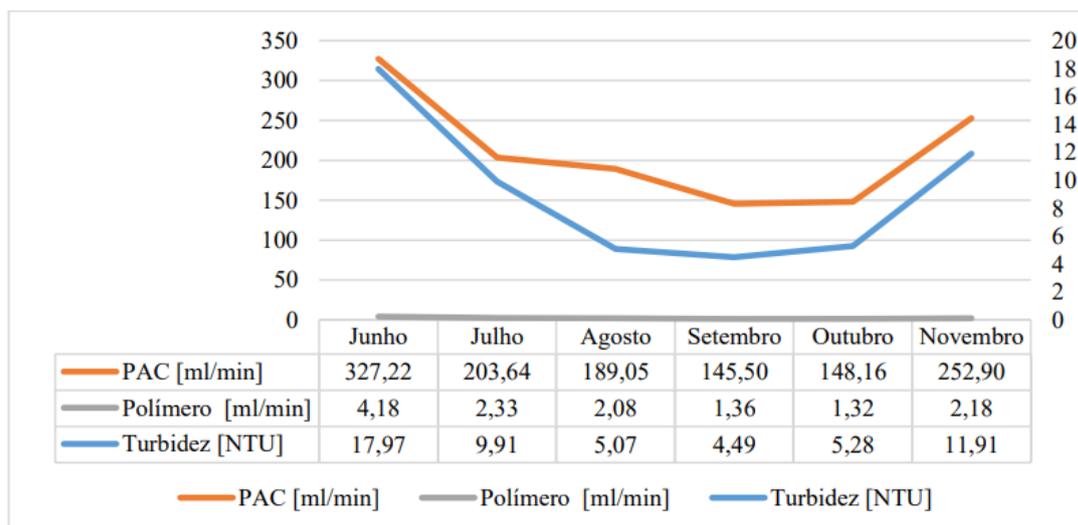
Fonte: Banco de dados da Companhia de Saneamento do Estado do Pará, 2019.

**Gráfico 1 - Média de precipitação e vazão do rio Tocantins de 2010 – 2019**



Fonte: adaptado Hidroweb e INMET (2021).

**Gráfico 2 - Relação turbidez água bruta e vazão da bomba dosadora (2019)**



Fonte: adaptado da Companhia de Saneamento do Estado do Pará (2021).

$$Ms = N \cdot S \cdot Q \quad (3)$$

Onde:

Ms - Massa de sólidos por unidade de tempo (Kg.dia<sup>-1</sup>);

N – Rendimento da unidade de processo do tratamento, segundo Ritcher (2001), adotar 100% caso os dados não estejam disponíveis ou seja, 1;

Q – Vazão de água tratada (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>).

$$P = (1,5 \cdot T + k \cdot D) \quad (4)$$

Onde:

P= de sólidos (g de matéria seca/ m<sup>3</sup> de água tratada);

T= Turbidez e água bruta (uT);

D= Dosagem de coagulante (mg.l<sup>-1</sup>);

k: Relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido. Para sulfato de alumínio, k= 0,26; Para sulfato de férrico, k= 0,54; Para cloreto férrico anidro, k= 0,66; Para cloreto férrico hidratado, k= 0,40.

“A relação estequiométrica (k) varia em função do tipo de coagulante utilizado pela ETA, podendo ser de 0,23 a 0,26, para o sulfato de

alumínio e PAC; 0,54 para sulfato férrico; 0,66 para o cloreto férrico anidro e 0,4 para o cloreto férrico hidratado.” (Brasil, 1999).

## 2.4 Preparo das amostras

Para a realização da coleta foram utilizados um balde, cordas, 5 frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) de 300 mL devidamente higienizados com água destilada, sendo um deles estéril na autoclave, gelo (gelox) para preservar as características do lodo e uma caixa térmica de isopor. O ponto de coleta foi tirado através de um GPS da marca Garmin eTrex 30x; para a medição do pH e a temperatura da amostra foi utilizado o phmetro de bolso Akrom KR22 calibrado antes da

análise.

## 2.5 Coleta das amostras

Foram realizadas duas coletas do lodo do decantador para análise. A amostra 1, referente ao período seco, possuía tempo de detenção no decantador de 10 dias, pois devido à baixa vazão do rio Tocantins e à baixa turbidez da água bruta, as drenagens dos decantadores são realizadas com menor frequência. Já a amostra 2 foi coletada no período de precipitação e possuía tempo de detenção no decantador de 3 dias. A coleta foi realizada com o auxílio de um balde e cordas (Figura 1) no ponto onde ocorre a descarga do decantador.

**Figura 1** - Coleta do resíduo do decantador



Fonte: os autores (2021).

A primeira coleta foi realizada em 7 de outubro de 2021 (Figura 2) e a segunda em 16 de novembro de 2021 (Figura 3). Para determinar a semana de coleta, foi analisada a ocorrência de precipitações na bacia hidrográfica Tocantins–Araguaia, com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As amostras foram obtidas no flocodecantador (Bloco II).

O método de coleta foi baseado no guia nacional de coleta e preservação de amostras (São Paulo, 2011). Após a coleta, o lodo foi destinado para os recipientes e mantidos resfriados com gelo (gelox) dentro de uma caixa de isopor para manter suas características.

## 2.6 Análise de laboratório

As características qualitativas do lodo foram analisadas a partir dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do resíduo do decantador (Quadro 1), cujas análises foram realizadas pelo Laboratório Tommasi Ambiental.

Através da análise do lodo da ETA foi possível a averiguação do atendimento à Resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011) sobre o lançamento *in natura* do lodo líquido em corpos d'água, assim como a comparação com os outros autores que realizaram estudos sobre o lodo de decantadores de alta taxa.

**Figura 2 - Amostra 1**

**Figura 3 - Amostra 2**


Fonte: os autores (2021).

**Quadro 1 - Parâmetros e métodos analisados**

Parâmetros	Método	Referência
<b>Nitrogênio Total</b>	4500-N e C	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição
<b>Alumínio Total</b>	3120/3015	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição/United States Environmental Protection Agency
<b>Cádmio Total</b>		
<b>Cálcio Total</b>		
<b>Chumbo Total</b>		
<b>Ferro Total</b>		
<b>Magnésio Total</b>		
<b>Manganês Total</b>		
<b>Mercurio Total</b>		
<b>Níquel Total</b>		
<b>Sólidos Totais</b>		
<b>Carbono Orgânico Total</b>	5310 B	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição
<b>Coliformes Totais</b>	9221 B	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23ª edição

Fonte: Laboratório Tommasi ambiental, 2021.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Quantificação do lodo

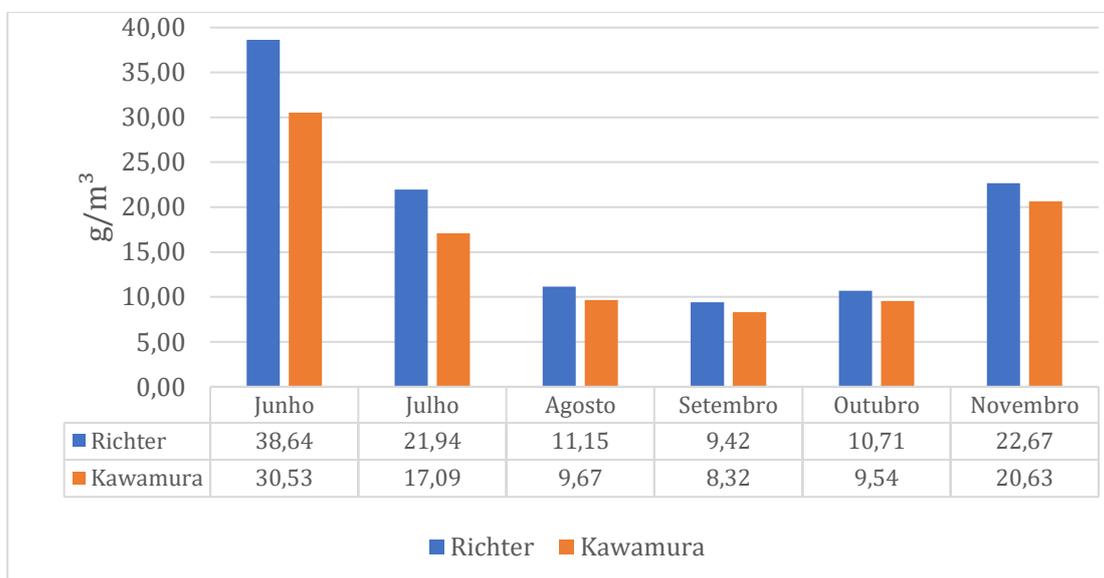
A quantidade de sólidos produzidos na ETA é verificada conforme o Gráfico 3, compreendendo os valores médios mensais analisados pela fórmula de Richter (2001) e Kawamura (1991 *apud* Brasil, 1999).

No Gráfico 3, os valores encontrados tiveram variância entre 1 g/m<sup>3</sup> e 7 g/m<sup>3</sup>, o que demonstra que a variação foi semelhante à encontrada no estudo de Nascimento *et al.* (2017). Por meio do gráfico percebeu-se que os meses que produziram maiores quantidades de sólidos na ETA foram os

que possuíam maior turbidez, cor da água bruta e consumo de coagulante.

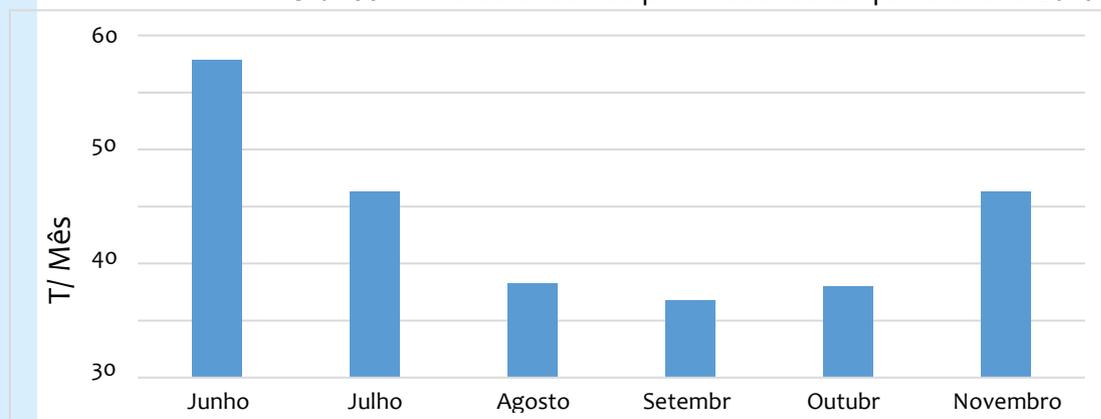
Por meio do cálculo realizado pela fórmula de Richter (Gráfico 4) foi possível identificar a quantidade de lodo gerado por unidade de tempo na ETA em estudo. No mês de junho, que é um mês onde já se inicia a queda de precipitação, a ETA gera cerca de 55 t de lodo; já no mês de novembro, apesar de iniciar o período chuvoso, percebe-se que a geração de sólidos ainda é baixa, cerca de 32 t. Porém, embora o mês de setembro tenha pouca precipitação, ainda possui uma quantidade de sólido considerável, cerca de 13,5 t.

**Gráfico 3 - Sólidos secos por água tratada da ETA no ano de 2019**



Fonte: os autores (2021).

**Gráfico 4 - Massa de sólidos por unidade de tempo no ano de 2019**



Fonte: os autores (2021).

O mês de junho de 2019, apesar de iniciar o período seco, apresentou alta quantidade de sólidos em decorrência do período chuvoso nos meses anteriores, como se pode observar no Gráfico 1, sendo que a precipitação e a vazão do rio ainda eram altas, ocasionando alta turbidez, cor e maiores dosagens de produtos químicos para tratar a água.

Observa-se que setembro de 2019 gerou menos sólidos por suceder o mês de agosto, que é o mês de menor precipitação no local de estudo. Com isso, os níveis de turbidez encontram-se baixos, exigindo baixas dosagens dos produtos químicos, gerando assim, o menor valor de sólidos produzidos.

Já no mês de novembro de 2019 há um aumento considerável em relação ao mês de outubro, que se dá em razão do início de intensas chuvas que provocam arraste de matérias presentes no solo, aumentando a turbidez, sendo necessária a utilização de maiores dosagens de coagulante e floculante.

O lodo da ETA, por ser considerado um resíduo sólido, não deve ser disponibilizado de maneira inadequada em solos e recursos hídricos, pois pode ocasionar danos ambientais, principalmente se for disposto em grandes quantidades, assim como apresentado neste estudo, devido aos produtos químicos utilizados para tratar a água.

### 3.2 Características do lodo

Por meio dos resultados das análises laboratoriais, comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430 (Brasil, 2011) e com resultados de outros autores (Tabela 2), percebeu-se que apesar da maioria dos parâmetros estarem dentro do padrão de lançamento de efluente, é necessário a implantação de um tratamento para esse resíduo, devido ao alto teor de sólidos totais presente no lodo.

**Tabela 2** - Análises dos parâmetros físicos, químicos e biológico

Parâmetros	Amostra 01	Amostra 02	Resolução CONAMA 430/2011	Dias (2018)	Moreira (2019)
Nitrogênio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	59	1,213	-	-	-
Alumínio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	11,6	0,023	-	39,96	>LQ
Cádmio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	<LQ	<LQ	0,2	-	4,35-1,16
Cálcio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	8,25	41,8	-	-	>LQ -74,46
Chumbo Total (mg.l <sup>-1</sup> )	<LQ	<LQ	0,5	-	4,68-0,59
Ferro Total (mg.l <sup>-1</sup> )	15,7	<LQ	-	22,91	-
Magnésio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	5,09	10,1	-	-	74,06-18,01
Mangânês Total (mg.l <sup>-1</sup> )	<b>7,57</b>	<LQ	1	0,34	36,30-9,16
Mercúrio Total (mg.l <sup>-1</sup> )	<LQ	<LQ	0,01	-	-
Níquel Total (mg.l <sup>-1</sup> )	<LQ	<LQ	2	-	0,87-0,24
Sólidos totais (mg.l <sup>-1</sup> )	13.010	3.474	-	1.000	8.573,33-4.173,33
Carbono Orgânico Total	446,1	122	-	-	-
Coliformes Totais <LQ	<LQ	4,5x10 <sup>^1</sup>	-	1,28x10 <sup>^4</sup>	-
Temperatura (°C)	25	25	<40	-	23,90-18,60
pH	8	7.9	4-9	8,12	7,42-6,83

Legenda: mg.l<sup>-1</sup>: miligrama por litro; NMP/100mL: número mais provável em cem mililitros; LQ: limite de quantificação

Fonte: os autores (2021).

De acordo com as análises percebeu-se que os sólidos totais diminuíram cerca de 70% do período seco para o chuvoso, tendo sua quantidade próxima àquela foi encontrada nos estudos de Dias (2018) e Moreira (2019). Devido a ETA possuir decantadores de alta taxa, há

descargas com mais frequência. Isso explica a diferença nos valores dos sólidos totais, pois no período chuvoso as descargas dos decantadores aumentam ainda mais por causa da maior quantidade de sólidos presentes na água.

Em razão do alto teor de sólidos totais

encontrado, o lançamento *in natura* do lodo pode acarretar problemas ambientais, como o aumento na quantidade de sólidos em suspensão, assoreamentos indesejáveis e mudança de cor do rio. Moreira (2019) ressalta que os valores de sólidos totais variam de acordo com o escoamento superficial, presença de feições erosivas e ausência de mata ciliar.

A concentração de metais encontrados nas amostras coletadas no decantador de alta taxa foi menor que os limites de quantificação devido às constantes limpezas. De acordo com Moreira (2019), as composições químicas do LETA dependem das características da bacia hidrográfica, dos agentes coagulantes utilizados e do tipo de operação do decantador da ETA (convencional ou de alta taxa).

A temperatura do lodo manteve-se igual nas duas amostras e o pH apresentou variação mínima, sendo praticamente igual nas duas coletas, e conforme os padrões da Resolução CONAMA nº 430 (Brasil, 2011) e em concordância com o evidenciado por outros autores, como Dias (2018) e Moreira (2019).

Esse resultado está associado à dosagem dos produtos químicos utilizados. Moreira (2019), em seu estudo, confirma que a proximidade de valores do pH se dá por causa da dosagem de aplicação dos produtos químicos utilizados para alcançar a dosagem ideal de pH ótimo de coagulação.

Os valores do carbono orgânico total (COT), do nitrogênio total, alumínio, do ferro e do manganês diminuíram na segunda amostra; isto pode estar atribuído à diluição da água do rio Tocantins em virtude das chuvas nesse período. Libânio *et al.* (2000) explica que em águas superficiais o teor de COT varia de 1 mg.l<sup>-1</sup> a 20 mg.l<sup>-1</sup>, elevando-se para até 1000 mg.l<sup>-1</sup> nas águas residuárias. O que demonstra que os valores encontrados tanto na amostra 1 quanto na amostra 2 estão dentro do limite de COT para águas residuárias.

Normalmente o lodo de ETA é composto por hidróxidos de alumínio, carbonatos de cálcio e argilas (Vesilind; Morgan; Heine, 2018). Nas análises realizadas foi possível identificar que houve aumento da concentração do cálcio e do magnésio no período chuvoso. Esses metais alcalinos-terrosos presentes no LETA são provenientes da característica da água bruta. O aumento deles justifica-se devido a alta dosagem de coagulante, em virtude da água bruta possuir maior turbidez e cor.

O acréscimo de presença de coliformes totais no período chuvoso acontece devido ao arraste de partículas do solo por meio do escoamento superficial das chuvas. De acordo com o estudo de Amâncio *et al.* (2017) percebeu-se que as maiores concentrações de coliformes totais foram verificadas no período chuvoso, por causa da alta turbidez do rio.

“No entanto, a presença de coliformes totais não é conclusiva para a avaliação da contaminação, uma vez que essas bactérias podem estar presentes, naturalmente em solos, material particulado, restos de folhas e etc.” (Moreira *et al.*, 2009)

Dentre os parâmetros que foram analisados, apenas o manganês total no período seco apresentou valor acima do limite permitido pela Resolução CONAMA nº 430 (Brasil, 2011). Esse aumento está relacionado com o tempo de detenção do lodo no decantador e a concentração do rio Tocantins em períodos secos.

### 3.3 Destinação

O lodo de ETA possui um grande potencial de reaproveitamento, seja ele em áreas degradadas, compostagem, fabricação de cerâmicas, pavimentação, construção civil, entre outros. Com vistas à melhoria da destinação desse resíduo é necessário aproveitá-lo na economia local onde a estação de tratamento é implantada.

No setor da indústria de materiais de construção investigam-se ações que a tornem ambiental e economicamente sustentável. No estudo de Santos, Melo Filho e Manzato (2018) foram propostas alternativas de destinação do subproduto para emprego na construção civil do lodo de ETA dos rios Negro e Solimões. Com os resultados obtidos concluiu-se que havia viabilidade da incorporação com lodos de ETA; no entanto, sua incorporação *in natura* causou danos estruturais em materiais de construção. Dessa forma, os resultados mais satisfatórios foram obtidos quando tais resíduos foram submetidos previamente a tratamento térmico e/ou mecânico; assim, através do beneficiamento do lodo de ETA obteve-se maior resistência deste material.

Nesse sentido, de acordo com as características, cada lodo de estação de tratamento pode ser aproveitado de diversas maneiras: como substituto parcial de argilas, na produção de materiais cerâmicos (Oliveira, Tenório; Marques, 2023); como substituto parcial

de cimento Portland (Alexandre; Luz, 2020); em pastas, argamassas e concretos (Tafarel *et al.*, 2016); como aditivo mineral ou pozolana artificial, precursor ou agregado geopolimérico (Santos, Melo Filho e Manzato, 2018). Dessa forma, entende-se que lodos de ETA podem ser convertidos em matérias-primas econômica e ambientalmente sustentáveis, e também trazer economia para as concessionárias em relação a custos quando dispostos esses resíduos em aterros sanitários.

Para Lima *et al.* (2021), as destinações adequadas de lodos de ETA estão sendo tratadas como oportunidades de aumentar a receita das companhias, quando realizado o reaproveitamento ou reciclagem, diminuição de custos com destinação a aterros e redução de impactos ambientais.

Por meio das análises realizadas no lodo da ETA em estudo, tanto no período seco como no período chuvoso, os níveis de concentração de metais pesados foram baixos, demonstrando-se que é possível a utilização deste resíduo em aplicação controlada em solo e em compostagem, assim como nos estudos de Morselli, Carmo e Andreazza (2022), pois eles apresentam baixo risco de contaminação nesses possíveis usos e integram-se com projetos já existentes na região.

O estudo demonstrou que a quantidade de alumínio presente no LETA foi maior no período seco, sendo ainda assim baixo. Porém, apesar disso, Lima *et al.* (2021) explicam que a destinação do lodo no solo necessita ser controlada devido à presença de alumínio no resíduo, pois este pode interferir na qualidade do solo, reduzindo o fósforo, sendo tóxico para alguns tipos de plantas.

Portanto, Bueno *et al.* (2011) citam que é necessário seguir as recomendações para a aplicação do lodo de acordo com a legislação vigente, além de sempre realizar a correção da acidez do solo. Apesar da necessidade desse controle, pois as características do lodo variam por diversos fatores, a presença de carbono orgânico total e de nitrogênio total no lodo da ETA podem contribuir para a melhora da adubação com este resíduo.

A aplicação do lodo de ETA em compostagem também é viável devido às características presentes no resíduo. Lima *et al.* (2021) ressaltam que a alternativa do lodo ser compostado em conjunto com sobras de resíduos vegetais em sistemas de leiras possui benefícios como o ajuste de umidade e pH e o aumento no fornecimento de minerais, entre outras melhorias.

O lodo de ETA também pode ser utilizado na recuperação de solos de áreas degradadas. Portanto, utiliza-se a Resolução CONAMA nº 375 (Brasil, 2006) como base para comparar os parâmetros, quando se destina o lodo de ETA em áreas degradadas ou uso controlado em solo (Motta, 2011). Os benefícios da utilização do lodo de ETA em solos agrícolas estão relacionados à melhoria do solo e suas condições de aeração, ajuste do pH e aumento da capacidade de retenção de água.

Segundo Motta (2011), as análises necessárias para a destinação do lodo em área degradada são: fertilidade (Ca, K, Mg, P, pH, C/N, S e N); metais (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr, Al, Fe) + Si e série de sólidos. Caso a destinação seja a recuperação de área degradadas ou uso controlado no solo, o lodo de ETA deve ser caleado até a estabilização do pH maior ou igual a 12 (Bittencourt *et al.*, 2012), garantindo-se assim, a higienização do lodo para a destinação final.

De acordo com as análises do lodo percebeu-se que a quantidade de alumínio presente no lodo da ETA é pequena, principalmente no período chuvoso; sendo assim, esta não prejudica a atividade do composto e viabiliza o seu uso. Observou-se ainda que devido aos baixos níveis de metais pesados, esta técnica de destinação pode ter um excelente desempenho caso o lodo seja agregado a outros compostos.

#### 4 CONCLUSÃO

A ETA em estudo demonstrou possuir grande dificuldade na gestão do seu resíduo, assim como a maioria das ETAs no Brasil. O lodo possui caráter poluidor e pode provocar alterações no corpo receptor; desta forma observou-se que há uma grande quantidade de sólidos gerados na ETA que são dispostos de forma irregular, possuindo alto teor de sólidos totais e metais pesados abaixo do limite de quantificação.

O resíduo da ETA apresenta potencial de reutilização na compostagem, em solos e em áreas degradadas, desde que seu uso seja controlado. Essa reutilização pode acrescentar receita para a empresa de saneamento, além de diminuir os danos ambientais que podem ser ocasionados pelo descarte inadequado deste resíduo.

Apesar das limitações da pesquisa, quanto a ausência de dados das análises realizadas diariamente pela companhia de saneamento sobre turbidez, cor da água bruta e dosagem dos

produtos químicos utilizados no processo de tratamento da água, foi possível alcançar o objetivo proposto.

As sugestões de destinação do resíduo apresentadas no estudo necessitam de análises mais aprofundadas sobre o DQO e DBO do lodo da ETA, pois são importantes para indicar a quantidade de matéria orgânica presente no resíduo. Sugere-se, ainda, que seja feito o monitoramento dos corpos d'água e análises dos impactos ambientais causados pelo lançamento do lodo de forma *in natura* no rio Tocantins.

## 5 REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.115-122, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ZXVPPthHjP6NZ6HgN8rMD7s/?lang=pt>. Acesso em: 02 de ago. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2012.
- ALEXANDRE, E.; LUZ, C. A. Substituição parcial do cimento CPV-ARI por lodo de estação de tratamento de água (ETA). **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/S9WvYCH4nfs3JgdYHSwHkFt/?lang=pt>. Acesso em: 04 de dez. 2024.
- AMÂNCIO, D. V.; RODRIGUES, F. N.; RIBEIRO, K. D.; COELHO, G. Caracterização do lodo gerado numa estação de tratamento de água. **Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 29-44, ago./dez., 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322651544\\_CHARACTERIZACAO\\_DO\\_LODO\\_GERADO\\_NUMA\\_ESTACAO\\_DE\\_TRATAMENTO\\_DE\\_AGUA](https://www.researchgate.net/publication/322651544_CHARACTERIZACAO_DO_LODO_GERADO_NUMA_ESTACAO_DE_TRATAMENTO_DE_AGUA). Acesso em: 21 dez. 2021.
- ANDRADE, C. F.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, F. de C. Gestão ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de eta e seus impactos na qualidade das águas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5, 2014, Belo Horizonte-MG: IBEAS, 2014. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/IX-004.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.
- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17 n. 3, jul./set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/RxJFBX3ntCZqSVpxw57kjZG/>. Acesso em: 5 set. 2023.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Consolidação nº 888, de 4 de maio de 2021. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Anexo XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 4 de maio de 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: : 28 out. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em: [https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com\\_gmg&controller=document&id=13281-resolucao-no-430-de-13-de-maio-de-2011?layout=print](https://www.saude.mg.gov.br/index.php?option=com_gmg&controller=document&id=13281-resolucao-no-430-de-13-de-maio-de-2011?layout=print). Acesso em: 10 dez. 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: [https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legisacao\\_biosolido/res\\_conama37506-1.pdf](https://incaper.es.gov.br/Media/incaper/PDF/legisacao_biosolido/res_conama37506-1.pdf). Acesso em: 01 de set. 2023.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Financiadora de Estudos e Projetos. **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodo de Estações de Tratamento de Água**. 1. ed. ABES RJ; FINEP, 1999. Disponível

em:

<https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5585>.

Acesso em: 19 dez. 2021.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D. da; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A. de. MARIA, I. C. de. Chemical and microbiological attributes of na oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, p. 1461-1470, ago. 2011.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rLQKCWchwVTpyqNfBBDPmtj/>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

DIAS, W. de F. **Potencialidade da Recirculação do Lodo de Decantadores de Alta Taxa em ETAs Convencionais**. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) -

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21204>. Acesso em: 19 de dez. 2021.

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.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. New York: John Wiley & Sons Inc., 720p, 1999.

LIBÂNIO, M.; LIBÂNIO, P. A. C.; COSTA, B. M. P.; SPERLING, E. von. Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento.

**RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n.4, p. 41-55, out./dez. 2000.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/275519629\\_AVALIACAO\\_DA\\_RELEVANCIA\\_DO\\_CARBONO\\_ORGANICO\\_TOTAL\\_COMO\\_PARAMETRO\\_DE\\_CHARACTERIZACAO\\_DE\\_AGUAS\\_DE\\_ABASTECIMENTO](https://www.researchgate.net/publication/275519629_AVALIACAO_DA_RELEVANCIA_DO_CARBONO_ORGANICO_TOTAL_COMO_PARAMETRO_DE_CHARACTERIZACAO_DE_AGUAS_DE_ABASTECIMENTO). Acesso em: 20 de dez. 2021.

LIMA, U. T. G. M.; MARTINS, M. do C. S.; COSTA, A. T. da; JUNKES, J. A. Destinações ambientalmente adequadas do resíduo gerado no processo de tratamento de água convencional.

**Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 24041-24057, mar. 2021. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/RJD/article/view/26052/20660>. Acesso em: 15 jan. 2022.

MOREIRA, B. S. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de água e sua utilização como adsorvente para arsênio**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental - Área de Concentração: Tecnologias Ambientais) Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/4fe1a55f-4662-485c-8de3-aab3df609684>. Acesso em: 19 dez. 2021.

MOREIRA, R. C. A.; GUIMARÃES, E. M.; BOAVENTURA, G. R.; MOMESSO, A. M.; LIMA, G. L. de. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. **Química Nova**, Brasília, v.32, n.8, p. 2085–2093, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/nsCmLNg5vfQYgk3GQ4MYdvd/>. Acesso em: 21 dez. 2021.

MORSELLI, L. B. G. A.; CARMO, L. A G.; ANDREAZZA, R. Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. **Scientia Plena**, v. 18, n. 5, 2022. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/download/6524/2485/29265>. Acesso em: 03 de dez. 2024.

MOTTA, A. C. V. **Recuperação de áreas degradadas com lodo de ETA. Relatório Final RIPLA**, 2011.

NASCIMENTO, V. C. do; SOUZA, V. M. M.; FREITAS, A. G. de; ANDRADE, I. C. de M. Quantificação e proposta de destinação final do lodo de decantador da Estação de Tratamento de Água (ETA) em Itabirito, MG. **Revista Petra**, v. 3, n. 1, p. 38-56, jan./jul. 2017.

OLIVEIRA, S. F. M.; TENÓRIO, T. M.; MARQUES, S. K. J. Caracterização do lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade de Palmeira dos Índios - Alagoas para potencial aplicação em massas cerâmicas. **Revista Matéria**, v. 28, n. 4, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/6Dp7D8PKRPDVkhxqPhGHGjw/>. Acesso em: 05 de dez. 2024.

PEREIRA, S. L. de M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) -

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em:  
<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5450>.  
Acesso em: 02 de nov. 2021.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

RODRIGUES, M. J. L. **Eventos hidrológicos extremos em Marabá-PA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia) - Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014. Disponível em:  
[https://bdm.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/1953/1/TC\\_CCC\\_EventosHidrológicosExtremos.pdf](https://bdm.ufpa.br/jspui/bitstream/prefix/1953/1/TC_CCC_EventosHidrológicosExtremos.pdf). Acesso em: 09 jan. 2022

SANTOS, G. Z. B.; MELO FILHO, J. A.; MANZATO, L. Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/G537YjR7w7chV3zHdvJQDQc/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 04 de dez. 2024.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Disponível em:  
<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/8a791941-ad42-462f-98e1-e0ff6c733e9d>. Acesso em: 27 set. 2021

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M.; HEINE, L. G. Introdução à Engenharia Ambiental. Tradução da 3ª Edição Norte-americana: **Cengage Learning**, 472p; 2018.

VIANA, C. C.; RODRIGUES, F. N.; RIBEIRO, K. D. Caracterização físico-química e biológica do lodo gerado na Estação de Tratamento de Água (ETA). In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 4, Bento Gonçalves (RS), 2014.

TAFAREL, N. F.; MACIOSKI, G.; CARVALHO, K. Q.; NAGALLI, A.; FREITAS, D. C.; PASSIG, F. H. Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 974–986, dez. 2016. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/rmat/a/GgR9NvqtH7KBQyH5KGGZJKQ/>. Acesso em: 03 de dez. 2024.