



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

JONATHAS FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO  
CACHORRO EM FERNANDO DE NORONHA**

Recife

2023

JONATHAS FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO  
CACHORRO EM FERNANDO DE NORONHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Química Industrial da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Marta Maria Menezes Bezerra Duarte

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Jonathas Ferreira da .

Avaliação da estação de tratamento de esgoto sanitário Cachorro em Fernando de Noronha / Jonathas Ferreira da Silva. - Recife, 2023.

73 : il., tab.

Orientador(a): Marta Maria Menezes Bezerra Duarte

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Química Industrial - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Esgoto sanitário. 2. Estação de tratamento de efluentes. 3. Padrões e condições de lançamento de esgoto sanitário. 4. Controle estatístico do processo. 5. Gráfico de controle. I. Duarte, Marta Maria Menezes Bezerra . (Orientação).

II. Título.

540 CDD (22.ed.)

JONATHAS FERREIRA DA SILVA

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO CACHORRO EM FERNANDO DE NORONHA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do Curso de  
Graduação em Química Industrial da  
Universidade Federal de Pernambuco,  
como requisito parcial para a obtenção do  
título de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 10/05/2023

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 MARTA MARIA MENEZES BEZERRA DUARTE  
Data: 12/05/2023 15:45:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Marta Maria Menezes Bezerra Duarte (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente  
 LUCIANO COSTA ALMEIDA  
Data: 12/05/2023 14:54:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Luciano Costa Almeida (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente  
 ALEX LEANDRO ANDRADE DE LUCENA  
Data: 12/05/2023 14:13:43-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Alex Leandro Andrade de Lucena (Examinador externo)

## DEDICATÓRIA

Especialmente a minha esposa Rebeca, minha filha Eva, minha mãe Jandira, minha avó Maria Victor (*in memoriam*) e a todos que contribuíram ao longo da minha vida e que me fizeram ser.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre está ao meu lado independente do momento e por me proporcionar todos os dias forças e ânimo para concluir essa etapa da minha vida.

A minha esposa Rebeca Carina, por estar presente em minha vida e por me dar suporte emocional e social ao longo de toda a graduação.

A minha filha Eva, por me proporcionar um novo propósito para viver e buscar melhorar cada vez mais.

Aos meus pais, em especial minha mãe Jandira Ferreira, por sempre buscarem me proporcionar tempo e condições necessárias para continuar estudando.

A Universidade Federal de Pernambuco, a Coordenação do curso Química Industrial e aos docentes que fazem parte do Departamento de Engenharia Química por todas as oportunidades e por todos os momentos.

A minha orientadora Professora Dr<sup>a</sup> Marta Duarte, por se disponibilizar para me ajudar a construir esse trabalho de forma clara e paciente, além de compartilhar seu conhecimento e experiência.

Aos funcionários da Companhia Pernambucana de Saneamento que fazem parte da Gerência de Fernando de Noronha e da Gerência de Qualidade de Laboratórios por me ajudarem a ter acesso aos resultados das análises mensais da estação de tratamento de efluentes domésticos Cachorro para que esse trabalho pudesse ser estruturado e apresentado.

A todos os colegas de curso pelo apoio acadêmico e social, dos quais contribuíram para as aprovações nas disciplinas e crescimento pessoal e intelectual.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação.

## RESUMO

O saneamento básico deve ser garantido às pessoas principalmente por manter boas condições em relação à saúde e meio ambiente. Na ilha de Fernando de Noronha, a Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) promove o tratamento de esgoto sanitário por meio de duas estações de tratamento de esgoto (ETE). Em relação ao controle estatístico de processo (CEP), existem algumas ferramentas que auxiliam a manter um processo em condições controláveis. Diante disso, o trabalho buscou avaliar as condições do processo de tratamento de esgoto sanitário da ETE Cachorro no período de 2020 a 2022, tendo-se em vista analisar o processo em relação aos parâmetros da Instrução Normativa 003/2018 do CPRH por meio da ferramenta estatística gráfico de controle e análise da capacidade de processo. Foi possível acompanhar o processo de tratamento e realizar o levantamento dos dados dos parâmetros de monitoramento. Os gráficos de controle foram produzidos com os dados históricos referente às análises dos parâmetros pH, temperatura, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, remoção de DBO (%) e coliformes termotolerantes, realizadas pela COMPESA. A partir disso, verificou-se que os parâmetros sólidos sedimentáveis, óleos e graxas (a partir de março de 2022), remoção de DBO (%) e coliformes termotolerantes apresentaram arranjos que representam processo fora de controle estatístico, como pontos além dos limites de controle (LIC e/ou LSC), assim como, em alguns casos, pôde-se verificar pontos além do LSE e/ou LIE. Essas condições estavam presentes no processo por causa de uma série de problemas operacionais que foram detectadas. Além disso, os valores do índice de capacidade  $C_p$  mostraram que para a remoção de DBO (%) o processo não é capaz, enquanto para o pH, o processo é capaz e os valores do índice  $C_{pk}$  mostraram que somente parâmetro pH está centralizado. Sendo assim, as ações propostas para resolução desses problemas foram: determinar cronograma de limpeza da caixa de areia, realizar manutenção preventiva dos módulos RAFA/filtro anaeróbio, realizar análises de sólidos sedimentáveis semanalmente, entre outras. Dessa forma, foi possível utilizar a ferramenta gráfico de controle para monitorar o processo de tratamento da ETE e desenvolver ações para reduzir a variabilidade e, conseqüentemente, reduzir o número de não-conformidades.

**Palavras-chave:** capacidade, controle, esgoto sanitário, monitoramento, processo.

## ABSTRACT

Basic sanitation must be guaranteed to people mainly to maintain good conditions in relation to health and the environment. On the island of Fernando de Noronha, the Sanitation Company of Pernambuco (COMPESA) promotes the treatment of sanitary sewage through two sewage treatment stations (ETE). Regarding statistical process control (SPC), there are some tools that help to maintain a process in controllable conditions. In view of this, the study sought to evaluate the conditions of the sewage treatment process at ETE Cachorro in the period from 2020 to 2022, with a view to analyzing the process in relation to the parameters of Normative Instruction 003/2018 of the CPRH through the tool Statistical chart of control and analysis of process capability. It was possible to monitor the treatment process and collect data on monitoring parameters. The control graphs were produced with the historical data referring to the analyzes of the parameters pH, temperature, sedimentable solids, oils and greases, removal of BOD (%) and thermotolerant coliforms, carried out by COMPESA. From this, it is tolerated that the parameters sedimentable solids, oils and greases (from March 2022), BOD removal (%) and thermotolerant coliforms adopted arrangements that represent a process out of statistical control, such as points beyond the limits of control (LCL and/or ULC), as well as, in some cases, points beyond the USL and/or LSL could be verified. These conditions were present in the process because of a series of operational problems that were identified. In addition, the  $C_p$  capability index values appreciated that for BOD removal (%) the process is not capable, while for pH, the process is capable and the  $C_{pk}$  index values appreciated that only the pH parameter is centralized. Therefore, the proposed actions to resolve them were: determining the sandbox cleaning schedule, performing preventive maintenance of the RAFA/anaerobic filter modules, performing weekly sedimentable solids analysis, among others. In this way, it was possible to use the graphical control tool to monitor the treatment process of the WWTP and develop actions to reduce variability and, consequently, reduce the number of nonconformities.

**Keywords:** capacity, control, sewage, monitoring, process.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de internação (por 10 mil habitantes) associadas ao problema relacionado à ausência de saneamento em 2019.....	18
Figura 2 - Exemplo de grade e de desarenador utilizados em tratamento preliminar convencional de esgoto sanitário.....	22
Figura 3 - Exemplo de decantador primário utilizado em tratamento preliminar convencional de esgoto sanitário.....	23
Figura 4 - Diagrama de tratamento com três tipos de processos e sistema de tratamento e destino do lodo.....	26
Figura 5 - Exemplo de um gráfico de controle de um processo estável.....	35
Figura 6 - Guia para escolha do tipo de gráfico de controle que será aplicado em um determinado processo.....	36
Figura 7 - Zonas das regras usadas no procedimento <i>Western Electric</i> .....	38
Figura 8 - Representação das regras para detecção de causas especiais segundo a ISO 7870-2: 2013.....	39
Figura 9 - Representação do padrão cíclico de periodicidade em gráficos de controle.....	40
Figura 10 - Fluxograma das etapas do processo de tratamento da ETE Cachorro.....	47
Figura 11 - Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para pH (A), temperatura (B) e sólidos sedimentáveis (C).....	53
Figura 12 - Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para sólidos sedimentáveis com os dados de 2021 e 2022.....	54
Figura 13 - Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para óleos e graxas (A), remoção de DBO (B) e coliformes termotolerantes (C).....	56
Figura 14 - Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para coliformes termotolerantes ampliado.....	58
Figura 15 - Melhoria de processo utilizando gráfico de controle.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais sistemas de tratamento biológico de esgoto doméstico....	24
Tabela 2	Condições e padrões de lançamento para efluentes sanitários.....	27
Tabela 3	Percentual de remoção mínima exigida pela Norma Técnica CPRH 2002 de acordo com a carga orgânica do efluente.....	29
Tabela 4	Valores máximos de coliformes fecais de acordo com a classe dos corpos d'água, conforme Norma Técnica CPRH 2007.....	29
Tabela 5	Parâmetros de controle referentes ao monitoramento mensal da ETE Cachorro.....	43
Tabela 6	Resumo dos procedimentos operacionais que devem ser realizados na ETE Cachorro.....	48
Tabela 7	Limites de controle calculados com base em dados históricos da ETE Cachorro.....	51
Tabela 8	Limites de controle para gráficos de controle em relação aos respectivos parâmetros de qualidade (retificação).....	52
Tabela 9	Dados para cálculo dos índices de capacidade de processo.....	59
Tabela 10	Resultado dos cálculos dos índices de capacidade de processo $C_p$ e $C_{pk}$ ( $C_{pi}$ e $C_{ps}$ ).....	59
Tabela 11	Medidas para eliminar ou reduzir as causas especiais presentes no processo de tratamento da ETE Cachorro.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C	Carga orgânica bruta
CEP	Controle estatístico de processo
CIESA	Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e Saúde Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
$C_p$	índice de capacidade potencial do processo
$C_{pi}$	Índice de capacidade de processo unilateral (limite inferior)
$C_{pk}$	Índice de capacidade real do processo
$C_{ps}$	Índice de capacidade de processo unilateral (limite superior)
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IL	Idade de lodo
LC	Linha central
LCL	<i>Lower control limit</i>
LIC	Limite inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
LIE	Limite inferior de especificação
LSE	Limite superior de especificação
NMP	Número mais provável
OD	Oxigênio dissolvido
O&G	Óleos e graxas
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
RAFA	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS-AE	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Água e Esgoto
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UCL	<i>Upper limit of control</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
$C_{\text{entrada}}$	Carga orgânica afluyente
$C_{\text{saída}}$	Carga orgânica efluente
$c_4$	Fator de correção
$d_2$	Fator de correção
$D_3$	Fator de correção
$D_4$	Fator de correção
$E_2$	Fator de correção
$\text{H}_3\text{O}^+$	Íon hidrônio
$\text{L}\cdot\text{dia}^{-1}$	Litros por dia
$\text{m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$	Metro cúbico por dia
$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Miligrama por litro
$\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$	Mililitro por litro
$n$	Tamanho da amostra
$\text{NMP}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$	Número mais provável por cem mililitros
$R$	Amplitude
$R_m$	Amplitude móvel
$\bar{R}_m$	Média da amplitude móvel
$R_{mi}$	Amplitude móvel para o ponto $i$
$s$	Desvio padrão amostral
$X$	Valor individual
$\bar{x}$	Média
$x_i$	valor individual para o ponto $i$
$x_{i+1}$	Valor individual para o ponto $i$ mais um
$\bar{x}_m$	Média móvel
$\sigma$	Desvio padrão do processo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	SANEAMENTO E SAÚDE.....	17
2.2	POLUIÇÃO E ESGOTO SANITÁRIO.....	19
2.3	TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	20
<b>2.3.1</b>	<b>Estação de tratamento de esgoto sanitário.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Métodos de tratamento e processos unitários.....</b>	<b>21</b>
2.4	LEGISLAÇÃO E PARÂMETROS DE QUALIDADE.....	26
<b>2.4.1</b>	<b>Legislação referente a lançamento de esgoto sanitário em corpo receptor.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Parâmetros de controle de qualidade.....</b>	<b>30</b>
2.5	CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	32
<b>2.5.1</b>	<b>Gráfico de controle.....</b>	<b>34</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Interpretação dos gráficos de controle.....</b>	<b>37</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Capacidade do processo.....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
3.1	ACOMPANHAMENTO DE UMA UNIDADE DE OPERAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	43
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	44
3.3	GRÁFICO DE CONTROLE.....	44
<b>3.3.1</b>	<b>Capacidade do processo.....</b>	<b>45</b>
3.4	MELHORIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO.....	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
4.1	ACOMPANHAMENTO DE UMA UNIDADE DE OPERAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOSANITÁRIO.....	47
4.2	LEVANTAMENTO DE DADOS.....	50
4.3	GRÁFICO DE CONTROLE.....	50
<b>4.3.1</b>	<b>Capacidade do processo.....</b>	<b>58</b>
4.4	MELHORIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO.....	60
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE A – Dados referentes às análises dos parâmetros de qualidade da ETE Cachorro do ano de 2020 a 2022.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXO A – Fatores para construção de gráficos de controle para variáveis.....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os lançamentos de esgoto diretamente em corpos receptores são irregulares e impróprios para a manutenção e preservação ambiental. Quando são lançados em rios, lagos ou oceanos, sem o devido tratamento, a carga orgânica elevada traz consequências como a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD), dificultando o processo de autodepuração no respectivo corpo hídrico, podendo causar a morte da flora e fauna (CAMPOS; KUHN, 2021).

Em virtude disso, visando adequar o esgoto ao despejo na natureza é imprescindível que sejam tratados em Estação de Tratamento de Efluente (ETE). Essas unidades possuem processos operacionais para adequar o esgoto aos padrões estabelecidos pela legislação, cuja finalidade é a preservação da qualidade no corpo receptor (SANTANA *et al.* 2020).

O sistema de tratamento dos esgotos é formado por uma série de operações unitárias, aplicadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para transformar essas substâncias em outras de forma aceitável, ou seja, em condições exigidas pela legislação vigente (JORDÃO; PESSOA, 2011). Existem vários tipos de tratamento de efluente sanitário, entretanto, de acordo com Oliveira, Azevedo e Cavalcanti (2021), os tratamentos biológicos anaeróbios e aeróbios foram comumente empregados.

Segundo Sperling (1996), o objetivo do tratamento biológico é remover a matéria orgânica que se apresenta dissolvida ou em suspensão. Os microrganismos presentes no esgoto fazem parte do processo e, em condições aeróbias, convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular. Em contrapartida, em condições anaeróbicas, os microrganismos realizam a digestão em três etapas: hidrólise, acidogênese e metanogênese, em que o produto mais abundante é o gás metano e dióxido de carbono (OLIVEIRA; AZEVEDO; CAVALCANTI, 2021).

Nesse sentido, no Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio do Art. 3º da Resolução Nº 430 de maio de 2011, afirma que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados em corpos receptores se obedecerem às condições, padrões e exigências desta Resolução e de outras normas aplicáveis (BRASIL, 2011). Ademais, no Estado de Pernambuco, o órgão responsável em exercer a governança ambiental é a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), na qual elaborou um conjunto de Normas Técnicas que servem como instrumento de

fiscalização, incluindo o controle de parâmetros de lançamento de efluentes domésticos (CPRH, 2022).

Para que o serviço de tratamento de esgoto sanitário possa existir, é necessário que as esferas governamentais desenvolvam ações e oportunidades às empresas de saneamento. O Art. 16 da Lei Estadual nº 11.445/2007 afirma que a prestação regionalizada de serviços de saneamento poderia ser realizada por Órgão, Autarquia, Fundação de direito público, Consórcio público, Empresa pública ou Sociedade de economia mista estadual, do Distrito Federal, ou municipal, na forma da legislação. Entretanto, esse Artigo foi revogado pela Lei nº 14.026/2020, limitando a única modalidade de contratos entre os municípios e as Companhias Estaduais de Saneamento Básico para garantir a universalização desse serviço (SCARTEZZINI, 2020).

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) é uma autarquia que tem como o Governo Estadual de Pernambuco o principal acionista. Ela foi criada com o objetivo de levar água potável e esgotamento sanitário para a população de Pernambuco. Segundo a COMPESA, quase todas as cidades do Estado, e o distrito de Fernando de Noronha, possuem unidades que trabalham para levar um serviço de saneamento de qualidade (COMPESA, 2022).

Ainda nessa perspectiva, sabe-se que a principal ilha do arquipélago de Fernando de Noronha, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tem uma área de 18.609 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 3.140 habitantes (IBGE, 2022). Além disso, há também um fluxo muito maior de turistas e moradores temporários (trabalhadores) que cresce a cada ano nos quais interferem de forma significativa no controle demográfico da ilha (NORONHA, 2023). Diante desse cenário populacional em Fernando de Noronha, a COMPESA possui duas unidades de estação de tratamento de esgoto doméstico, Boldró e Cachorro.

Uma unidade de tratamento de efluente deve operar de forma eficaz, principalmente para adequar os parâmetros de qualidade regidos pelas legislações vigentes. Em virtude disso, Montgomery (2012) afirma que a qualidade é inversamente proporcional a variabilidade, ou seja, para aumentar a qualidade dos tratamentos de esgoto é necessário reduzir a variabilidade desses processos. Portanto, é importante aplicar técnicas de Controle Estatístico de Processo (CEP) para identificar falhas no processo de tratamento de efluentes, com o objetivo de desenvolver medidas corretivas, evitando o lançamento indevido nos corpos receptores (LUZ, 2020).

Nesse sentido, segundo Nojosa *et. al* (2019), o Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma técnica que pode ser aplicada em um sistema de produção que permite a redução da variabilidade em relação às variáveis de interesse do processo. Além disso, o CEP é muito utilizado para conduzir o processo a um nível maior de qualidade nos resultados (LIMA *et al.* 2006; FURTADO, 2020). Sendo assim, uma das ferramentas mais utilizadas para esse controle são as Cartas de Controle, que são gráficos que mostram a variabilidade de dados de um processo em função do tempo, no qual serve para avaliar o desempenho e nível de controle (PIERITZ, 2017)

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho da Estação de Tratamento de Esgoto doméstico Cachorro, localizada em Fernando de Noronha. Visando atender o objetivo geral foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Vivenciar de forma prática o acompanhamento de uma unidade de operação do tratamento de efluentes;
- Realizar o levantamento de dados referentes aos ensaios físico-químicos do efluente na ETE Cachorro em Fernando de Noronha no período de 2020 a 2022;
- Construir Gráficos de Controle para analisar a variabilidade do processo de tratamento e verificar a capacidade do processo.
- Propor melhorias de operação de acordo com as possíveis causas especiais de variabilidade do processo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico serão apresentados pontos relacionados ao saneamento, tratamento de esgoto sanitário, tipos de sistemas de tratamento biológicos a legislação e parâmetros de qualidade. Além disso, esse tópico busca mostrar de forma geral as ferramentas de Controle Estatístico de Processo, com ênfase nos Gráficos de Controle e as avaliações que podem ser realizadas a partir dos resultados obtidos.

### 2.1 SANEAMENTO E SAÚDE

A Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, considera o saneamento básico como o conjunto de ações socioeconômicas que têm como objetivo alcançar níveis superiores de salubridade ambiental, em que serviços de esgotamento sanitário fazem parte do conjunto de ferramentas que têm como finalidade principal proteger e melhorar as condições de vida das pessoas de centros urbanos e zonas rurais (BRASIL, 2020). Esta lei exige que os Municípios e o Distrito Federal realizem planejamento, organização e execução de atividades que envolvem soluções para melhorar a realidade referente à oferta e generalização dessas ações para a população.

Em contrapartida, no Brasil, nem todos tinham acesso a esse direito de forma eficaz. Sendo isso um fator pontual para a propagação de doenças, visto que a falta de acesso a um sistema de coleta e tratamento de esgoto se tornou, ao longo dos anos, uma realidade generalizada (BRK AMBIENTAL, 2020).

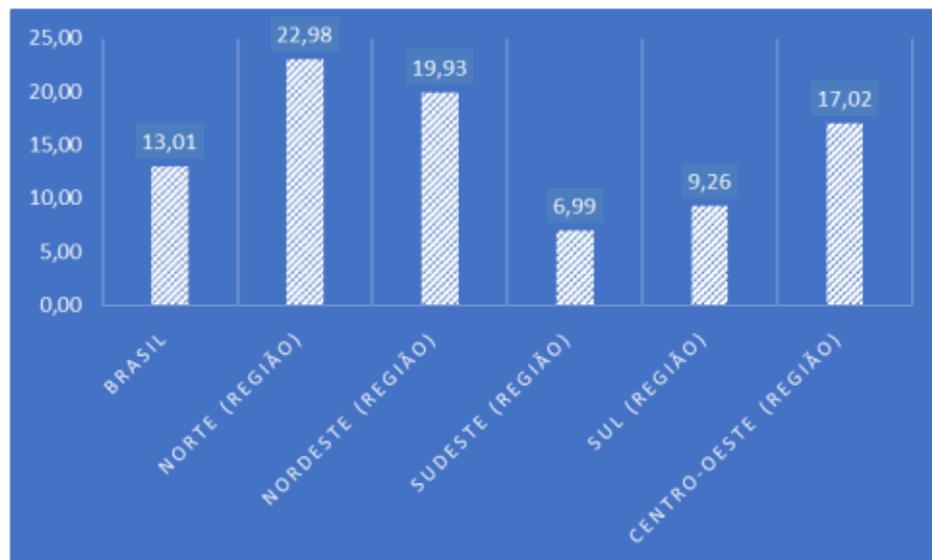
Em 2017 foi realizada no Brasil a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), referente ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. Em relação ao serviço de esgotamento sanitário, a cobertura desse serviço é menor e mais heterogênea em comparação ao serviço de abastecimento de água. Enquanto no Sudeste, mais de 90% dos Municípios têm esse serviço, nas demais regiões esses percentuais são abaixo de 50%: na Região Nordeste, 49,0%; na Região Sul, 40,9%; na Região Centro-Oeste, 38,1%; e, na Região Norte, 13,8% (IBGE, 2020).

Durante o I Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e Saúde Ambiental (CIESA), o ministro da Saúde afirmou que segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a cada real investido em saneamento básico economiza nove reais em saúde (BRASIL, 2017). Ainda nesse aspecto, de acordo com um estudo realizado pelo Instituto Trata Brasil, durante o período de 2010 a 2018 o Brasil passou de 603,6

mil para 273,4 mil internações por causa de doenças relacionadas à falta de saneamento (CARLOS; FERREIRA FILHO, 2021).

Contudo, o sistema de saúde do país recebeu durante o ano de 2019 um acréscimo de quase 30 mil internações em comparação com os anos anteriores, no qual serviu de exemplo para mostrar que o problema na saúde por causa da falta de saneamento ainda persistia (CARLOS; FERREIRA FILHO, 2021). Um gráfico com distribuição de internações por região devido ao problema relacionado à ausência de saneamento está apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Taxa de internações (por 10 mil habitantes) associadas ao problema relacionado à ausência de saneamento em 2019.



Fonte: CARLOS; FERREIRA FILHO (2021).

Como pode ser visualizada na Figura 1, a região do Norte apresenta o maior índice de internações durante o ano de 2019, visto que durante esse período existia o pior cenário em termos de esgotamento sanitário. Pode-se perceber na Figura 1 que o Sudeste possui um menor número de internações, visto que a situação referente a esgotamento é a melhor, segundo IBGE (2020), comparada às outras regiões (CARLOS; FERREIRA FILHO, 2021).

Em decorrência dessas possíveis problemáticas que envolvem a preservação ambiental e a manutenção da qualidade da água, é válido salientar que o gerenciamento de saneamento básico, referente às medidas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, precisa de atenção, pois está diretamente relacionado à saúde pública. O devido tratamento e destino do esgoto devem ser realizados para

melhorar a qualidade de vida das pessoas (BRASIL, 2020). Sendo assim, vale ressaltar que de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – Serviços de água e esgoto (SNIS-AE) de 2020, ocorreu um crescimento de 4,0% em relação ao ano de 2019 nos serviços de esgotamento sanitário do país, porém apenas 50,8% de todo o esgoto gerado estava sendo tratado (BRASIL, 2021).

## 2.2 POLUIÇÃO E ESGOTO SANITÁRIO

Em relação aos recursos hídricos, pode-se definir poluição como sendo a adição de substâncias que modifiquem as características do curso d'água, prejudicando a sua utilização para os devidos fins. A avaliação referente a carga poluidora é indispensável para construir ações e medidas de controle para minimização os impactos gerados no meio ambiente. Algumas dessas substâncias são os sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, nutrientes, patogênicos, sólidos inorgânicos e metais pesados, das quais podem ter origem em esgotos domésticos. Cada uma dessas substâncias pode gerar efeitos diferentes no processo de poluição (ABAYA *et al.* 2018).

Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2006), o segundo estágio de poluição total das águas é definido quando o corpo receptor é expressivamente afetado pela alta carga poluidora, traduzida pelos níveis de sólidos em suspensão e pelo consumo de oxigênio dissolvido. Para controlar esses níveis e seguir cumprindo os requisitos das legislações ambientais vigentes, uma das principais ações é implantar um sistema eficaz de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

A característica dos esgotos domésticos é variável, porém um dos indicadores que é mais presente é a alta concentração orgânica, cuja composição apresenta carboidratos, proteínas, óleos e gorduras, entre outros. Dos sólidos que compõem as características dos esgotos domésticos, uma expressiva parcela desses são orgânicos (VASCONCELOS, 2020). Ainda assim, os microrganismos também estão presentes, com destaque para as bactérias, vírus, protozoários e algas. Sabe-se que as bactérias do grupo coliforme se encontram nas fezes dos humanos e de animais de sangue quente. Por causa disso, esse grupo representa um indicador de poluição e conseqüentemente contaminação biológica. Como seria inviavelmente econômico realizar análises para determinação de microrganismos patogênicos existentes nos

esgotos, a ação de controle de qualidade se dá mediante a presença desse grupo específico (MIKI *et al.* 2022).

## 2.3 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

No Brasil, o déficit em relação aos serviços sanitários faz parte da história, em que a população sofre com a disseminação de doenças como diarreia, cólera, febre tifoide e hepatite (VILARINHO, 2022). Nesse sentido, vale pontuar que o esgoto sanitário representa um risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana (AVELAR; MATOS; PIMENTEL, 2019). Ainda assim, a importância do tratamento do esgoto sanitário também visa manter a qualidade dos recursos hídricos que estão disponíveis na natureza. Por causa disso, diversas tecnologias e tipos de sistemas de tratamento de esgoto sanitário foram desenvolvidos ao longo dos anos, trazendo meios para adequar os efluentes em condições e limites aceitáveis (VASCONCELOS, 2020).

### 2.3.1 Estação de tratamento de esgoto sanitário

Uma estação de tratamento de esgoto pode ser definida como um local em que possui um conjunto de técnicas relacionadas às unidades operacionais de tratamento, equipamentos, ferramentas auxiliares (tubulações, vertedouros, canais, entre outros), cuja finalidade é reduzir cargas poluidoras e condicionar o resíduo de tratamento para o respectivo destino. Para que o esgoto seja tratado nessas unidades, todo o material é transferido pela rede coletora pública, passa por estações elevatórias até chegar à ETE (VASCONCELOS, 2020).

Os fatores que influenciam na escolha do tipo de tratamento e as unidades operacionais de uma ETE variam de acordo com as características da carga poluidora, disponibilidade de área na região, clima, capacidade de recebimento do corpo receptor, entre outros. No Nordeste do Brasil, por causa do clima e da disponibilidade de terreno, há uma recomendação para utilizar tratamentos biológicos (OLIVEIRA *et al.* 2019). Para se projetar uma ETE, é necessário que se tenha conhecimento sobre o objetivo daquele tratamento e os níveis que serão aplicados. Dessa forma, é de extrema importância saber qual o objetivo do tratamento, os níveis de tratamento e o estudo sobre os impactos no corpo receptor (METCALF; EDDY, 2016).

As estações de tratamento de esgoto sanitário são formadas por uma série de operações unitárias, aplicadas para a remoção de substâncias indesejáveis do esgoto, ou para transformar essas substâncias em outras de forma aceitável (JORDÃO; PESSOA, 2011). Alguns tipos de tratamentos se baseiam no processo que acontece na natureza, conhecido por autodepuração de um corpo receptor. Esse mecanismo ocorre quando um curso d'água consegue estabilizar a matéria orgânica que recebe de forma natural, onde há a assimilação, decantação e digestão dos compostos e substâncias presentes. Ou seja, esse processo natural causa um reequilíbrio no corpo hídrico que sofreu alterações provocadas pelo lançamento de esgoto (MENDONÇA; PETRECA; SOUZA, 2020).

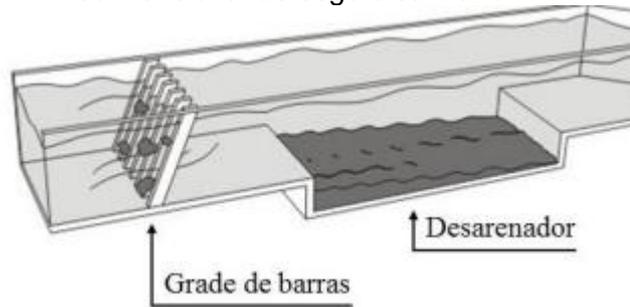
### **2.3.2 Métodos de tratamento e processos unitários**

O esgoto sanitário é proveniente de residências, prédios ou instalações comerciais, empresariais ou públicas. Por isso, pode-se dizer que esse é um dos fatores que fazem com que a composição do esgoto sanitário seja variada (METCALF; EDDY, 2016). Esses componentes encontrados no esgoto são removidos por tratamentos físicos, químicos e biológicos, dos quais são divididos em processos. Esses processos ocorrem em diversas combinações para compor o funcionamento de uma estação de tratamento de esgoto doméstico (PACHECO *et al.* 2022).

Nesse sentido, esses processos unitários são agrupados para formar o que é conhecido por nível de tratamento. Essa divisão foi estabelecida para determinar qual o objetivo específico das unidades operacionais dentro da estação para se alcançar a eficiência desejada de acordo com os padrões de qualidade. Os níveis são classificados em preliminar, primário, secundário e terciário (VASCONCELOS, 2020).

Conforme o mesmo autor, em geral, no tratamento preliminar os processos físicos são predominantes, nos quais têm como objetivo separar a parte sólida grosseira da líquida. Dentre os processos mais comuns utilizados no Brasil tem-se o gradeamento e a remoção de areia por sedimentação (caixa de areia). Um exemplo destes processos pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de grade e de desarenador utilizados em tratamento preliminar convencional de esgoto sanitário.



Fonte: JORDÃO e VOLSCHAN (2009).

Como pode ser visto na Figura 2, os sólidos de maiores dimensões são removidos pela grade, em seguida são removidos a maior parcela dos materiais arenosos como areia, cascalho, silte, escória e pedrisco que devido ao seu peso são separados nos desarenadores. Esses sólidos, se não removidos, podem dificultar o processo de tratamento e as manutenções às operações. Com a remoção destes sólidos, há diminuição dos riscos que envolvem o transporte do efluente, abrasão de bombas e obstrução de tubulações ou equipamentos, entre outros impasses causados por esse tipo de sólidos (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A matéria orgânica putrescível (vegetais, grãos, frutas e verduras) tem a tendência de não decantar facilmente, em decorrência disso, ela permanece em suspensão. O nível primário tem por finalidade remover os sólidos em suspensão e uma parcela da matéria orgânica (TONETTI *et al.* 2018). O tratamento primário pode conter uma unidade de sedimentação primária (decantador primário) (METCALF; EDDY, 2016). Um exemplo desse tipo de decantador, no qual é utilizado em tratamento convencional de esgoto sanitário, pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Exemplo de decantador primário utilizado em tratamento preliminar convencional de esgoto sanitário.



Fonte: WERJEN (2023).

Conforme pode ser observado na Figura 3, a operação de sedimentação acontece quando o esgoto flui lentamente e os sólidos, que possuem densidades diferentes comparados à fase líquida, são depositados no fundo, formando o lodo primário bruto (OLIVEIRA *et al.* 2019).

No tratamento secundário são aplicados processos biológicos. Vale salientar que existem diversos tipos de sistemas de tratamento, dos quais podem ser em condições aeróbia ou anaeróbia. Este tipo de tratamento faz uso das atividades de microrganismos para remover substâncias orgânicas biodegradáveis, coloidais ou dissolvidas, que se encontram no esgoto (METCALF; EDDY, 2016).

Neste nível de tratamento, há um controle das condições para que as reações bioquímicas realizadas pelos microrganismos presentes no esgoto possam ocorrer em intervalos de tempos menores que o processo natural de autodepuração. Existem vários microrganismos de grupos diferentes que fazem parte dessa atividade, bactérias, fungos e protozoários são os agentes principais (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Durante todo o processo, o efluente mantém um contato eficiente com os microrganismos, em um tempo adequado para que a matéria orgânica possa ser metabolizada pelos agentes biológicos. Sendo assim, para que isso ocorra, condições como pH e temperatura devem ser propícias. No entanto, um dos principais fatores é a presença de oxigênio, componente fundamental nos processos aeróbios. Durante a

digestão aeróbia, os produtos gerados pelos microrganismos são o gás carbônico e água, além de expandir a reprodução desses seres (SPERLING, 1996). Além disso, nos processos anaeróbios há uma série de etapas que constituem a biodigestão, em que o biogás, composto majoritariamente de metano e dióxido de carbono, é o principal produto (MIKI *et al.* 2022). Na Tabela 1 contém uma descrição dos principais sistemas de tratamento biológico para esgoto sanitário.

Tabela 1 – Principais sistemas de tratamento biológico de esgoto doméstico (continua).

Sistema	Descrição
<b>Lagoas</b>	
Lagoa facultativa	Não há presença de equipamentos e todo o processo depende de fatores como oxigênio natural (superficial) e fotossíntese. O esgoto entra por uma extremidade da lagoa e sai por outra, necessita de grandes áreas.
Lagoa anaeróbia-facultativa	Na lagoa anaeróbia, a matéria orgânica é reduzida em cerca de 50% a 70%, em termos de DBO, sendo encaminhada para a lagoa facultativa com uma carga orgânica menor. Ocupando uma menor área que a lagoa facultativa.
Lagoa aerada	O oxigênio é fornecido por meio de aeração mecânica (aeradores), não dependendo da fotossíntese como fonte principal de oxigênio. Menor área que as anteriores.
Lagoa de maturação	O objetivo é de melhorar o efeito bactericida e vermicida da radiação solar, trazendo eficiência na remoção de coliformes e na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo.
<b>Lodos ativados</b>	
Convencional	Flocos biológicos são formados pela ação dos microrganismos e pela alta concentração de biomassa, devido a recirculação do lodo proveniente do próprio sistema. O tempo de detenção hidráulica (TDH) no reator é entre 6 e 8 horas e a idade de lodo (IL) (retenção de sólidos no sistema) é entre 4 e 10 dias.
Aeração prolongada	Mesmo princípio do anterior, porém os reatores são maiores. O TDH é entre 16 e 24 horas e a IL é entre 20 e 30 dias. Em geral, estes sistemas não são precedidos de decantação primária.
Fluxo intermitente	Todos os processos acontecem em um mesmo tanque, dividindo as etapas em ciclos. Não há necessidade de decantador secundário, pois a biomassa retorna ao líquido ao iniciar um novo ciclo.
<b>Sistemas com biofilme</b>	
Filtros biológicos percoladores	Há a formação de uma camada de microrganismo que cresce em um meio suporte. Os materiais mais comuns são brita, seixos, argila expandida, madeira e materiais plásticos. O esgoto é despejado por meio de distribuidores rotativos, no qual percola verticalmente pelo filtro e sai pelo fundo. A matéria orgânica presente no esgoto sanitário é absorvida ou adsorvida pela película biológica aderida ao suporte e é oxidada.
Biodiscos	Os discos são construídos em série, nos quais possuem cerca de 40% da sua superfície em contato com o esgoto a ser tratado. A matéria orgânica é adsorvida no biofilme que é suportado pelo disco, na qual é oxidada quando em contato com oxigênio em excesso.

Tabela 1 – Principais sistemas de tratamento biológico de esgoto doméstico (continuação).

Sistema	Descrição
<b>Sistemas anaeróbios</b>	
Reator Anaeróbio (RAFA)	O fluxo de esgoto é de forma ascendente, onde acontece a oxidação por ação de bactérias anaeróbias presentes no reator. A parte superior contém uma zona de sedimentação, permitindo a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa), aumentando a concentração e formando a manta de lodo.
Filtro anaeróbio	O esgoto é tratado por meio do contato com os microrganismos que se desenvolvem nos interstícios ou ficam aderidos ao meio suporte, que geralmente é formado por pedras, em que podem estar ou não submersas.

Fonte: SPERLING (1996); VASCONCELOS (2020).

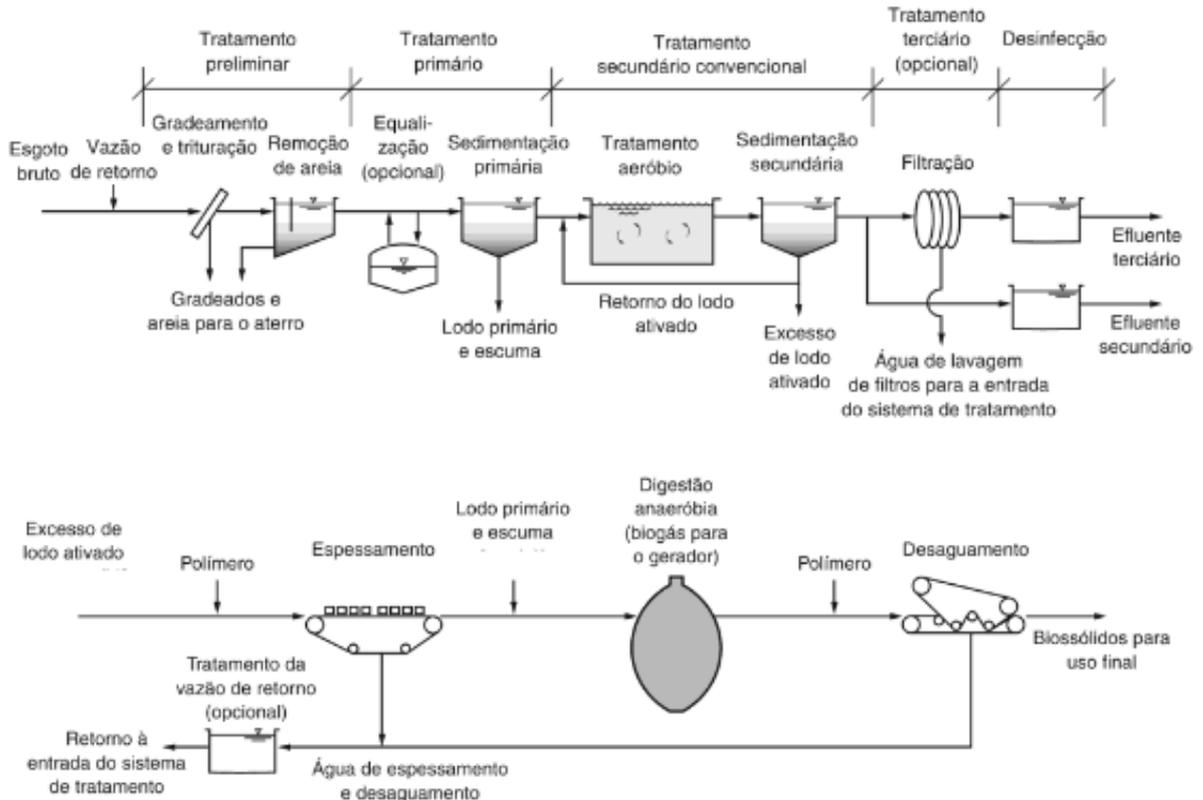
Além dos sistemas de tratamento biológico apresentados na Tabela 1, existem outros tipos de tratamento a nível secundário, nos quais possuem o mesmo objetivo de remoção da carga orgânica que se encontra no esgoto doméstico para atender os padrões estabelecidos pelos órgãos de controle (VASCONCELOS, 2020). O tratamento terciário é um conjunto de operações que são realizados no sentido de remover as impurezas ainda remanescentes. A desinfecção e remoção de nutrientes podem ser incluídas nesta etapa, assim como a remoção dos sólidos suspensos que não foram suprimidos durante o tratamento secundário (METCALF; EDDY, 2016). Exemplo de ETE como os quatro níveis está apresentada na Figura 4.

Na Figura 4, pode-se observar que a representação das unidades operacionais se divide conforme o respectivo nível de tratamento. O esquema mostra uma opção de tratamento que envolve todos os níveis de tratamento, inclusive as opções para tratamento do lodo.

Esse lodo pode ser primário, proveniente da sedimentação primária, e/ou secundário, que é resultado do processo de tratamento biológico. Este material deve ser tratado, no qual a digestão anaeróbia é mais comum. Entretanto, o lodo que já está estabilizado é destinado para desidratação. Ainda assim, vale salientar que a fração líquida desse processo volta para o sistema de tratamento de esgoto, conforme pode ser observado na Figura 4 (METCALF; EDDY, 2016; SPERLING, 1996).

Diante disso, além desses tipos de tratamento levarem melhores condições ambientais, outro objetivo bastante importante é o atendimento às legislações vigentes, que regem os padrões que esses efluentes precisam apresentar em termos de lançamento em corpos receptores (HATTORI; BARANA, 2023).

Figura 4 - Diagrama de tratamento com três tipos de processos e sistema de tratamento e destino do lodo.



Fonte: METCALF; EDDY (2016).

## 2.4 LEGISLAÇÃO E PARÂMETROS DE QUALIDADE

Uma legislação tem o objetivo de garantir condutas e ações aceitáveis ou recusáveis de indivíduo, instituição, empresa, entre outros (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023). Do ponto de vista do saneamento, para que exista um direcionamento das ações necessárias para manutenção da qualidade de vida e do meio ambiente, existem leis (estaduais e nacionais) que regulamentam o lançamento de esgoto sanitário nos corpos receptores. Sendo assim, o atendimento a todos os parâmetros, padrões e diretrizes do lançamento de efluentes em corpos de água receptores traz o conceito de qualidade para sistemas de tratamento de esgoto doméstico, no qual exige que a disposição na natureza alcance os níveis especificados (BRASIL, 2020).

### 2.4.1 Legislação referente a lançamento de esgoto sanitário em corpo receptor

Os padrões de qualidade para o lançamento de efluentes em um corpo receptor são apresentados pelos órgãos públicos responsáveis pelas políticas de meio ambiente. No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é um órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), no qual está relacionado diretamente com o Ministério do Meio Ambiente (CONAMA, 2018).

Nesse sentido, os padrões para lançamento de efluentes estão dispostos na Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 que altera parcialmente e complementa a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Os parâmetros de qualidade dos efluentes são físicos, químicos e biológicos, de acordo com o Art. 21 e 22 (lançamento por emissários submarinos) do Capítulo II desta Resolução (BRASIL, 2011). Os parâmetros regulamentadores para o lançamento direto nos corpos receptores advindos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, assim como os respectivos limites, podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Condições e padrões de lançamento para efluentes sanitários.

Parâmetro	Limites
pH	5 a 9
Temperatura (°C)	< 40
Material sedimentável (mL·L <sup>-1</sup> )	≤ 1
DBO <sub>5,20</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	120
Óleos e graxas (mg·L <sup>-1</sup> )	100
Sólidos grosseiros e materiais flutuantes	Ausência
Sólidos suspensos totais	* 20%

DBO<sub>5,20</sub>-Demanda Bioquímica de Oxigênio- 5 dias, 20°C; \* remoção (%) após desarenação.

Fonte: CONAMA (2011).

Todos esses parâmetros que são exigidos pela Resolução CONAMA 430/2011, fazem parte de um conjunto de ferramentas, assim como os padrões de qualidade de corpos receptores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, cuja finalidade é de manter a qualidade dos corpos hídricos. A determinação dos tipos de parâmetros e dos respectivos limites facilita o controle e a fiscalização e a detecção dos responsáveis pela poluição e degradação dos corpos receptores (MORAIS; SANTOS, 2019).

Existem algumas observações que a legislação traz em relação a esses padrões. No que se refere à temperatura, não pode existir uma variação maior que 3°C no limite da zona de mistura. A segunda observação é em relação ao padrão de material sedimentável. Se o lançamento for realizado em lagos e lagoas que possuem uma velocidade de circulação quase nula, esse material deverá estar virtualmente ausente. Por último, caso exista um sistema de eficiência de remoção mínima de 60% de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ou mediante estudo de autodepuração do corpo receptor, a DBO (5 dias, 20°C) pode ultrapassar o valor máximo permitido (120 mg·L<sup>-1</sup>) (BRASIL, 2011).

No estado de Pernambuco, o órgão responsável por manter o controle e a qualidade ambiental é a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Essa agência tem como missão exercer a liderança com objetivo em manter e conservar os recursos naturais no estado, tendo-se em vista um estado sustentável. Uma das ações desenvolvidas por essa autarquia é criar e desenvolver instrumentos legais que baseiam as diretrizes para o licenciamento, monitoramento e fiscalizações ambientais (CPRH, 2022).

No que se refere ao controle de lançamento de efluentes líquidos, o CPRH elaborou algumas Normas Técnicas, nas quais são usadas como instrumento ao licenciamento e à fiscalização ambiental, complementando a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Entre elas, destacam-se: CPRH Norma Técnica nº 2.001, de fevereiro de 2000; CPRH Norma Técnica nº 2.002, de fevereiro de 2000; CPRH Norma Técnica nº 2.007, de agosto de 2001. Os objetivos de cada uma dessas Normas Técnicas são:

- Norma Técnica nº 2001 – Estabelece critérios e padrões de emissão que resultem na redução da carga orgânica industrial lançada direta ou indiretamente nos recursos hídricos do estado de Pernambuco.
- Norma Técnica nº 2002 – Estipula os critérios e padrões de lançamento estabelecidos nesta norma têm como objetivo reduzir a carga orgânica não – industrial lançada nos recursos hídricos do estado de Pernambuco.
- Norma Técnica nº 2007 – Determina o número mais provável (NMP) de coliformes termotolerantes permitidos para lançamento de efluentes domésticos ou industriais nos corpos de água receptores.

Os requisitos exigidos pelas Normas Técnicas CPRH 2002 e 2007 estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Percentual de remoção mínima exigida pela Norma Técnica CPRH 2002 de acordo com a carga orgânica do efluente.

<b>Carga orgânica bruta (C) (kg DBO·dia<sup>-1</sup>)</b>	<b>Eficiência mínima de remoção (%)</b>
C ≤ 2	40
2 < C ≤ 6	70
6 < C ≤ 50	80
C > 50	90

Fonte: CPRH (2000).

Tabela 4 - Número mais provável de coliformes termotolerantes de acordo com a classe dos corpos d'água, conforme Norma Técnica CPRH 2007.

<b>Classes corpos d'água (Resolução CONAMA nº 20)</b>	<b>Coliformes termotolerantes (NMP·100 mL<sup>-1</sup>)</b>
1	200
2	1000
3	4000
4	-
5	14
6	4000
7	14
8	4000

NMP – Número mais provável.

Fonte: CPRH (2001).

As classes de 1 a 4 são referentes às águas doces que estão agrupadas desde o uso doméstico (classe 1) até mesmo uso paisagístico (classe 4), dividindo-se de acordo com o grau de importância em relação a saúde e bem-estar do ser humano. As classes de 5 a 8 são referentes às águas salinas e salobras, na qual cada uma com sua finalidade. Dessa forma, pode-se entender melhor a importância das exigências quanto ao parâmetro de coliformes fecais e os concernentes limites (BRASIL, 1986; CPRH, 2001).

Os requisitos e padrões de lançamento exigidos pelos órgãos ambientais nos estados do país contribuem para o conjunto de instrumentos estratégicos legais que controlam a poluição. Em geral, os requisitos que são exigidos nos estados são mantidos ou mais restritivos em relação à legislação nacional. Todos esses padrões

(pH, temperatura, materiais sedimentáveis, óleos e graxas, sólidos suspensos totais e DBO), são aplicados com a finalidade de resguardar a qualidade do corpo receptor (CRIZEL; LARA, 2020; SPERLING, 1996).

#### **2.4.2 Parâmetros de controle de qualidade**

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos servem como indicadores de monitoramento para avaliar os impactos da poluição. Nos esgotos sanitários há uma predominância de materiais orgânicos que podem ser degradados pelos microrganismos na natureza (JORDÃO; PESSOA, 2011). Para que esse processo ocorra, faz-se necessário o consumo de oxigênio, no qual tende a decair em um determinado curso hídrico (MIKI *et al.* 2022).

Diante disso, o estudo do impacto que o esgoto sanitário pode causar, em termos de concentração orgânica, ao ser lançado no corpo receptor é realizado de forma indireta por meio de ensaios em laboratório que avaliam o consumo de oxigênio na oxidação da matéria orgânica. Com esse resultado, é possível calcular a concentração de matéria orgânica presente no esgoto sanitário por meio do produto entre a concentração de DBO e a contribuição diária expressa em L-dia<sup>-1</sup>. Os principais indicadores de poluição orgânica são: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) (FRANÇA *et al.* 2022; BEGA; OLIVEIRA; ALBERTIN, 2021).

A DBO é a medida da quantidade de oxigênio que é necessária para degradação da matéria orgânica para uma forma estável através das atividades metabólicas dos microrganismos. Algumas condições devem ser controladas, como o tempo de incubação, em que foi adotado um período de 5 dias em uma temperatura de 20°C. A DQO é uma medida da quantidade de oxigênio necessária para degradar a matéria orgânica por meio de agentes químicos, ou seja, forte oxidante como o dicromato de potássio em condições ácidas (MIKI *et al.* 2022).

Uma das vantagens de utilizar a DQO como parâmetro de monitoramento é em relação ao tempo de ensaio ser relativamente pequeno, visto que o resultado pode ser obtido em aproximadamente 3 horas, enquanto o resultado da DBO é obtido depois de 5 dias. Todavia, o resultado da análise de DQO possui valor superestimado em relação à quantidade de oxigênio necessário para o tratamento biológico do

esgoto, pois a oxidação acontece tanto na porção biodegradável quanto na porção inerte do despejo (SPERLING, 1996).

Outro parâmetro é o pH, que é definido como o logaritmo negativo da concentração molar de íons hidrônio ( $H_3O^+$ ). A escala de pH foi introduzida pelo químico Soren Sorensen, em 1909. Esses valores estão intrinsecamente relacionados à acidez e alcalinidade que um determinado meio apresenta (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018). O pH influencia em algumas características no tratamento de esgoto sanitário, uma delas é em relação às taxas de reações na digestão anaeróbia, em que no Brasil a faixa ideal situa-se entre 6,5 e 7,5. Outro ponto é que o pH está relacionado com a velocidade de nitrificação em processos de lodos ativados. Ainda assim, vale ressaltar que a faixa de pH para a existência de vida aquática nos corpos d'água é em geral entre 6 e 9 (JORDÃO; PESSOA, 2011). Sendo esta a faixa estabelecida pela legislação para descartar o efluente em corpo receptor conforme Brasil (2011).

A temperatura também é um parâmetro importante para o controle de qualidade ambiental referente ao esgotamento sanitário, pois interfere no meio físico causando alterações nas reações químicas e bioquímicas de um determinado sistema. A faixa ideal para o crescimento microbiano varia de acordo o determinado grupo (psicrófilos a partir de  $-12^{\circ}C$  a  $15^{\circ}C$ ; mesófilos entre  $15$  e  $40^{\circ}C$ ; termófilos entre  $40$  e  $70^{\circ}C$ ). Ademais, com o aumento da temperatura também ocorre o aumento gradativo da taxa de crescimento dos microrganismos, porém chega um ponto que há uma queda, pois as proteínas começam a desnaturar (MIKI *et al.* 2022).

Um parâmetro que está relacionado com a temperatura é o oxigênio dissolvido (OD). Esse gás pode provir de duas fontes: fotossíntese realizada pelas algas ou transferência da atmosfera para o meio líquido por meio de difusão. Quando há um aumento da temperatura, a tendência é que a concentração de oxigênio dissolvido decresça por causa da possibilidade de evaporação. Além disso, essa concentração também pode baixar por causa das atividades microbianas relacionadas a depuração dos esgotos, em que se esse valor estiver muito baixo, pode indicar alto nível de poluição (FIORESE, 2018; NASCIMENTO; BATISTA; SANTOS, 2022).

Os óleos e graxas também podem ser definidos como substâncias solúveis em hexano. Trata-se de substâncias de origem mineral, vegetal ou animal que têm origem industrial e doméstica. Nos efluentes domésticos esses materiais podem ser sabões, óleos vegetais, óleos minerais, ceras e gorduras, entre outros (JUNQUEIRA

*et al.* 2017; MOTTA *et al.* 2019). Esse material, além de ocasionar obstruções em tubulações por causa da incrustação, dificulta o tratamento biológico (aeróbio e anaeróbio) nas ETE e é um dos responsáveis por contaminação do solo e dos corpos hídricos se lançados diretamente (OLIVEIRA *et al.* 2014).

Os materiais sólidos que podem estar presentes nos efluentes são classificados por algumas características, dimensão e estado (sólidos em suspensão e dissolvidos), características químicas (sólidos fixos e voláteis) e decantabilidade (sólidos sedimentáveis) (MIKI *et al.* 2022). Os sólidos em suspensão são aqueles, orgânicos e inorgânicos, que ficam retidos na membrana de 0,45 micra no processo de filtração. Podendo ser sólidos suspensos fixos que representam a parcela mineral inerte e permanece após a queima a 550°C e os suspensos voláteis que representam a parcelados orgânicos (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Os sólidos dissolvidos são os sólidos orgânicos e inorgânicos que passam pela membrana de 0,45 micra no processo de filtração. Nesse grupo, também há a separação em fixos (substâncias minerais) e voláteis (compostos orgânicos). Por fim, tem-se a classificação dos sólidos sedimentáveis, que são aquelas substâncias presentes no efluente que decantam no período de uma hora em cone de *Imhoff* (SPERLING, 1996).

Dessa forma, para que o processo de tratamento alcance os padrões de qualidade exigidos pelas legislações vigentes, a variabilidade dos parâmetros de controle deve ser reduzida, visto que a presença de desvios operacionais causa não-conformidades que resultam em processos não controlados, principalmente devido às causas especiais, que precisam ser detectadas e eliminadas com auxílio de princípios estatísticos, nos quais contribuem para a qualidade do processo.

## 2.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

Para Montgomery (2012), qualidade é a presença de características esperadas pelo cliente, das quais um produto ou serviço devem possuir, sendo inversamente proporcional a variabilidade. O Controle Estatístico de Processo (CEP) é indispensável para um sistema de controle estatístico da qualidade, pois esse método consiste em realizar coleta de dados trabalhando em uma verificação de amostras de resultados do processo em análise, com o objetivo de reduzir as possíveis falhas que podem acontecer por causa da execução das atividades. Ou

seja, o CEP busca identificar os desvios no processo e orientar o caminho para desenvolver ações corretivas para solucionar a inconformidade (SANTANA *et al.* 2019).

Um dos principais objetivos do CEP é gerar processos que têm o desempenho previsível e repetível. Sendo assim, quando se conhece um processo é possível prever o comportamento em ocasiões futuras (FURTADO, 2020). Os processos considerados instáveis são os que não possuem previsibilidade e não são repetíveis. As causas que levam a essa instabilidade, devem ser estudadas para garantir a melhoria contínua do processo (ROCHA; SOUZA; BARCELLOS, 2012).

Mesmo com a existência de um processo estável, ou sob controle estatístico, existe a possibilidade de produzir defeitos e não-conformidades. Dessa forma, percebe-se que é normal um processo estável apresentar variação, entretanto essa condição acontece dentro de limites estabelecidos e previsíveis (ROCHA; SOUZA; BARCELLOS, 2012). A variabilidade natural que acontece nos processos se desenvolve por causa de diversos fatores que contribuem para tal realidade. Isso acontece, por exemplo, por causa dos operadores, diferentes lotes de matéria prima, condições e horários de trabalho, operação de equipamentos, entre outros. A origem dessas variações ocorre devido os efeitos de causas comuns ou causas especiais (SOUZA, 2018).

Segundo Montgomery (2012), as causas comuns afetam todos os valores individuais de um processo. Em geral, esses fatores ocorrem com alta frequência, com possibilidade de gerar variável aleatória. Em contrapartida, as causas especiais são únicas, imprevisíveis e surgem ocasionalmente, gerando perturbações no processo, nas quais devem ser eliminadas ou reduzir as suas influências (SANTANA, 2019).

Dessa forma, fica claro que a variabilidade de um processo pode estar associada à variabilidade comum (causa aleatória) ou perturbações diferentes e imprevisíveis (causas especiais). Nesse sentido, quando essas causas especiais estão presentes em um processo, diz-se que ele está fora de controle. Para que esse problema seja identificado e retificado, é preciso que exista um monitoramento constante. Algumas características que podem aparecer são: aumento de dispersão e deslocamento da média (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2013).

Esse monitoramento torna-se viável por meio das várias ferramentas estatísticas que compõem o CEP: histograma, folha de controle, gráfico de pareto, diagrama de causa e efeito, diagrama de concentração de defeitos, diagrama de

dispersão e gráficos de controle. Todas essas ferramentas estão voltadas para a resolução de problemas e busca pela estabilidade do processo e redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2012). Ainda assim, vale ressaltar que o gráfico de controle é a ferramenta mais utilizado no CEP (HENDGES; SUHRE; BUTARELLI, 2023).

### 2.5.1 Gráfico de controle

O gráfico de controle foi criado por Walter Andrew Shewart quando realizou o primeiro uso de métodos estatísticos para avaliar o controle de qualidade na empresa *Bell Telephone Laboratories* em 1924 (FURTADO, 2020). O objetivo dessa ferramenta é identificar a instabilidade ou variabilidade do processo, apontando para as possíveis causas que desenvolvem baixo desempenho de um determinado processo (MAHANTI; EVANS, 2012). Além disso, o gráfico de controle auxilia na detecção dos sinais de causas especiais e diferencia dos ruídos, ou seja, das causas de variações que são próprias do processo (causas comuns) (ROCHA; SOUZA; BARCELLOS, 2012).

Essa ferramenta pode ser utilizada para monitoramento *online* de processos (MONTGOMERY; RUNGER, 2014). Na área de saneamento, o início da utilização dessa ferramenta foi referente ao processo de tratamento de esgoto. O gráfico de controle serviu para avaliar alterações no comportamento dos dados de estações de tratamento de esgoto, desenvolvendo informações para propor melhoras na operação de tratamento (SOUZA, 2018).

Existem alguns tipos de gráficos de controle que podem ser utilizados para monitoramento de um processo. A decisão em qual desses escolher para ser aplicado depende de alguns fatores como quantidade de dados que são coletados, periodicidade da coleta das observações e tipos de informações que serão analisadas. Portanto, são agrupados em dois grupos: gráfico de controle para variáveis e gráfico de controle para atributos (MONTGOMERY, 2012).

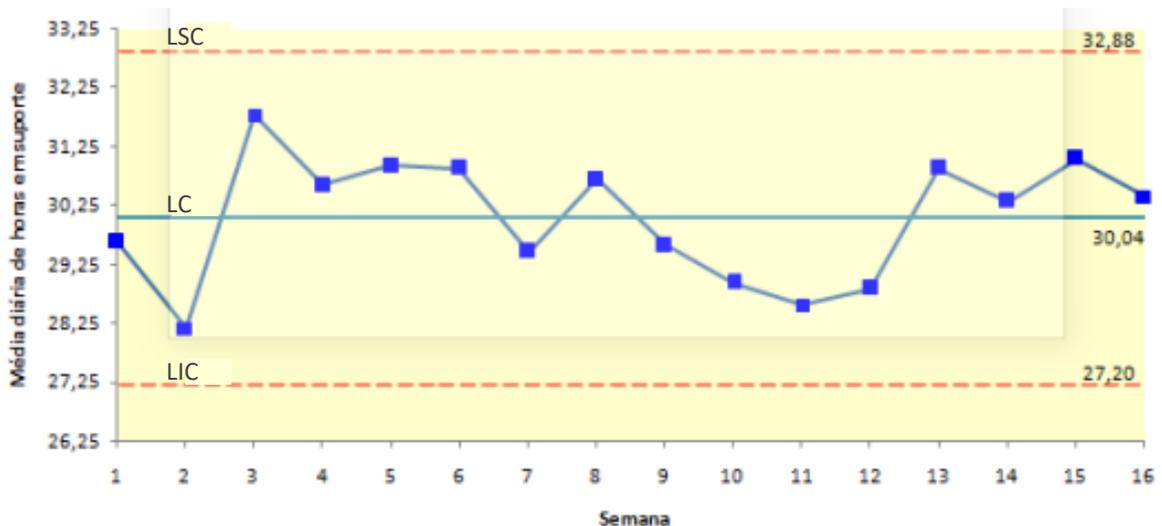
Segundo Montgomery, Runger e Hubele (2014) esses termos estão relacionados com as características que serão avaliadas por essa ferramenta. O gráfico de controle para variáveis é direcionado para dados que são mensuráveis em uma escala quantitativa, como peso, altura, comprimento, entre outros. Em contrapartida, o gráfico de controle para atributos é utilizado para informações que

são obtidas em uma escala qualitativa, como número de peças defeituosas, número de defeitos, entre outros (SANTANA *et al.* 2019).

Nesse sentido, o gráfico de controle mais utilizado no controle estatístico de processo é o de Shewhart. Isso é devido a fácil interpretação e por levar em consideração o último resultado, não sendo utilizado uma sequência de dados. Por causa disso, esse gráfico possui eficácia para identificar grandes variações (MONTGOMERY, 2012).

A representação desse gráfico se dá em coordenadas cartesianas que estruturam os dados obtidos em um determinado período. O eixo das ordenadas é referente às medições realizadas de acordo com uma característica do produto, ou algum parâmetro de medição, enquanto que o eixo das abcissas é referente a um subgrupo determinado, em geral uma unidade de tempo (GOUVEIA, 2018). Nesse gráfico existe uma Linha Central (LC), um Limite Superior de Controle (LSC) e um Limite Inferior de Controle (LIC), além disso, os valores que são marcados no gráfico representam o comportamento do processo (FURTADO, 2020). Um exemplo de um gráfico de controle está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Exemplo de um gráfico de controle de um processo estável.

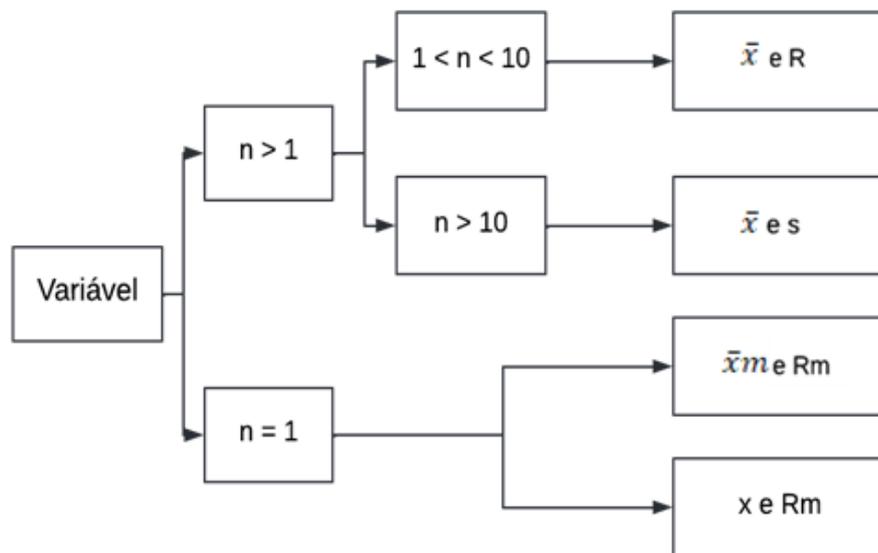


Fonte: ROCHA; SOUZA; BARCELOS (2012).

A partir da Figura 5, pode-se observar um exemplo da forma de distribuição de um processo estável, com pontos alternando em ambos os lados da LC e com todos os dados entre o LSC e LIC.

Vale ressaltar que existem alguns tipos de gráfico de controle por variáveis, os quais estão agrupados em quatro subgrupos que são divididos de acordo com algumas características do estudo, como por exemplo, o tamanho da amostra ( $n$ ). Os subgrupos são: gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude ( $R$ ); gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e desvio padrão ( $s$ ); gráfico da média móvel ( $\bar{x}_m$ ) e amplitude móvel ( $R_m$ ); gráfico da média ( $\bar{x}$ ) e amplitude móvel ( $R_m$ ) (MONTGOMERY, 2012). Um esquema que deve ser seguido para a escolha do tipo de gráfico que será utilizado para representar os dados está apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Guia para escolha do tipo de gráfico de controle que será aplicado em um determinado processo.



Fonte: Adaptado de MONTGOMERY, RUNGER e HUBELE (2014).

Como pode ser visto na Figura 6, quando a amostra possuir um valor individual, o gráfico de controle apropriado é o da amplitude móvel ( $R_m$ ), que possibilita avaliar a variabilidade do processo, sendo opcional a escolha do gráfico da média ou da média móvel. Contudo, para amostras não individuais e com um tamanho pequeno ( $1 < n < 10$ ), o gráfico utilizado é o da média e amplitude, além disso, para uma maior quantidade de amostras ( $n < 10$ ), o gráfico da amplitude não é o mais indicado para avaliar a variabilidade do processo. Sendo assim, nesse caso o gráfico aplicado é o de desvio padrão da amostra (MONTGOMERY, RUNGER, 2018).

Em geral, o gráfico de controle para média ( $\bar{x}$ ) se tornou mais largamente utilizado para monitorar a tendência central, enquanto para monitorar a variabilidade do processo, os gráficos referentes à amplitude móvel ( $R_m$ ) ou desvio padrão foram

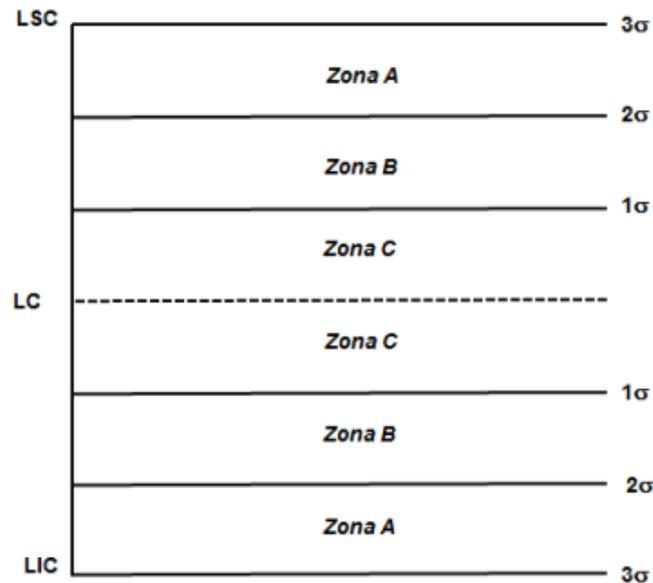
mais utilizados. Além disso, em alguns casos o tamanho da amostra é igual a um ( $n = 1$ ), sendo apropriado utilizar o gráfico de controle para medidas individuais, que pode ser interpretado como um gráfico de controle comum ( $\bar{x}$ ) (MONTGOMERY; RUNGER; HUBELE, 2014)

A aplicação dessa ferramenta se dá por meio de duas fases, denominadas de Fase I e Fase II. A primeira se dedica a obter todos os dados necessários para construção do gráfico de controle, de forma que seja possível determinar os limites de controle e eliminando as causas especiais. A Fase I encerra apenas quando se define um gráfico que demonstra a estabilidade do processo. Posteriormente, na Fase II, quando já existem condições estatísticas de um processo controlado, esse gráfico é usado para monitoramento de dados futuros, comparando os dados estatísticos das amostras com os limites de controle já estabelecidos (SOUZA, 2018).

### **2.5.2 Interpretação dos gráficos de controle**

Para a interpretação dos gráficos de *Shewhart* é seguido um procedimento primordial para verificar se o processo está sob controle estatístico. Essa regra consiste em verificar se no gráfico de controle existe um ou mais pontos que se encontram fora da região entre os limites. Entretanto, essa condição também existe quando esses pontos formam um padrão não aleatório (MONTGOMERY; RUNGER; HUBELE, 2014). Ademais, pode-se realizar a análise de um gráfico de controle dividindo a região em zonas que são definidas com os limites para  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  e  $3\sigma$  que servem como limites de aviso (Figura 6). (PIERITZ, 2017). Essas limites fazem parte das regras de decisão para detectar padrões não-aleatórios de comportamento nos gráficos de controle, das quais estão no *Western Electric Handbook* (1956) (MONTGOMERY; RUNGER; HUBELE, 2014).

Figura 7 – Zonas das regras usadas no procedimento *Western Electric*.



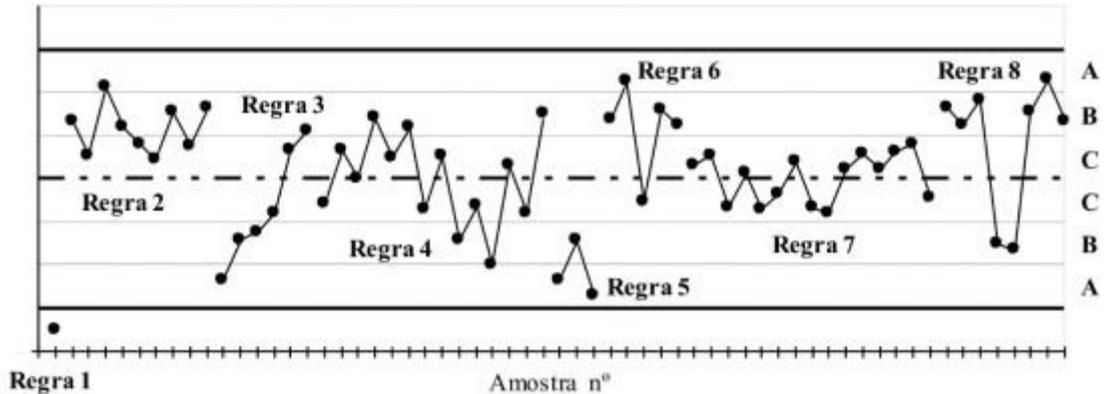
Fonte: Oliveira *et al.* (2013).

Como pode ser observado na Figura 7, as áreas entre cada  $\sigma$  são chamadas Zona A, B e C, em cada lado da linha central. Nesse sentido, as regras foram definidas em 1956 com a publicação do *Western Electric SQC Handbook* e que durante os anos foram publicadas, porém sem diferença entre elas. Esses critérios de detecção de causas especiais de variação são apresentados pela ISO 7870-2: 2013 - *Control Charts – Part 2: Shewhart control charts* (RAMOS, 2017; BALDASSO; PIMENTA; FERREIRA, 2020). Todos esses critérios de avaliação trouxeram uma análise mais específica em relação ao gráfico de controle, com o objetivo de buscar esses padrões não-aleatórios. Esses critérios de análise dos gráficos, segundo a ISO 7870-2: 2013, são:

- 1) 1 ou mais pontos acima do LSC ou abaixo do LIC;
- 2) 9 pontos consecutivos na zona C ou no mesmo lado do LC;
- 3) 6 pontos consecutivos, todos aumentando ou todos diminuindo;
- 4) 14 pontos consecutivos alternando para cima e para baixo;
- 5) 2 de 3 pontos consecutivos na zona A ou além dela;
- 6) 4 de 5 pontos consecutivos na zona B ou além dela;
- 7) 15 pontos consecutivos na zona C (tanto acima quanto abaixo do LC);
- 8) 8 pontos consecutivos na zona B;

Esses padrões foram representados para uma melhor interpretação dessa regra de avaliação, em que são apresentados na Figura 8.

Figura 8 – Representação das regras para detecção de causas especiais segundo a ISO 7870-2: 2013.



Fonte: RAMOS (2017).

Como pode ser visto na Figura 8, a Regra 1 é a mais conhecida para análise do gráfico de controle, que é quando um ou mais pontos ultrapassam os limites de controle. Ou seja, o processo não se encontra sob controle, pois existem variações fora dos limites. A Regra 2 indica mudança ou variações do processo. Essas causas especiais podem estar relacionadas com alguns fatores, como: mudança de operadores, baixo nível de experiência em uma atividade, falta de treinamento adequado, desatenção ou desmotivação por parte dos membros que exercem tal função; alteração de matérias primas ou equipamentos, assim como mudança no modo de inspeção (KENT, 2016).

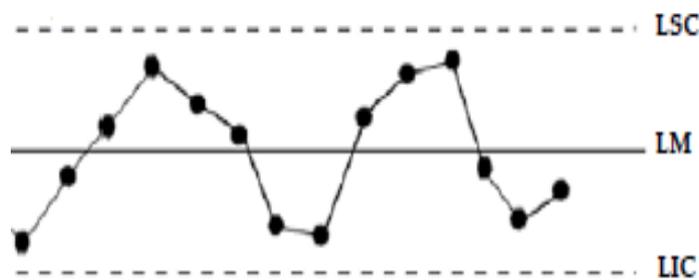
A Regra 3, conforme a Figura 8, representa a existência de tendência representada por uma série de pontos consecutivos crescente, mas que pode ser decrescente de forma consistente. As possíveis causas podem ser o desgaste de ferramentas de trabalho, ausência de manutenção, aspectos particulares ao operador (variação de habilidade, condição física, entre outros), supervisão durante a realização do trabalho ou oscilação nas condições ambientais. Já para a Regra 4 são constatadas variações sistemáticas. Isso acontece quando há alternância habitual de dois operadores, máquinas, fornecedores, entre outras (MONTGOMERY; RUNGER, 2018).

As Regras 5 e 6 detectam pequenas mudanças que ocorrem no processo, nas quais são detectadas pela mudança da média. O excesso de ajustes em um determinado parâmetro de controle pode levar a existência desse tipo de arranjo, visto que os resultados podem variar e deslocar a média do processo positivamente ou negativamente (MINITAB, 2023).

Ainda na Figura 8, pode ser observado o arranjo da Regra 7, que pode falsamente indicar um bom desempenho do processo. Contudo, nesse tipo de situação há limites de controle amplos, que pode ser causado por dados estratificados, que ocorre quando uma fonte sistemática de variação está presente em cada subgrupo (MINITAB, 2023). Por fim, pode ainda ser observado na Figura 8 o arranjo correspondente a Regra 8, que representa a detecção de um padrão de mistura. Isto ocorre quando os pontos se afastam da linha central e se aproximam dos limites de controle. As possíveis causas para este arranjo são a mistura de insumos, utilização de máquinas que processam vários sistemas, amostragem defeituosa ou um excessivo ajuste de processos a montante (PIERITZ, 2017; MONTGOMERY; RUNGER, 2018).

Vale salientar que existe outro arranjo que é usado para análise dos gráficos de controle de Shewhart. A representação do padrão cíclico de periodicidade, apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Representação do padrão cíclico de periodicidade em gráficos de controle.



Fonte: PIERITZ (2017).

A Figura 9 representa o padrão cíclico que pode acontecer devido a utilização dos mesmos instrumentos de medição e gráfico, processos sob diferentes condições sendo registrados no mesmo gráfico, mistura de materiais de qualidade ou especificação diferentes e condições climáticas (noite/dia, quente/frio) (KENT, 2016).

### 2.5.3 Capacidade do processo

Segundo Rodrigues (2021) um dos objetivos do CEP é aumentar a capacidade do processo, melhorando a qualidade quer seja do produto ou de algum serviço, reduzindo retrabalho, custos, entre outros pontos de um sistema de má qualidade. Partindo nesse sentido, pode-se dizer que a capacidade do processo é

uma ação de análise e quantificação da variabilidade de um processo e se o mesmo atende às especificações. Essa análise pode ser feita durante o funcionamento do processo, auxiliando na eliminação e/ou redução da variabilidade e instabilidade (ALVES; BONINI; MAIELLARO, 2022). Sendo assim, é possível dizer que a análise da capacidade do processo tem objetivo de estimar, monitorar e reduzir a variabilidade do processo em relação às especificações (HOSSEINIFARD; ABBASI, 2012).

Para Montgomery (2012), a capacidade do processo é definida como uma unidade mensurável da uniformidade de produção, na qual está relacionada com a variabilidade que pode ocorrer de duas formas: variabilidade natural, que ocorre em um instante específico e variabilidade de acordo com o tempo. Ainda assim, para ele a capacidade do processo integra um conjunto de melhoria global, onde existem alguns pontos, como:

- Identificar até que ponto o processo mantém as tolerâncias;
- Auxiliar os planejadores do produto na seleção ou modificação do processo;
- Auxiliar a estabelecer um intervalo entre as amostras para monitoramento de um processo;
- Especificar exigências de desempenho para um equipamento novo;
- Selecionar entre vendedores concorrentes;
- Planejar a sequência de processos de produção quando há um efeito interativo de processos sobre as tolerâncias; e
- Reduzir a variabilidade em um processo de fabricação.

Em decorrência disso, para análise da capacidade do processo há alguns indicadores que são utilizados para tal função. Esses índices de capacidade são o  $C_p$  e  $C_{pk}$ , que segundo Silva (2021), o cálculo desses indicadores pode ser realizado depois que são identificados os parâmetros do processo e os seus respectivos limites. Esses índices identificam se os processos estão dentro da especificação referente aos parâmetros de controle que são exigidos, ou seja, se o sistema é aceitável ou não (MONTGOMERY, 2012).

Para o cálculo desses índices, depois de definir qual parâmetro será avaliado em relação ao processo, utiliza-se as informações dos limites de tolerância (superior e inferior), que são especificações do projeto ou até mesmo de legislação (PIERITZ, 2017).

Sendo assim, o cálculo do  $C_p$  é a razão entre a amplitude da tolerância especificada (diferença entre os limites de especificação) e a amplitude gerada no processo, na qual é determinada pelo desvio padrão (PIERITZ, 2017). Conforme Carvalho e Paladini (2012), esse índice é mais fácil de trabalhar, pois considera a tolerância especificada em relação à variação do processo, entretanto não leva em consideração a centralização do processo e as possíveis variações de dados provenientes de causas especiais.

Nessa perspectiva, o índice  $C_p$  não é suficiente para avaliar se um processo está sobre controle, por isso faz-se necessário o cálculo do índice  $C_{pk}$ , no qual avalia se o processo consegue atingir o valor nominal de especificação, pois leva em consideração a média dos dados analisados. Ainda assim, vale ressaltar que esse índice permite um ajuste do índice  $C_p$ , pois avalia se existe uma distribuição centrada em relação aos limites de especificação. Porém, o  $C_{pk}$  também é sensível aos deslocamentos advindos de causas especiais (PIERITZ, 2017).

O índice  $C_p$  pode ser interpretado como a capacidade potencial do processo, em que considera a dispersão do processo comparado aos limites de especificação. Quando  $C_p < 1$  entende-se como um processo incapaz, quando  $1 < C_p < 1,33$ , se diz que o processo é moderadamente capaz, quando  $C_p > 1,33$ , pode-se dizer que o processo é capaz. Em relação ao índice  $C_{pk}$  (capacidade real do processo), o seu valor indica a centralidade do processo em relação à média. Caso o processo esteja centralizado, o valor de  $C_p$  será igual ao  $C_{pk}$  obtido. Para  $C_p$  diferente de  $C_{pk}$ , tem-se que o processo está descentralizado, o que reflete o fato de que a média não está em coincidência com o valor nominal especificado (OLIVEIRA; SILVA; SANTOS, 2023).

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico serão apresentados os materiais e métodos que foram utilizados para elaboração do trabalho. No que se refere aos parâmetros de controle que são analisados no esgoto sanitário da ETE em estudo, dos quais são exigidos pelas legislações vigentes, levantamento de dados, construção de gráficos de controle e avaliação da capacidade do processo.

#### 3.1 ACOMPANHAMENTO DE UMA UNIDADE DE OPERAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

O acompanhamento da ETE Cachorro ocorreu durante o período de fevereiro de 2020 a maio de 2022. Esse monitoramento foi desenvolvido pela orientação quanto a operação da unidade de tratamento, coleta e envio de amostras mensalmente para o laboratório de esgoto da COMPESA. Cada etapa do tratamento de esgoto será descrita como auxílio da ferramenta fluxograma. Os parâmetros de controle utilizados para a avaliação da ETE Cachorro estão detalhados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros de controle referentes ao monitoramento mensal da ETE Cachorro.

Parâmetro	Método	Limites	Legislação
Coliformes termotolerantes	SM 9221	$\leq 1000$ NMP/100 mL	CPRH NT nº 2007/ CPRH IN 003/20218
Eficiência de remoção de DBO	SM 5210 B	$\geq 90\%$	CPRH IN003/2018
Óleos e Graxas (O&G)	SM 5520	$\leq 100$ mg·L <sup>-1</sup>	CONAMA 430/2011
pH	SM 4500 H+ B	5,0 – 9,0	CONAMA 430/2011/ CPRH IN003/2018
Sólidos Sedimentáveis	SM 2540	$\leq 1$ mg·L <sup>-1</sup>	CONAMA 430/2011/ CPRH IN003/2018
Temperatura	SM 2550 B	$< 40$ °C	CONAMA 430/2011/ CPRH IN003/2018

Fonte: O Autor (2023).

Pode-se observar que na Tabela 5 os parâmetros que são apresentados são exigidos pela legislação nacional, Art. 21 da Resolução CONAMA 430/2011 e pela Norma Técnica estadual, CPRH nº 2007. Além disso, para a ETE Cachorro, os parâmetros devem ser atendidos de acordo com o exigido pela Instrução Normativa

nº 003 de 2018. Todos os ensaios foram realizados pelo Laboratório de Esgoto da COMPESA, onde utilizam os métodos analíticos descritos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Waste water, 23nd. APHA. Edition, 2017.*

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados para a construção dos gráficos de controle foram adquiridos por meio de levantamento das análises de monitoramento da ETE Cachorro realizadas no período de 2020 a 2022. Em seguida, os dados foram organizados em tabelas e planilhas eletrônicas para a elaboração dos gráficos de controle.

### 3.3 GRÁFICO DE CONTROLE

Os dados obtidos para este estudo são referentes a cada mês no período de janeiro de 2020 a outubro de 2022. Ou seja, as análises dos parâmetros de esgoto da ETE Cachorro foram realizadas mensalmente. Dessa forma, o gráfico apropriado para esse trabalho é o que é referente a amostras de valor individual (X) e amplitude móvel (Rm). A partir disso, os limites de controle foram calculados utilizando as Equações de 1 a 9:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

$$Rm_i = |x_i - x_{i+1}| \quad (2)$$

$$\bar{Rm} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} Rm_i}{n-1} \quad (3)$$

$$LC_X = \bar{x} \quad (4)$$

$$LSC_X = \bar{x} + E_2 \cdot \bar{Rm} \quad (5)$$

$$LIC_X = \bar{x} - E_2 \cdot \bar{Rm} \quad (6)$$

$$LIC_{Rm} = D_4 \cdot \bar{Rm} \quad (7)$$

$$LC_{Rm} = \bar{Rm} \quad (8)$$

$$LIC_{Rm} = D_3 \cdot \bar{Rm} \quad (9)$$

em que:  $\bar{x}$  é a média aritmética por parâmetro, no gráfico de controle para medidas individuais esse valor é a Linha Central ( $LC_X$ );  $Rm_i$  é a amplitude móvel para o ponto  $i$ ;  $\bar{Rm}$  é a média dos valores da amplitude móvel;  $LSC_X$  é o Limite Superior de Controle

e  $LIC_x$  é o Limite Inferior de Controle para o gráfico de controle para medidas individuais;  $LSC_{Rm}$  é o Limite Superior de Controle e  $LIC_{Rm}$  é o Limite Inferior de Controle para o gráfico de controle para amplitudes móveis.  $E_2$ ,  $D_4$  e  $D_3$  são um parâmetros tabelados que servem para ajustar os valores dos limites de controles.

Como foi determinado que o gráfico utilizado foi para valores individuais, para determinar o valor a ser utilizado de  $E_2$ , será considerado o tamanho da amostra ( $n$ ) como sendo igual a 2. Este valor é utilizado, pois é o tamanho das amostras empregadas para o cálculo das amplitudes móveis ( $R_m$ ). Sendo assim, pôde-se encontrar o valor de  $E_2$ ,  $D_4$  e  $D_3$  tabelados (ANEXO A) que depende do número de amostra ( $n$ ).

Os dados referentes ao ano de 2020 foram utilizados para o cálculo dos limites de controle, exeto para o parâmetro de coliformes temotolerântes, em que foi utilizado os dados de 2020 a julho de 2021, por causa da pequena quantidade de dados no ano de 2020. Em seguida, os dados referentes aos outros anos serão utilizados para avaliação do processo. Em relação ao parâmetro de DBO, será utilizado o parâmetro de remoção percentual, no qual será calculado a partir da Equação 10:

$$\% \text{ Remoção} = \frac{C_{entrada} - C_{saída}}{C_{entrada}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Em que:  $C_{entrada}$  é o valor da DBO no afluente a ETE e  $C_{saída}$  é o valor de DBO no efluente a ETE.

Para realizar a interpretação dos gráficos de controle que foram produzidos com os dados referentes aos parâmetros de controle, foi utilizado a regra 1 do item 2.5.2, que é referente a detecção de pontos além dos limites de controle. Como não foi possível produzir os gráficos de controle com as zonas A, B e C (*Western Electric*), foi observado a semelhança entre os arranjos das distribuições dos gráficos que foram produzidos com os arranjos da Figura 8.

### 3.3.1 Capacidade do processo

Em relação ao cálculo para verificar a capacidade do processo, foi utilizado a Equação 11, para cálculo de  $C_p$ , e as Equações 12, 13 e 14 para  $C_{pk}$  ( $C_{pi}$  e  $C_{ps}$ ), respectivamente:

$$Cp = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (11)$$

$$Cpk = \min\{Cpi, Cps\} \quad (12)$$

$$Cpi = \frac{\bar{x}-LIE}{3\sigma} \quad (13)$$

$$Cps = \frac{LSE-\bar{x}}{3\sigma} \quad (14)$$

Em que:  $Cp$  é a Capacidade do processo;  $Cpk$  é a Capacidade do processo unilateral;  $Cpi$  é a Capacidade do processo inferior;  $Cps$ , Capacidade do processo superior;  $LIE$ , Limite Inferior de Especificação e  $LSE$ , Limite Superior de Especificação. Como não se conhece os valores do desvio padrão do processo ( $\sigma$ ), faz-se necessário o utilizar os fatores de correção  $d_2$  e  $c_4$  (ANEXO A), transformando as Equações 11, 13 e 14 nas Equações 15, 16 e 17, respectivamente:

$$Cp = \frac{LSE-LIE}{6 \cdot \frac{Rm}{d_2}} = \frac{LSE-LIE}{6 \cdot \frac{s}{c_4}} \quad (15)$$

$$Cpi = \frac{\bar{x}-LIE}{3 \cdot \frac{Rm}{d_2}} = \frac{\bar{x}-LIE}{3 \cdot \frac{s}{c_4}} \quad (16)$$

$$Cps = \frac{LSE-\bar{x}}{3 \cdot \frac{Rm}{d_2}} = \frac{LSE-\bar{x}}{3 \cdot \frac{s}{c_4}} \quad (17)$$

Em que:  $Rm$  é a amplitude média e  $s$  é o desvio-padrão médio.

### 3.4 MELHORIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO

Após avaliar os gráficos de controle, foi verificado se o processo está em controle em relação aos parâmetros exigidos pelas legislações que são aplicadas à ETE Cachorro (Tabela 5). Além disso, depois dos cálculos dos índices de capacidade de processo ( $Cp$  e  $Cpk$ ) será possível avaliar se o processo de tratamento é capaz de atender os limites legais. A melhoria será proposta por meio de uma avaliação de quais parâmetros estão fora do controle e que não são capazes de serem alcançados.

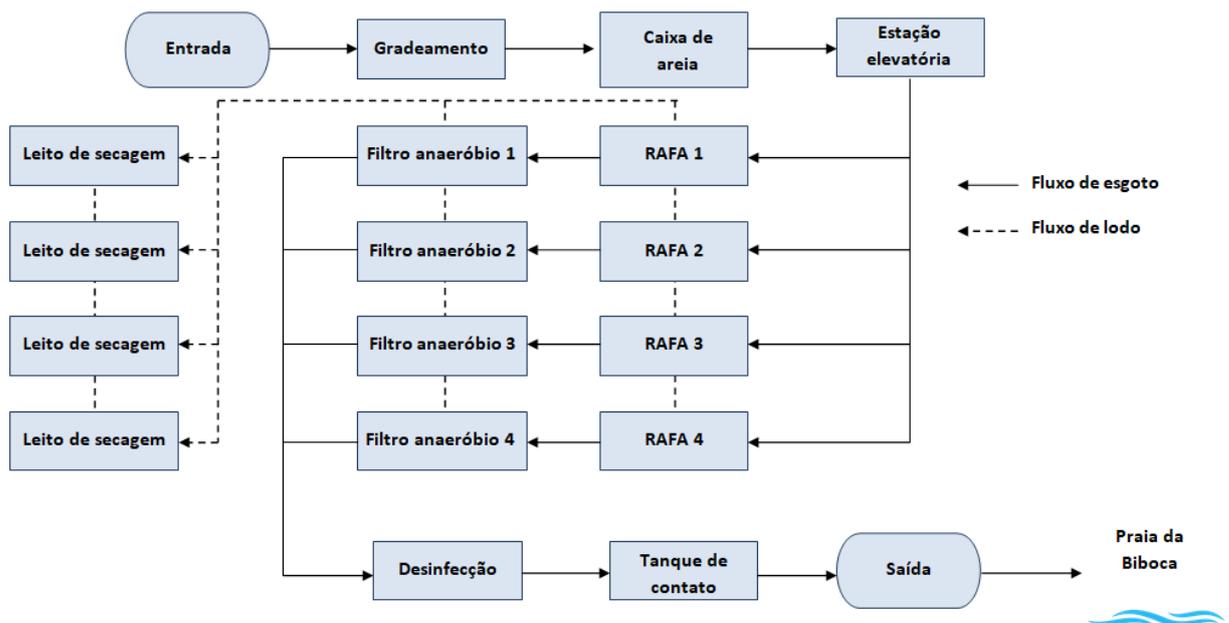
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados obtidos em relação ao acompanhamento da estação de tratamento de esgoto doméstico Cachorro, os gráficos de controle construídos e as respectivas avaliações, capacidade do processo e as propostas para melhoria do processo de tratamento. Sendo assim, serão discutidos os principais fatores que contribuíram para esses resultados, comparando com os parâmetros exigidos por legislação, quando aplicável.

### 4.1 ACOMPANHAMENTO DE UMA UNIDADE DE OPERAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

No período de janeiro de 2020 a janeiro de 2022, foram realizadas atividades de monitoramento do sistema de tratamento da ETE Cachorro, avaliando a operação e coletando amostras mensalmente para o controle dos parâmetros de qualidade. A ETE Cachorro é uma unidade compacta que possui capacidade nominal de tratamento de  $864 \text{ m}^3\text{-dia}^{-1}$ , na qual representa cerca de 80% do esgoto que é tratado na região. O Fluxograma da Figura 10 representa as unidades operacionais e o fluxo do processo de tratamento de esgoto sanitário.

Figura 10 – Fluxograma das etapas do processo de tratamento da ETE Cachorro.



Fonte: O Autor (2023).

Com base na Figura 10, pode-se constatar que a ETE Cachorro possui três níveis de tratamento, preliminar (gradeamento e caixa de areia), secundário, conjunto de quatro Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA) e Filtros Anaeróbios de Fluxo Ascendente, e terciário, a desinfecção. Além disso, também há um sistema de desidratação de lodo, no qual, segundo Vasconcelos (2020), o lodo gerado por processos anaeróbios em RAFA necessitam apenas de secagem e disposição final.

A ETE Cachorro possui um manual de operação que deve ser seguido para conduzir o processo dentro dos padrões e reduzir o risco de possíveis problemas que podem acontecer por causa de erros operacionais. Os procedimentos operacionais resumidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resumo dos procedimentos operacionais que devem ser realizados na ETE Cachorro (Continua).

<b>Equipamento</b>	<b>Procedimento</b>
Gradeamento	Realizar a limpeza diariamente das grades de barra, destinando o material para o local adequado.
Caixa de areia	O operador deve verificar o acúmulo de areia e retirar o material para secagem e destinação correta, conforme frequência estabelecida pela liderança.
Medidor de vazão magnético	O operador deve verificar o funcionamento diariamente e anotar a vazão no formulário de controle operacional;
RAFA	<p>Deve limpar e desobstruir as calhas, vertedores e dispositivos de distribuição de entrada de esgoto no reator, numa frequência estabelecida pela liderança;</p> <p>Verificar diariamente tubulações, registros e estruturas das unidades operacionais;</p> <p>Verificar o nível de lodo do reator e realizar descargas de fundo conforme orientação da liderança;</p> <p>Em caso de obstrução que impossibilite a operação da unidade, o operador deve solicitar a limpeza completa do reator, acompanhado de uma equipe e da liderança responsável.</p>
Filtro anaeróbio	<p>Verificar o nível de lodo e realizar descargas de fundo conforme orientação da liderança;</p> <p>Em caso de obstrução que impossibilite a operação da unidade, o operador deve solicitar a limpeza completa do filtro acompanhado de uma equipe e da liderança responsável.</p>
Desinfecção	<p>O operador deve controlar o uso do produto químico e realizar a dosagem da solução de dicloroisocianurato de sódio de acordo com a orientação da liderança;</p> <p>Realizar o monitoramento do residual de cloro no esgoto tratado, no qual deve permanecer com o valor abaixo ou igual a <math>0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}</math>.</p>
Tanque de contato	O operador deve monitorar o acúmulo de sólidos no fundo do tanque de contato e efetuar a descarga conforme orientação da liderança.

Tabela 6 – Resumo dos procedimentos operacionais que devem ser realizados na ETE Cachorro (Continuação).

<b>Equipamento</b>	<b>Procedimento</b>
Leito de secagem	Preparar o leito para receber o lodo proveniente da descarga (RAFA ou Filtro anaeróbio);  Retirar o lodo desidratado conforme orientação da liderança e destinar para o local adequado.

Fonte: adaptado de Procedimento Operacional CTL-PO-019-01.

Todas as informações apresentadas na Tabela 6 e Figura 10 foram coletadas na Licença de Operação (LO) (CPRH) e no Procedimento Operacional CTL-PO-019-01 (documento interno da COMPESA).

Durante o período de monitoramento foi observado que alguns procedimentos não eram realizados conforme descrito na Tabela 6, o que dificultava o processo de tratamento da unidade. Como por exemplo, à limpeza do gradeamento, os operadores realizavam a limpeza diariamente, porém não era monitorado o acúmulo de material na caixa de areia. Por causa disso, pôde-se perceber que a remoção de areia influencia na operação dos reatores anaeróbios, pois a areia pode obstruir os orifícios e ramais de distribuição do esgoto. Além disso, o sistema de gradeamento deve ser eficiente em remover os sólidos grosseiros e flutuantes, pois esse material pode reduzir o volume útil do reator e/ou obstruir os sistemas de distribuição.

Em relação aos RAFA, o processo de monitoramento não estava sendo aplicado. Não existia um cronograma de limpeza das calhas e vertedouros e dispositivos de entrada de esgoto no reator, fazendo com que a probabilidade de obstrução aumentasse gradativamente, ocasionando, por exemplo, extravasamento de esgoto. Outros problemas, como falta de descargas de fundo nos filtros anaeróbios, acúmulo de sólidos no fundo do tanque de contato, fizeram com que o consumo de produto químico para desinfecção aumentasse.

Para que o sistema de desinfecção (cloração) pudesse atingir os objetivos de inativação dos microrganismos patogênicos, uma das ações operacionais aplicadas na unidade é aumentar a concentração de produto químico. Porém, mesmo com essa atitude, a desinfecção não acontecia conforme previsto. Uma das principais causas desse problema estava na ausência de manutenção preventiva nas bombas dosadoras de cloro e na falta de descargas de fundo no tanque de contato, no qual possuía um acúmulo de sólidos no interior por causa do arraste provocado pelos outros problemas operacionais.

Para que esses problemas fossem reparados, foi realizado um levantamento das ações que eram necessárias para a manutenção das unidades operacionais. Após isso, todos os pontos descritos foram repassados para a coordenação responsável pela operação e manutenção da unidade de tratamento para que as medidas fossem aplicadas em cada unidade operacional que compõe o sistema de tratamento da ETE Cachorro.

#### 4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados para a construção dos gráficos de controle foram adquiridos por meio de levantamento das análises de monitoramento da ETE Cachorro realizadas no período de 2020 a 2022. Estas análises incluem os parâmetros que são exigidos conforme a Licença de Operação, na qual a ETE Cachorro deve cumprir os requisitos da Instrução Normativa 003/2018 (CPRH), na qual traz os mesmos parâmetros da Resolução CONAMA 430/2011 e Norma Técnica 2.007/2001 CPRH (Tabela 5 do item 3.1). Todos esses dados foram organizados em planilhas, nos quais estão no APÊNDICE A, para melhor visualização e criação dos gráficos de controle.

Ainda assim, vale resaltar que devido a pandemia COVID-19, não foi possível realizar as coletas e envios das amostras nos meses de abril e maio do ano de 2020, no qual pode perceber que esses meses estão sem valores na planilha de dados do APÊNDICE A.

#### 4.3 GRÁFICOS DE CONTROLE

Para a construção dos gráficos de controle foi utilizado o *software Excel 2016 da Microsoft*. Foram utilizados os dados referentes ao ano de 2020 para calcular os limites de controle com as Equações que estão apresentadas no item 3.3 e os respectivos fatores que estão no ANEXO A. Apenas para o parâmetro de coliformes termotolerantes foram usados os dados de 2020 a julho de 2021 para o cálculo dos limites, visto que no ano de 2020 foram produzidos poucos dados em relação ao previsto.

Ao construir os gráficos de controle foi possível constatar que para os parâmetros pH, sólidos sedimentáveis, óleos e graxas, remoção de DBO e coliformes termotolerantes, alguns pontos ultrapassavam os limites de controle. Sendo assim, ao desconsiderar estes dados, os limites de controle foram calculados (Tabela 7).

Tabela 7 – Limites de controle calculados com base em dados históricos da ETE Cachorro.

Tipo de gráfico	Limites de controle	Parâmetros					
		pH	Temperatura (°C)	Sólidos sedimentáveis (mL·L <sup>-1</sup> )	Óleos e graxas (mg·L <sup>-1</sup> )	Remoção DBO (%)	Coliforme termotolerantes (NMP·100 mL <sup>-1</sup> )
Observações individuais (X)	LSC <sub>x</sub>	7,5	30,9	0,3	27,9	112,9	2723
	LM <sub>x</sub>	7,1	29,0	0,1	16,2	95,0	485,5
	LIC <sub>x</sub>	6,7	27,1	0,0	4,5	77,1	0,0
Amplitude móvel (Rm)	LSC <sub>Rm</sub>	0,7	3,3	0,3	20,3	7,4	3888
	LMX <sub>Rm</sub>	0,2	1,0	0,1	6,2	2,3	1190
	LICX <sub>Rm</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: O Autor (2023).

A partir da Tabela 7, percebe-se que o limite de controle inferior (LIC<sub>x</sub>) para o parâmetro de eficiência de remoção de DBO, calculado com base em dados históricos, não se enquadra dentro do que é exigido por legislação. Os limites exigidos para a ETE Cachorro são baseados na Instrução Normativa 003/2018 do CPRH, que traz o padrão de eficiência de remoção mínima de 90% de DBO. Além disso, por ser referente ao percentual (%), o limite superior (LSC<sub>x</sub>) não pode ser maior que 100%. Sendo assim, para o LIC<sub>x</sub>, foi adotado o valor da legislação (90%) e para o limite superior (LSC<sub>x</sub>), o valor de 100%. Ainda na Tabela 7, pode ser verificado que o limite superior de controle para o parâmetro de coliformes termotolerantes, também foi superior (2723 NMP·100 mL<sup>-1</sup>) ao estabelecido pela Instrução Normativa 003/2018 do CPRH, na qual estabelece como limite máximo de 1000 NMP de coliformes termotolerantes por 100 mL de amostra. Sendo assim, este valor foi adotado como LSC.

Ao fazer essa alteração, foi possível visualizar que alguns pontos ficaram fora estes limites. Com isso, ao remover esses pontos, os cálculos das médias dos respectivos parâmetros (Remoção de DBO e Coliformes termotolerantes) foram realizados, obtendo-se outros valores para a linha central (LC<sub>x</sub>). Todos os valores retificados se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 – Limites de controle para gráficos de controle em relação aos respectivos parâmetros de qualidade (retificação).

Tipo de gráfico	Limites de controle	Parâmetros					
		pH	Temperatura (°C)	Sólidos sedimentáveis (mL·L <sup>-1</sup> )	Óleos e graxas (mg·L <sup>-1</sup> )	Remoção DBO (%)	Coliforme termotolerantes (NMP·100 mL <sup>-1</sup> )
Observações individuais (X)	LSC <sub>X</sub>	7,5	30,9	0,3	27,9	100,0	1000
	LM <sub>X</sub>	7,1	29,0	0,1	16,2	98,0	110,5
	LIC <sub>X</sub>	6,7	27,1	0,0	4,5	90,0	0,0
Amplitude móvel (Rm)	LSC <sub>Rm</sub>	0,7	3,3	0,3	20,3	6,5	34,3
	LM <sub>Rm</sub>	0,2	1,0	0,1	6,2	2,0	10,5
	LIC <sub>Rm</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

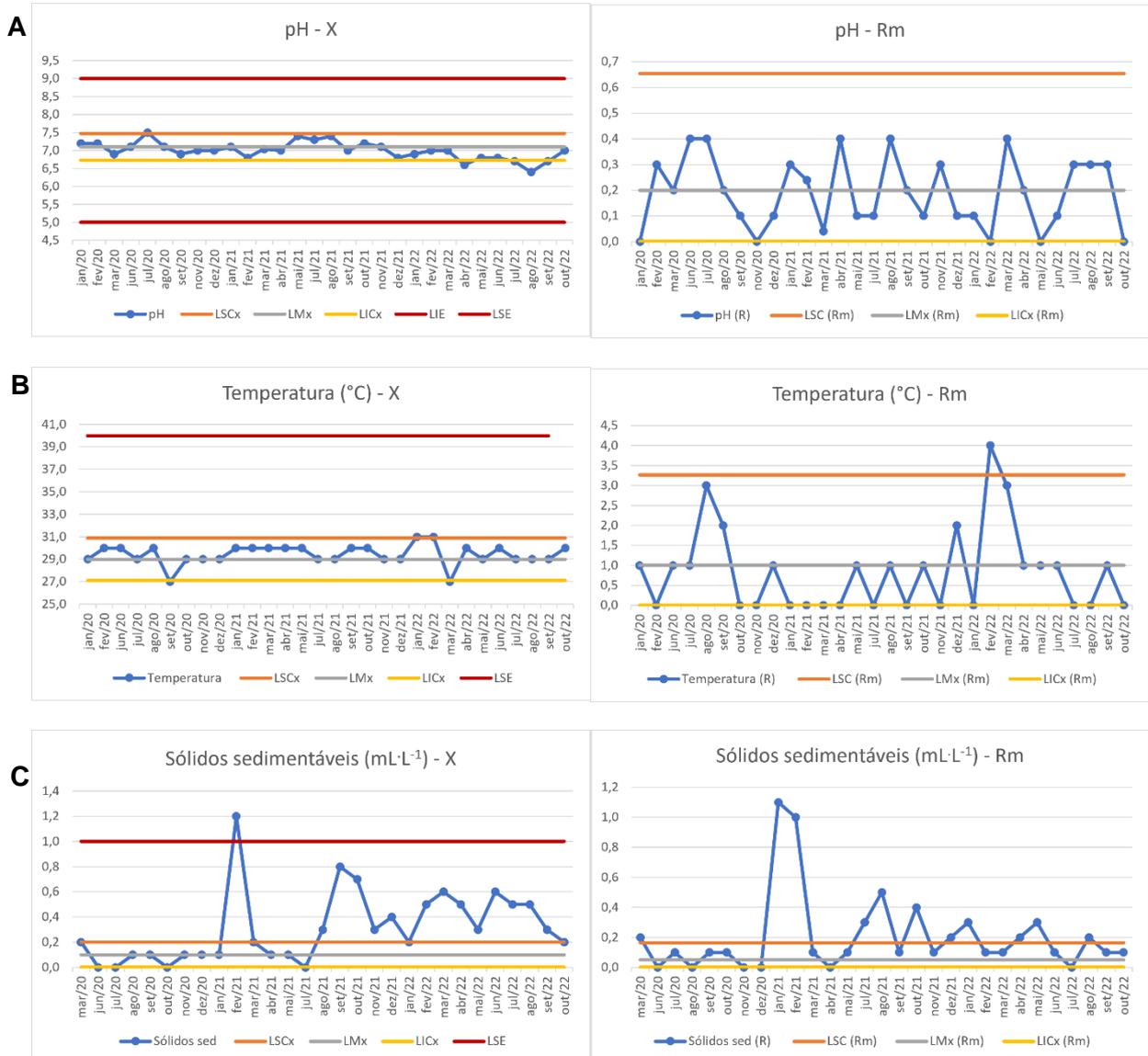
Fonte: O Autor (2023).

Com os valores dos limites da Tabela 8, foi possível construir os gráficos de controle para cada parâmetro analisado. Os gráficos de controle, para os parâmetros pH, temperatura e sólidos sedimentáveis medidas individuais (X) e amplitude móvel (Rm), estão apresentados na Figura 11.

Conforme a Figura 11 (A), o gráfico pH - X apresenta, a partir de dezembro (2021) valores abaixo da linha média. Esse arranjo indica uma estratificação de dados que pode estar associada a mudança de média. Contudo, não há como determinar essa fonte apenas com as possíveis causas para esse tipo de arranjo, visto que o pH está associado ao processo de biodigestão e aos equipamentos que são usados para realização das medições, nos quais são calibrados e os valores são verificados a cada manuseio. Ainda assim, os pontos referentes a abril e setembro de 2022 estão próximos ao LIC e alguns (abril e agosto de 2022) se encontram abaixo do LIC. Esses pontos fora dos limites significam que há variações em relação à média do processo. Sendo assim, devido a esses fatores, o gráfico mostra que processo está fora de controle estatístico a partir deste período, entretanto, mesmo com essas variações, os valores para este parâmetro estão dentro dos limites exigidos pela legislação.

No gráfico pH – Rm, dos pontos entre março (2021) e dezembro (2021) ocorre um padrão cíclico de periodicidade, que pode ter acontecido pelas diferentes condições de entre os períodos de coleta, como por exemplo período chuvoso e seco.

Figura 11 – Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para pH (A), temperatura (B) e sólidos sedimentáveis (C).



Fonte: O Autor (2023).

Pode ser observado na Figura 11 (B) que o gráfico para medidas individuais (X) não possui ponto fora dos limites de controle, entretanto dos pontos referentes aos meses de dezembro de 2020 a dezembro de 2021, existe um arranjo que os pontos se encontram apenas de um lado da linha central (LC<sub>x</sub>). Esse tipo de arranjo indica mudança ou variações, na qual nesse caso pode ter acontecido por causa de mudança de termômetro no momento da coleta, visto que o coletor sempre era o mesmo.

O gráfico referente à amplitude móvel (Rm) (Figura 11 B) contém um ponto fora do limite superior de controle (LSC<sub>Rm</sub>), indicando uma grande variação em relação aos dados anteriores. Isso aconteceu porque no mês de março de 2022 houve

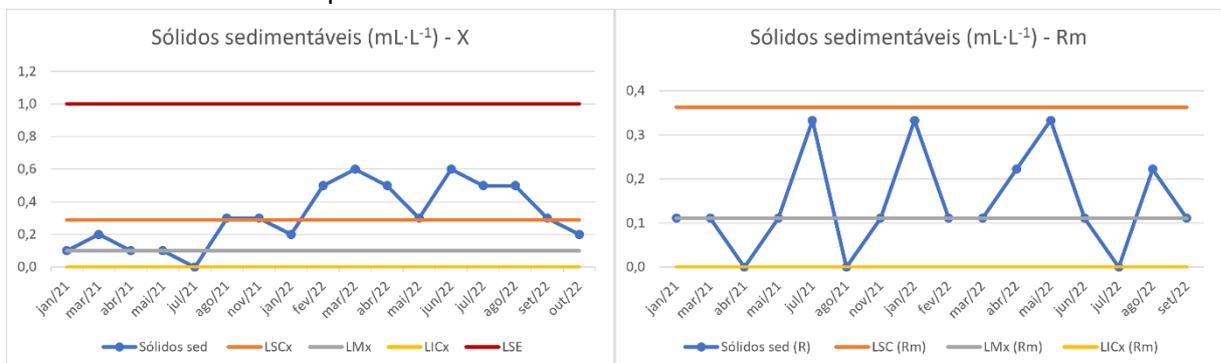
presença de chuva no dia da coleta, baixando um pouco a temperatura do esgoto tratado. Mesmo assim, durante o período de monitoramento, todos os resultados foram dentro do limite estabelecido por legislação.

De acordo com o gráfico da Figura 11 (C) para medidas individuais (X), para os sólidos sedimentáveis, pode-se visualizar que existem vários pontos que estão fora do limite superior de controle, assim como também existem pontos fora do limite no gráfico da amplitude móvel (Rm). Possivelmente os dados do ano de 2020 não representam a situação dos anos de 2021 e 2022, principalmente pela dificuldade operacional relacionada à remoção de sólidos na etapa preliminar (acúmulo de sólidos na caixa de areia) e a manutenção e verificação do nível de lodo nos reatores anaeróbios e filtros anaeróbios.

Um dos módulos do sistema de tratamento não permite a descarga de fundo periódica no filtro anaeróbio por causa de registros e válvulas defeituosas, fazendo com que o excesso de sólido passe para o esgoto tratado, no qual uma parte é depositada no fundo do tanque de contato, ocasionando outros problemas. Diante deste comportamento foram calculados novos limites de controle utilizando os dados do ano de 2021, com exceção do dado referente a fevereiro (2021), pois estava além do LSC, e foram plotados apenas os dados de 2021 e 2022, este gráfico está apresentado na Figura 12.

Vale ressaltar que, mesmo ocorrendo estes desvios operacionais, durante o período de monitoramento apenas uma amostra fevereiro (2021) ficou fora dos padrões estabelecidos pela legislação de  $1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Figura 12 – Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para sólidos sedimentáveis com os dados de 2021 e 2022.



Fonte: O Autor (2023).

Pode ser observado na Figura 12 que o gráfico para medidas individuais (X) apresenta-se fora de controle. A maioria dos pontos referente ao ano de 2022 está acima do limite superior de controle ( $LSC_x$ ), mostrando que causas especiais estão presentes no processo. Essas causas podem ter acontecido devido aos problemas operacionais citados anteriormente, conforme item 4.1.

Para que esses problemas operacionais pudessem ser resolvidos, foram realizadas inspeções nos RAFAs no início do ano de 2021 (entre fevereiro e abril), filtros anaeróbios e tanque de contato, indicando quais unidades precisavam de ações imediatas e manutenções periódicas constantes para reduzir a quantidade de sólidos no efluente tratado. Além disso, foi orientado que os operadores realizassem análises de sólidos sedimentáveis em cone de *Imhoff* com amostras da saída de cada etapa de tratamento (RAFA, filtro anaeróbio, tanque de contato), no mínimo uma vez por semana, com a finalidade de auxiliar no monitoramento desse parâmetro. Contudo, mesmo com a detecção da fonte dos problemas, as ações para resolução não foram aplicadas de forma periódica, fazendo com que se tornasse um dos motivos para o comportamento dos dados observados no ano de 2022

Os gráficos de controle, medidas individuais (X) e amplitude móvel (Rm), para os parâmetros óleos e graxas, remoção de DBO e coliformes termotolerantes, estão exibidos na Figura 13.

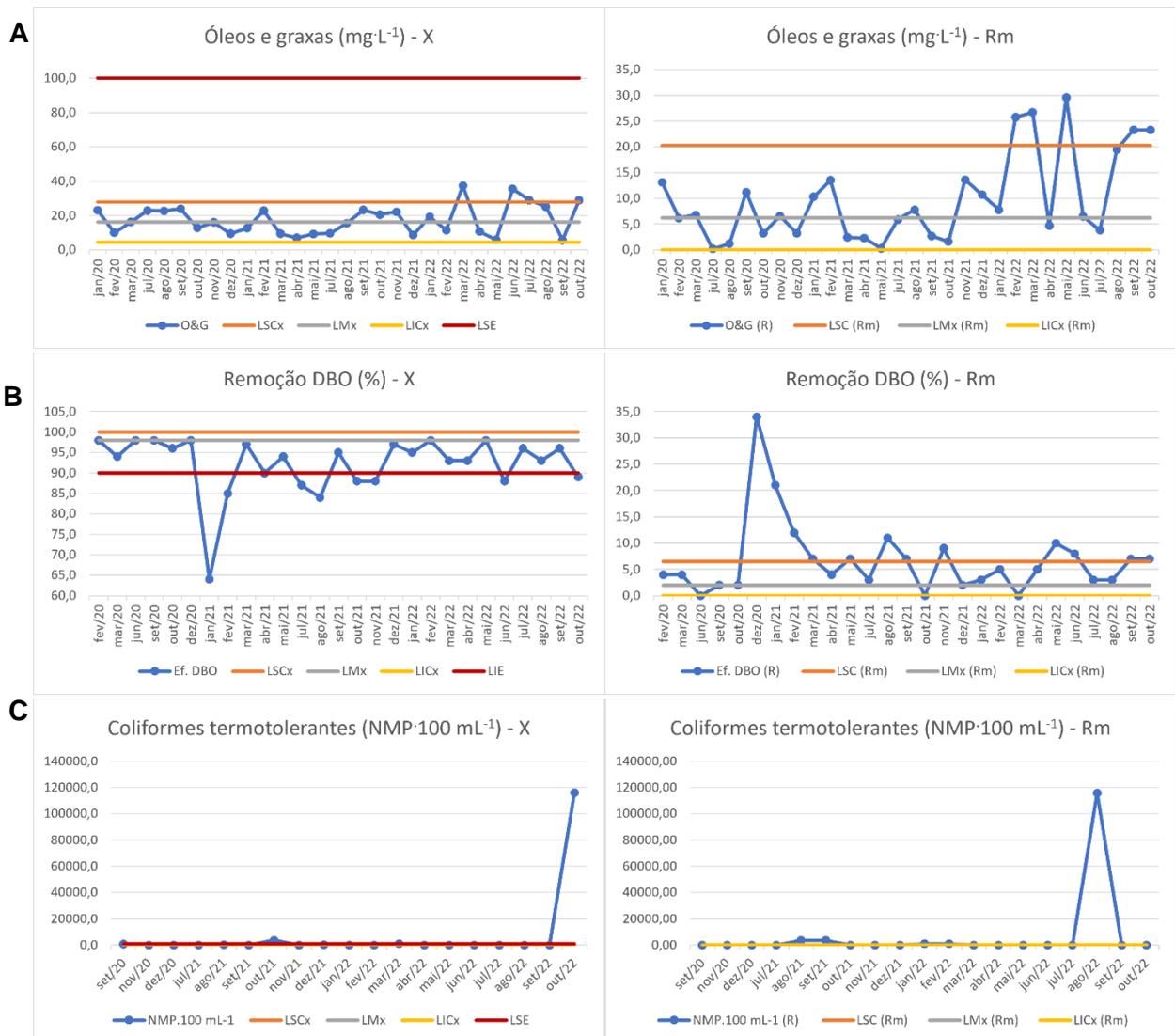
Na Figura 13 (A), pode ser observado o comportamento dos dados para o gráfico X referente a óleos e graxas apresentou-se como o melhor em relação aos outros parâmetros até o mês de fevereiro de 2022. Entretanto, a partir do mês de março de 2022 ocorreu alta variabilidade, sendo representada por pontos que ultrapassaram o limite superior de controle ( $LSC_x$ ). Essas variações são melhores representadas pelo gráfico Rm (Figura 13 B), onde pode-se observar que nesse período houve um aumento considerável referente aos valores anteriores.

Esta alta variabilidade pode estar relacionada ao retorno do aumento do turismo na ilha após o período restritivo devido à pandemia de COVID 19. Este aumento reflete no acréscimo da quantidade de óleos e gorduras que foram depositadas pelos restaurantes e pousadas do local na rede coletora de esgoto, visto que mesmo com a presença de caixa de gordura nesses estabelecimentos, ainda há problemas de operação dessas unidades pelos responsáveis.

Vale salientar que mesmo sendo um local de preservação ambiental, durante o período de monitoramento foi observado contaminação do esgoto doméstico com

material oleoso característico de oficinas automobilísticas, verificando que mesmo sendo um lugar com políticas presentes e constantes sobre preservação do meio ambiente, ainda é um grande desafio chegar a uma unidade sustentável onde ocorra plena contribuição da parte da população para a manutenção das boas condições ambientais.

Figura 13 – Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para óleos e graxas (A), remoção de DBO (B) e coliformes termotolerantes (C).



Fonte: O Autor (2023).

Na Figura 13 (B), para remoção de DBO, os gráficos X e Rm apresentam pontos fora dos limites de controle e de especificação, indicando que o processo para este parâmetro se encontrou fora de controle estatístico, principalmente no ano de

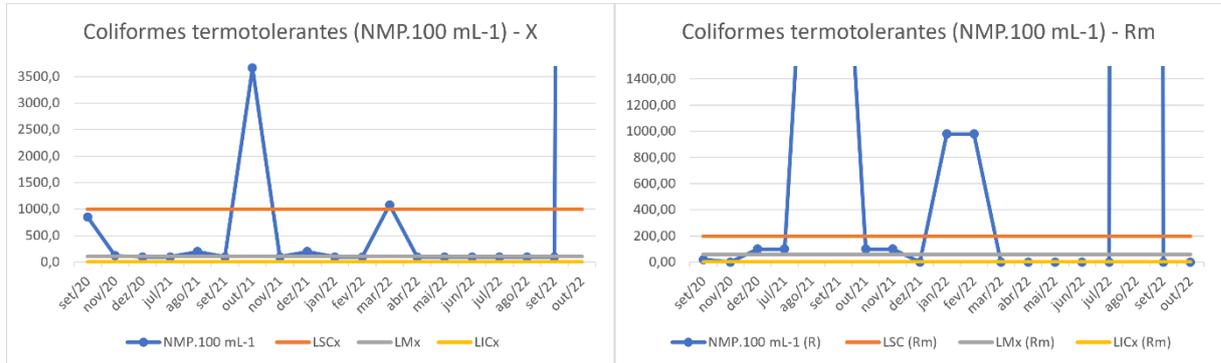
2021. Durante o período de monitoramento, foi possível visualizar que em alguns meses o limite mínimo de remoção (90%) não foi alcançado.

Do ponto de vista de remoção de DBO, existem alguns fatores que permitem que a atuação dos microrganismos não seja eficiente: falha em remover sólidos grosseiros e areia, que podem ocupar volume útil e levar a necessidade de esvaziamento para remoção desse material, falta de monitoramento e verificação de obstrução de tubulações pode ocasionar problemas com distribuição irregular de esgoto dentro do reator. Essa problemática aconteceu por causa dos problemas operacionais inerentes aos módulos de tratamento (conjunto de RAFA e filtro anaeróbio), dos quais já foram apresentados no item 4.1. Além disso, a bomba dosadora de produto química para desinfecção apresentou defeitos foram reparados de forma paliativa, na qual não alcançou eficiência para injetar a solução ao esgoto tratado. A partir de fevereiro (2021) a ação adotada foi de aumentar a concentração da solução de produto químico para tentar alcançar o objetivo esperado, porém, houve uma melhora não muito significativa, visto que no mês seguinte, o resultado ainda se encontrava abaixo do limite de especificação.

Em contrapartida, durante o período entre julho e agosto (2021), onde pode observar no gráfico X da Figura 13 (B) que os resultados voltaram a ser abaixo do limite de especificação, foi realizada uma descarga de fundo no tanque de contato para descartar o lodo que estava influenciando no processo de desinfecção e no resultado de remoção de carga orgânica. Pôde-se notar que houve melhoria de acordo com os resultados dos meses posteriores, entretanto, não foi realizado um cronograma de inspeção e remoção do sólido que fica acumulado no fundo do tanque de contato, fazendo com que esse problema possa existir novamente.

Pode-se observar na Figura 13 (C) que os limites de controle e os pontos do gráfico para o parâmetro coliformes termotolerantes não estão visíveis por causa de alguns pontos que possuem valores que ultrapassam o limite superior de controle. Sendo assim, os gráficos foram ampliados (Figura 14) para ser possível a visualização dos outros pontos.

Figura 14 – Gráficos de controle, medidas individuais do lado esquerdo e amplitude móvel do lado direito para coliformes termotolerantes ampliado.



Fonte: O Autor (2023).

Na Figura 14 é possível observar que o processo não se encontra sob controle, pois há pontos fora dos limites. Alguns fatores contribuem para o não atendimento a esse requisito, como por motivos semelhantes aos já relatados para remoção de DBO. Além desse, outras possíveis causas são: arraste de material sólido para o tanque de contato; vários ajustes na dosagem de produto químico; bombas dosadoras com falhas de funcionamento; períodos noturnos sem aplicação de produto químico; acúmulo de lodo no fundo do tanque de contato. O gráfico da amplitude (Rm) mostra que há variações que são muito superiores em relação às outras que ocorreram durante o período de monitoramento.

Dessa forma, devido aos problemas já identificados anteriormente no item 4.1 e em relação ao sistema de desinfecção, fica claro que a desinfecção na ETE Cachorro deve ter atenção especial, isso porque os resultados evidenciam que essa análise mensal, em relação a esse parâmetro, deve ser monitorada de forma mais constante, com o objetivo de garantir que a etapa de desinfecção esteja funcionando como esperado.

#### 4.3.1 Capacidade do processo

Os índices de capacidade de processo ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) foram calculados com uso das Equações 11, 12 e 13 (item 3.3.2). Os dados utilizados para o cálculo das médias e desvios padrão foram os que foram utilizados para calcular os limites de controle dos gráficos das Figuras 11 e 12. Os limites de especificação superior e inferior, LES e LSI, respectivamente, foram os que são exigidos pela Instrução Normativa 003/2018 do CPRH. Esses limites, assim como os valores das médias ( $\bar{x}$ ) e desvios padrão ( $\sigma$ ) para cada parâmetro podem ser visualizados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados para cálculo dos índices de capacidade de processo.

Parâmetros	LSE	LSI	Média	Desvio padrão
Coliformes termotolerantes	1000,0 NMP-100 mL <sup>-1</sup>	-	110,5	371,6
Remoção de DBO (%)	100%	90%	98,0	1,7
Óleos e Graxas (O&G)	100,0 mg·L <sup>-1</sup>	-	16,2	5,9
pH	9,0	5,0	7,1	0,2
Sólidos Sedimentáveis	1,0 mg·L <sup>-1</sup>	-	0,1	0,1
Temperatura	40,0°C	-	29,0	0,9

Fonte: O Autor (2023).

A partir da Tabela 9, pode-se perceber que embora o valor para LSE em relação ao parâmetro de remoção de DBO (%) foi colocado como 100%, a legislação não traz um limite superior. Esse valor foi adotado por se tratar de percentual, visto que o máximo é 100%. Os valores para os índices de capacidade de processo são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado dos cálculos dos índices de capacidade de processo  $C_p$  e  $C_{pk}$ 

Parâmetros	$C_p$	$C_{pk}$	
		$C_{pi}$	$C_{ps}$
Coliformes termotolerantes	*	*	0,6
Remoção de DBO (%)	0,8	1,3	0,3
Óleos e graxas (O&G)	*	*	3,8
pH	2,8	3,0	2,7
Sólidos Sedimentáveis	*	*	3,5
Temperatura	*	*	3,2

\*Não foi possível calcular porque não há valor para LIE (Tabela 9).

Fonte: O Autor (2023).

Pela Equação (12), sabe-se que o valor do  $C_{pk}$  é o valor mínimo referente à  $C_{pi}$  e  $C_{ps}$ . Sendo assim, os valores de  $C_{pk}$  são os valores relativos ao  $C_{ps}$ . Os valores para o índice  $C_p$  (Tabela 10) para remoção de DBO (%) é menor que 1, enquanto para o pH, o valor é maior que 1,33. Com base no item 2.5.3, pode-se dizer que o processo não é capaz referente ao parâmetro de remoção de DBO (%), mas é capaz referente ao parâmetro de pH. Esses resultados são coerentes com os resultados dos gráficos

de controle para esses parâmetros (Figuras 11 A e 13 B) e suas respectivas interpretações apresentadas no item 4.3.

Os resultados para o índice  $Cpk$  (Tabela 10) representam o deslocamento do processo em relação ao valor que é esperado (média do processo). Os resultados do  $Cpk$  para os parâmetros de remoção de DBO (%) e pH possuem diferença em relação a sua interpretação. Como o valor de  $Cpk$  referente à remoção de DBO (%) é diferente do valor de  $Cp$ , pode-se dizer que o processo está deslocado em relação ao valor médio. Embora a especificação traga apenas o limite inferior como parâmetro, como se trata de percentual o limite superior foi adotado como o valor percentual máximo. Isso explica o processo em relação aos gráficos de controle, visto que os valores foram mais próximos do LIC, onde nenhum resultado ultrapassou o LC no gráfico x da Figura 13 (B).

Partindo-se desse ponto de vista, para o parâmetro pH, os valores de  $Cp$  e  $Cpk$  são relativamente iguais (Tabela 10). Essa proximidade releva que o processo está centralizado entre os limites de especificação. Isso explica o motivo de boa parte dos pontos se apresentarem dentro da faixa estabelecida pelos limites de controle (LSC e LIC), no qual pode-se perceber na Figura 11 A que esses limites estão centralizados em relação aos limites de especificação (LSE e LIE).

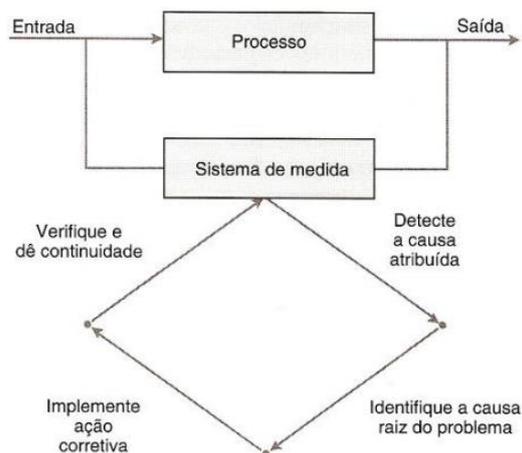
Embora não tenha sido possível realizar os cálculos dos índices de  $Cp$  para os outros parâmetros (coliformes termotolerantes, óleos e graxas, temperatura e sólidos sedimentáveis), pode-se interpretar os valores do índice  $Cpk$  para avaliar a capacidade unilateral do processo. Portanto, vale salientar que valores acima de 1,33 demonstram que o processo é potencialmente capaz, enquanto valores abaixo de 1 demonstram que o processo não é capaz. Logo, para coliformes termotolerantes o processo não é capaz ( $Cpk < 1$ ), enquanto para os parâmetros óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e temperatura, o processo possui capacidade potencial ( $Cpk > 1,33$ ).

#### 4.4 MELHORIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO

Para que o processo de tratamento de esgoto sanitário da ETE Cachorro possa ser melhorado, todas as problemáticas envolvendo a operação da unidade de tratamento, das quais já foram citadas no item 4.1, devem ser corrigidas, reduzindo a possibilidade de presença de causas especiais que causam desvios estatísticos, que são as causas de processos fora de controle estatístico.

Sendo assim, os gráficos que foram produzidos neste trabalho podem servir como um modelo para que o processo de tratamento seja monitorado de forma mais consistente. Com base nisso, vale destacar que os gráficos de controle para cada parâmetro analisado detectam apenas se no processo existe alguma causa especial que faz com que o processo tenha uma variabilidade maior, porém, é dever dos responsáveis pelo processo de tratamento que organizem planos de ação para cada problema existente, com o objetivo de responder aos sinais dos gráficos de controle. Para isso, pode seguir a orientação de Montgomery, Runger e Hubele (2014) (Figura 15), que traz uma ilustração dos caminhos para a atividade de melhoria de um processo utilizando gráficos de controle para o monitoramento dos parâmetros de qualidade.

Figura 15 – Melhoria de processo utilizando gráfico de controle.



Fonte: MONTGOMERY, RUNGER e HUBELE (2014).

Na Figura 15, pode-se visualizar que a cada detecção da causa atribuída (especial), há a identificação da causa raiz do problema para que a ação corretiva possa ser implementada de forma eficiente. Depois disso, é necessário verificar se aquela ação gerou mudança no processo por meio de verificações que podem ser realizadas por coletas e análises extras, com o objetivo de garantir que a causa especial foi eliminada.

Em relação ao processo de tratamento de acordo com os parâmetros avaliados por esse trabalho, pode-se perceber que os parâmetros sólidos sedimentáveis, óleos e graxas (a partir de março de 2022), remoção de DBO e coliformes termotolerantes foram os que se apresentaram com mais desvios, nos

quais podem ser visualizados por meio dos gráficos de controle das Figuras 11 (C) e 13 (A, B e C), respectivamente.

Sendo assim, para reduzir ou eliminar as causas desses problemas podem ser aplicadas algumas ações para melhorar o processo de tratamento em relação a esses parâmetros. Essas medidas corretivas são baseadas no período de monitoramento que foi realizado, onde foi possível entender o processo e os problemas inerentes a estação de tratamento. Contudo, quando não se conhece a causa raiz para determinar uma solução, pode-se utilizar outras ferramentas que fazem parte do controle estatístico de processo (CEP), como diagrama de *ishikawa*, que tem o objetivo de identificar fatores que resultam em situações ou resultados indesejáveis. As propostas de medidas de correção são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Medidas sugeridas para eliminar ou reduzir as causas especiais presentes no processo de tratamento da ETE Cachorro (Continua).

<b>Parâmetro</b>	<b>Ações corretivas</b>
Sólidos sedimentáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar e cumprir um cronograma de limpeza da caixa de areia;</li> <li>- Realizar inspeção e manutenção preventiva dos módulos RAFA/filtro anaeróbia, verificando possíveis obstrução de tubulação;</li> <li>- Realizar análises de sólidos sedimentáveis em cone de <i>imhoff</i> diária ou semanalmente nos efluentes de cada unidade de operação (saída dos reatores, saída dos filtros e saída do tanque de contato), para verificar a necessidade de descargas;</li> <li>- Consertar ou trocar os registros com defeitos que impedem a realização de descargas em um dos quatro módulos (conjunto RAFA/filtro anaeróbio), evitando acúmulo de material e arraste de sólidos;</li> <li>- Realizar inspeção mensal do nível de lodo acumulado no fundo do tanque de contato, com o objetivo de avaliar e determinar o tempo necessário para realização de descarga de fundo.</li> </ul>
Remoção de DBO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar as ações que já foram propostas em relação ao parâmetro de sólidos sedimentáveis, pois algumas também estão relacionadas com esse parâmetro;</li> <li>- Verificar diariamente o nível de lodo nos RAFAs, para avaliar se existe algum reator que não possui boa performance.</li> </ul>

Tabela 11 – Medidas sugeridas para eliminar ou reduzir as causas especiais presentes no processo de tratamento da ETE Cachorro (Continuação).

<b>Parâmetro</b>	<b>Ações corretivas</b>
Coliformes termotolerantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adquirir bombas dosadoras novas, garantindo unidades reservas para substituição caso ocorra algum problema;</li> <li>- Realizar as ações que já foram citadas (parâmetro de sólidos sedimentáveis) em relação ao tanque de contato;</li> <li>- Ajustar a dosagem de produto químico para que a solução aplicada consiga desinfetar o esgoto tratado sem desperdício de produto;</li> <li>- Elaborar um meio para que o produto químico possa ser aplicado durante a noite, já que não há operador noturno na unidade;</li> <li>- Realizar análise diária para verificar a concentração de cloro residual no esgoto tratado.</li> </ul>

Fonte: O Autor (2023).

A partir desses pontos, pode-se iniciar um processo de melhoria em relação ao tratamento de esgoto doméstico da ETE Cachorro. Com o auxílio das ferramentas de controle estatístico de processo, como o gráfico de controle, por exemplo, pode-se obter bons resultados durante os anos posteriores a esse período de monitoramento, tendo-se em vista a importância em despejar um esgoto tratado em condições aceitáveis do ponto de vista da legislação vigente e para contribuir com a busca pela preservação ambiental, assim como garantir melhor qualidade de vida para a população da ilha de Fernando de Noronha.

## 5 CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto neste trabalho, pôde-se perceber que o monitoramento do processo de tratamento de esgoto sanitário da ETE Cachorro, na qual está localizada na ilha de Fernando de Noronha, através dos gráficos de controle, durante o período de 2020 a 2022, apresentou os problemas operacionais que existem na unidade de tratamento. Do ponto de vista estatístico, esses problemas são conhecidos como causas especiais, das quais desenvolvem desvios no processo, fazendo com que não esteja sob controle ou ao não atendimento em relação aos padrões de qualidade regidos pela legislação. Desta forma, sendo necessário aplicar ações corretivas para um bom desempenho do processo.

Além disso, os índices de capacidade de processo ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) indicaram quais parâmetros tiveram mais dificuldade de se adequar a legislação, nos quais os sólidos sedimentáveis, remoção de DBO e coliformes termotolerantes apresentaram mais pontos não-conformes.

Para que o processo de tratamento seja melhorado, foram propostas algumas ações que precisam ser avaliadas para serem aplicadas posteriormente. Essas ações foram baseadas no período de experiência adquirida durante os anos de monitoramento, porém, caso ocorra o surgimento de novos desvios ou irregularidades em relação aos resultados dos parâmetros de qualidade de esgoto sanitário, é importante fazer uso de outras ferramentas de controle de qualidade, para buscar a causa raiz do problema. Com isso, vale ressaltar que os gráficos de controle permitem a identificação de causas especiais, entretanto é de responsabilidade dos que fazem a gestão da unidade de tratamento e dos operadores desenvolverem essas ações para corrigir os problemas e manter o processo em níveis aceitáveis, contribuindo com a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ABAYA, L. M.; WIEGNER, T. N.; COLBERT, S. L.; BEETS, J. P.; CARLSON, K. M.; KRAMER, K. L.; MOST, R.; COUCH, C. S. A multi-indicator approach for identifying shoreline sewage pollution hotspots adjacent to coral reefs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 129, n. 1, p. 70-80, 2018.
- ALVES, G. B.; BONINI, L. M. M. de; MAIELLARO, R. J. Análise da capacidade do processo de extrusão. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-Reasae**, São Paulo, v. 8, n. 6, p. 2675-3375, 2022.
- ATKINS, P.W.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7.ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 1048 p.
- AVELAR, F. F.; MATOS, A. T. de; PIMENTEL, M. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquática*. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 1259-1266, 2019.
- BALDASSO, G.; PIMENTA, R. C. S. de; FERREIRA, E. B. Controle estatístico de processo na produção de requeijão: estudo de caso em um laticínio no sul de minas gerais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 75, n. 3, p. 156-167, 2020.
- BEGA, J. M. M.; OLIVEIRA, J. N. de; ALBERTIN, L. L. Dinâmica temporal da qualidade da água em um córrego urbano. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 5, p. 903-913, 2021.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília, Disponível em:<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#view](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#view)>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, Disponível em:<<https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2007-01-05;11445!art50>>. Acesso em: 08 dez. 2022.
- Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral ano de referência 2020. Brasília, 2021. 91 p. Disponível em:<[https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2021.pdf](https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 020**, de 18 de junho de 1986. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 1986. Disponível em:<<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 2011. Disponível em:<<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (gov.). "**Cada real gasto em saneamento economiza nove em saúde**", disse ministro da Saúde. 2017. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset\\_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 10 dez. 2022.

BRK AMBIENTAL. Os impactos da relação entre saneamento básico e saúde pública. 2020. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/saneamento-basico-e-saude-publica/>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

CARVALHO, M. M. de; PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 456 p.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. O que é Legislação. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-mistas/cpcms/normativas/oquelegislacao.html>>. Acesso em: 14 abr. 2023.

CAMPOS, R. F. F.; KUHN, D. C. Análise da interação de uma fonte pontual de lançamento de esgoto sanitário com a qualidade da água de um sistema lótico, Rio do Peixe, Santa Catarina, Brasil. **Nature and Conservation**, v.14, n.3, p.96-102, 2021.

CARLOS, E.; FERREIRA FILHO, R. A. **Saneamento e doenças de veiculação hídrica DATASUS e SNIS 2019**. São Paulo: Trata Brasil, 2021. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/saneamento-e-doencas-de-veiculacao-hidrica-ano-base-2019/>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

COMPESA. HISTÓRIA e perfil. Disponível em: <<https://servicos.compesa.com.br/historia-e-perfil/>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

CONAMA. **O que é CONAMA?** 2018. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>>. Acesso em: 02 jan. 2023.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. **Controle estatístico de qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2013. 331 p.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. **CPRH N 2.001: Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos Industriais**. Recife, 2000. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/publicacoes-e-transparencia/normas-tecnicas/>>. Acesso em 11 dez. 2022.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. **CPRH N 2.002: Controle de carga orgânica não-industrial**. Recife, 2000. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/publicacoes-e-transparencia/normas-tecnicas/>>. Acesso em 11dez. 2022.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. **CPRH N 2.007: Coliformes fecais – Padrões de lançamento para efluentes domesticou e/ou industriais**. Recife, 2001. Disponível em: <<http://www2.cprh.pe.gov.br/publicacoes-e-transparencia/normas-tecnicas/>>. Acesso em 11dez. 2022.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente (gov.). **História, Missão e Valores**. Disponível em:<<http://www2.cprh.pe.gov.br/sobre-a-cprh/historia-missao-e-valores/>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente (gov.). **Legislações e Instruções Normativas**. Disponível em:<<http://www2.cprh.pe.gov.br/publicacoes-e-transparencia/legislacoes-e-instrucoes-normativas/>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

CRIZEL, M. G.; LARA, A. C. Avaliação da eficiência de uma estação de tratamento de efluentes instalada em uma universidade federal: questão de gestão ambiental. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Chapecó, v. 8, n. 3, p. 54-70, 2020.

FIORESE, C. H. U. Estudo do oxigênio dissolvido aliado à análise de uso de solo da área de preservação permanente do Rio Castelo-ES, Brasil. **Brazilian Journal Of Development**, v. 5, n. 1, p. 887-900, 2018.

FRANÇA, L. R. C.; COURA, M. A. de; OLIVEIRA, R. de; LIMA, A. C. R; MEDEIROS, D. L. R. de. Aplicação de técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto no controle da poluição das águas do Riacho das Piabas, Campina Grande, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 541-552, 2022.

FUNASA. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. Disponível em:<[https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo\\_1.pdf](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/capitulo_1.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2023.

FURTADO, J. C. C. **Uma abordagem para o ensino do Controle Estatístico de Processo em cursos superiores de computação**. 2020. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

GOUVEIA, M. A. C. da. **Controle estatístico da qualidade**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional, 2018. 260 p.

HATTORI, A. Y.; BARANA, A. C. Diagnóstico sobre a eficiência das estações de tratamento de esgoto na região de Cornélio Procópio. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 11, n. 22, p. 40–55, 2022.

HENDGES, J. C.; SUHRE, T. K.; BUTARELLI, F. P. Controle estatístico de processos: uma avaliação na agregação de farinha em um processo de empanamento. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 10, n. 18, p. 43, 2023.

HOSSEINIFARD, S. Z.; ABBASI, B. Evaluation of process capability indices of lineares profiles. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, v. 29, n. 2, p. 162-176, 2012

IBGE. **Cidades e Estados**. 2022. Disponível em:<<https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/fernando-de-noronha.html>>. Acesso em: 24 nov. 2022

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 932 p.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JR, I. **Tratamento de esgotos em empreendimentos habitacionais**. 1 ed. Brasília: CAIXA, 2009. 132 p.

JUNQUEIRA, W. B. C. de; CAMPOS, C. M. M.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; AMORIM, F. Estudos hidrodinâmicos do escoamento em caixa de gordura empregada no tratamento preliminar dos efluentes de cozinha industrial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 911-919, 2017.

KENT, R. J. **Quality management in plastics processing: strategies, targets, techniques and tools**. Amsterdam: Elsevier, 2016. 370 p.

LIMA, A. A. N.; LIMA, J. R.; SILVA, J. L.; ALENCAR, J. R. B.; SOARES-SOBRINHO, J. L.; LIMA, L. G.; ROLIM-NETO, P. J. Aplicação do controle estatístico de processo na indústria farmacêutica. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 177-187, 2006.

LUZ, T. G. da. **Controle Estatístico de Processo (CEP) aplicado na avaliação de uma estação de tratamento de efluentes**. 2020. 107 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020. Disponível em: <[http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5313/1/LD\\_PPGEA\\_M\\_Luz%2C\\_Tayla\\_Gabriela\\_da\\_2020.pdf](http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5313/1/LD_PPGEA_M_Luz%2C_Tayla_Gabriela_da_2020.pdf)>. Acesso em: 08 dez. 2022.

MAHANTI, R.; EVANS, J. R. Critical success factors for implementing statistical process control in the software industry. **Benchmarking: An International Journal**. v. 19 n. 3, p. 374-394, 2012.

MENDONÇA, T. P.; PETRECA, W. L.; SOUZA, A. D. G. de. Autodepuração de corpos hídricos: estudo do lançamento de esgoto doméstico no rio Iambari (poço de caldas). **Geo Ambiente**, v. 36, n. 1, p. 85-103, 2020.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1927 p.

MIKI, M. K.; CHEN, G.; EKAMA, G. A.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; BRDJANOVIC, D. **Tratamento biológico de esgoto**. 2. ed. São Paulo: Iwa Publishing, 2022. 866 p.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2012. 768 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. 6 ed. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 1378 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. HUBELE, N. F. 2 ed. **Estatística aplicada à engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 354 p.

MINITAB. **Usando testes para causas especiais em cartas de controle**. 2021. Disponível em:<<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/supporting-topics/basics/using-tests-for-special-causes/>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. dos. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista Dae**, São Paulo, v. 67, n. 215, p. 40-55, 2019.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K.; SILVA, P. M. R. de. Avaliação de parâmetros operacionais de um sistema de membranas para tratamento de efluentes oleosos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 719-725, 2019.

NASCIMENTO, A. R. M.; BATISTA, M. M.; SANTOS, S. L. dos. Balanço de oxigênio dissolvido em lagoas de polimento tratando efluente de reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 6, p. 1221-1228, 2022.

NOJOSA, A. C. B.; SAMPAIO, C. G. de; FIRMINO, E. S. da; GUERRA, M. H. F.; SALDANHA, G. C. B.; VASCONCELOS, A. K. P. Utilização de controle estatístico de processo em uma atividade experimental no Instituto Federal do Ceará. **Research, Society And Development**, v. 8, n. 11, p. 1-25, 2019.

NORONHA PE. Apresentação. 2023. Disponível em:<<https://www.noronha.pe.gov.br/administracao/apresentacao/>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

OLIVEIRA, C. C. de; GRANATO, D.; CARUSO, M. S. F.; SAKUMA, A. M. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos em laboratórios de ensaio**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013. 76 p.

OLIVEIRA, D. C. S. da; AZEVEDO, P. G. F. de; CAVALCANTI, L. A. P. Processos biológicos para o tratamento de efluentes: uma revisão integrativa. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 18, p. 397-415, 2021.

OLIVEIRA, E. N.; FERREIRA, M. F.; OLIVEIRA, W. F.; OLIVEIRA, R. R. Estudo bibliográfico das tecnologias utilizadas no tratamento do esgoto e a legislação em vigor no Brasil. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.20-27, 2019.

OLIVEIRA, J. P. de; ANTUNES, P. W. P.; PINOTTI, L. M.; CASSINI, S. T. A. Caracterização físico-química de resíduos oleosos do saneamento e dos óleos e graxas extraídos visando a conversão em biocombustíveis. **Química Nova**, v. 37, n. 4, p. 597-602, 2014.

OLIVEIRA, T. C. de; SILVA, A. C. G.; SANTOS, P. V. S. Aplicação do Controle Estatístico de Processo: estudo aplicado em fabricante de chapas de gesso Drywall. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v. 8, n. 1, p. 59-66, 2023.

PACHECO, J. C. C.; ORLANDO, W. A. de; PACHECO, F. C.; PACHECO, A. F. C.; CORREA, K. P. de; PAIVA, P. H. C. Desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado de baixo custo para sistema biológico de tratamento de efluentes por lagoa anaeróbia. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, v. 8, n. 8, p. 1-6, 2022.

PIERITZ, N. A. **Controle estatístico do processo**. Indaial: Uniasselvi, 2017. 249 p.

Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário. **IBGE**, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em:<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

RAMOS, R. G. **Aplicação do Controlo Estatístico do Processo numa Indústria de Masterbatches de Aditivos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2017.

ROCHA, A.; SOUZA, G.; BARCELLOS, M. **Medição de Software e Controle Estatístico de Processos**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2012. 232 p.

RODRIGUES, A. J. de. ENFOQUE NO GERENCIAMENTO DA ROTINA PARA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS. **Brazilian Journals Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 65259-65275, 2021. South Florida Publishing LLC.

SAMOHYL, R. W. **Controle Estatístico da Qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SANTANA, N. S. de; BRITO, A. A. de; PALHARES, R. A. de; LIMA, A. J. T. de; OLIVEIRA, M. S. B. de. Controle estatístico da qualidade: uma aplicação em uma indústria têxtil. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, v. 7, n. 12, p. 47, 17, 2019.

SANTANA, J. C. S.; PERES, S. M.; SOUZA, P. R. A. de; SOUZA, J. P. S. de. Os impactos gerados no meio ambiente e na sociedade pela falta de tratamento de esgoto sanitário nas regiões brasileiras. **Revista Portos**: por um mundo mais sustentável, v. 1, n. 12, p. 48-57, 2020

SCARTEZZINI, A. C. O Saneamento e a Prestação Regionalizada. **Portal Saneamento Básico**. São Paulo. 2020. Disponível em:<<https://saneamentobasico.com.br/outros/colunistas/saneamento-prestacao-regionalizada/>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

SILVA, P. L. de. Análise da performance e capacidade do processo através da aplicação do método DMAIC: um estudo de caso em uma fábrica de embalagens de alumínio de três rios - rj. **Reinpec - Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 1-21, 2021.

SOUZA, G. A. **Aplicação de gráficos de controle estatístico de processo para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 141. 2018.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. DESA, UFMG. 13p. 1996. 452 p.

SPERLING, Marcos Von. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 111-132, 1998.

SPIEGEL, M. R.; STEPHENS, L. J. **Schaum's outline of the oryand problems of statistics**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 577 p.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O. de; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para a escolha de soluções. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 153 p.

VASCONCELOS, R. C. de. **Tratamento de efluentes líquidos: uma perspectiva para o desenvolvimento sustentável**. Campina Grande: Amplla, 2020. 47 p.

VILARINHO, C. M. R.; SCHMITT, V. F.; REIS, B. C.; MELILLO, W. J. S. Água e esgoto na pandemia da COVID-19: o papel da regulação e o desafio para o objetivo de desenvolvimento sustentável 6 no brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 335-346, 2022.

WERJEN (Santa Catarina). **Tipos de decantadores**. 2023. Disponível em:<<https://werjen.com.br/tratamento-primario/decantador/>>. Acesso em: 19 mar. 2023.

**APÊNDICE A - Dados referentes às análises dos parâmetros de qualidade da ETE Cachorro do ano de 2020 a 2022.**

<b>Data (mês/ano)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>	<b>Sólidos sedimentáveis (mL-L<sup>-1</sup>)</b>	<b>óleos e graxas (mg-L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Remoção de DBO (%)</b>	<b>Coliformes termotolerantes (NMP-100 mL<sup>-1</sup>)</b>
jan/20	29,0	7,2	1,0	23,1	89,0	3840,0
fev/20	30,0	7,2	1,5	10,0	98,0	*
mar/20	32,0	6,9	0,2	16,2	94,0	*
abr/20	**	**	**	**	**	**
mai/20	**	**	**	**	**	**
jun/20	30,0	7,1	0,0	3,0	98,0	*
jul/20	29,0	7,5	0,0	23,0	79,0	3140,0
ago/20	30,0	7,1	0,1	22,8	89,0	*
set/20	27,0	6,9	0,1	24,0	98,0	850,0
out/20	29,0	7,7	0,0	12,8	96,0	1990,0
nov/20	29,0	7,0	0,1	16,0	86,0	121,0
dez/20	29,0	7,0	0,1	9,4	98,0	<100
jan/21	30,0	7,1	0,1	12,6	64,0	155310,0
fev/21	30,0	6,8	1,2	22,9	85,0	8220,0
mar/21	30,0	7,0	0,2	9,4	97,0	7850,0
abr/21	30,0	7,0	0,1	7,0	90,0	538000,0
mai/21	30,0	7,4	0,1	9,3	94,0	1340,0
jul/21	29,0	7,3	0,0	9,6	87,0	<100
ago/21	29,0	7,4	0,3	15,5	84,0	200,0
set/21	30,0	7,0	0,8	23,3	95,0	<100
out/21	30,0	7,2	0,7	20,6	88,0	3660,0
nov/21	29,0	7,1	0,3	22,2	88,0	<100
dez/21	29,0	6,8	0,4	8,6	97,0	200,0
jan/22	31,0	6,9	0,2	19,3	95,0	<100
fev/22	31,0	7,0	0,5	11,5	98,0	<100
mar/22	27,0	7,0	0,6	37,3	93,0	1080,0
abr/22	30,0	6,6	0,5	10,6	93,0	<100
mai/22	29,0	6,8	0,3	5,9	98,0	<100
jun/22	30,0	6,8	0,6	35,5	88,0	<100
jul/22	29,0	6,7	0,5	29	96,0	<100
ago/22	29,0	6,4	0,5	25,2	93,0	<100
set/22	29,0	6,7	0,3	5,7	96,0	<100
out/22	30,0	7,0	0,2	29	89,0	116000,0

\*Análises não foram realizadas durante o período de monitoramento. \*\*Não foram realizadas coletas devido a pandemia COVID-19.

Fonte: COMPESA (2023).

**ANEXO A – Fatores para construção de gráficos de controle para variáveis.**

<b>n</b>	<b>E<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>4</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>
2	2,660	0,000	3,267	1,128	0,798
3	1,772	0,000	2,574	1,693	0,886
4	1,457	0,000	2,282	2,059	0,921
5	1,290	0,000	2,115	2,326	0,940
6	1,184	0,000	2,004	2,534	0,952
7	1,109	0,076	1,924	2,704	0,959
8	1,054	0,136	1,864	2,847	0,965
9	1,010	0,184	1,816	2,970	0,969
10	0,975	0,223	1,777	3,078	0,973

Fonte: MOTGOMERY, RUNGER e HUBELE (2014).