



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DOCUMENTAL DO SISTEMA DE DESINFECÇÃO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DR. HÉLIO SEIXO DE BRITTO**

BRHENDA JORDANY NASCIMENTO SILVA

APARECIDA DE GOIÂNIA - GO

2026

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Brhenda Jordany Nascimento Silva

Matrícula: 20211090040020

Título do Trabalho: Estudo documental do sistema de desinfecção da estação de tratamento de esgoto dr. Hélio Seixo de Britto

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

CÂMPUS APARECIDA DE GOIÂNIA

DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

BRHENDA JORDANY NASCIMENTO SILVA

**ESTUDO DOCUMENTAL DO SISTEMA DE DESINFECÇÃO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DR. HÉLIO SEIXO DE BRITTO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Aparecida de Goiânia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, desenvolvido na linha de pesquisa de Águas e Meio Ambiente sob orientação da professora Ma. Jéssica Azevedo Coelho.

APARECIDA DE GOIÂNIA – GO

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586 Silva, Brhenda Jordany Nascimento
Estudo documental do sistema de desinfecção da estação de tratamento de esgoto dr. Hélio Seixo de Britto. / Brhenda Jordany Nascimento Silva.
- Aparecida de Goiânia, 2026.
64 f. Il.

Orientadora: Ma. Jéssica Azevedo Coelho
Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Aparecida de Goiânia, Bacharelado em Engenharia Civil, 2026.

1. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).
 2. Desinfecção.
 3. Cloro gasoso.
 4. Decloração.
- I. Título.

CDD 628.3

Catalogação na publicação:
Suzane Gonçalves Duarte Peixoto CRB 1/2746

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **USO DE SISTEMAS DE DESINFECÇÃO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO – ESTUDO DE CASO DA ETE DR. HÉLIO SEIXO DE BRITTO**, sob orientação de Jessica Azevedo Coelho, apresentado pela aluna **Brhenda Jordany Nascimento Silva (20211090040020)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Aparecida de Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **20:12** do dia **01/07/2026** pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Jessica Azevedo Coelho** (Presidente)
- **Thiago Ruiz Zimmer** (Examinador Interno)
- **Livia dos Santos Ribeiro** (Examinadora Externa)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pela aluna, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 10,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Jessica Azevedo Coelho** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Thiago Ruiz Zimmer**, em **03/07/2026 10:48:38** com chave **e50338bc76e511f190c5005056a537a4**.
- **Jessica Azevedo Coelho**, em **02/07/2026 16:34:39** com chave **11057202764d11f18803005056a537a4**.
- **Livia dos Santos Ribeiro**, em **03/07/2026 08:04:42** com chave **fe321cac76ce11f18c6b005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 03/07/2026

Código de Autenticação: 000799



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois reconheço que sem a Tua presença constante, nenhum dos meus esforços teria alcançado êxito. Este trabalho é também fruto da Tua graça e do Teu cuidado em cada detalhe da minha trajetória.

À minha família, por compreenderem minhas ausências e pela base sólida de amor e apoio que sempre me sustentou. Em especial à minha mãe, por me permitir sonhar e me ajudar a trilhar o caminho que me trouxe até aqui.

Ao Breno, por toda parceria e colaboração ao longo da graduação. Não há palavras que possam expressar a minha profunda gratidão.

Estendo meus agradecimentos à instituição Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia, e a minha orientadora Jéssica pela oportunidade de formação e pelo ambiente de aprendizado que contribuiu de forma essencial para o meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

A ampliação das exigências ambientais relacionadas ao lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, junto aos compromissos assumidos no âmbito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles voltados ao acesso ao saneamento básico, torna necessária a adoção de etapas terciárias em estações de tratamento de esgoto. Nesse contexto, o presente trabalho analisou o sistema de desinfecção por cloro gasoso proposto para a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, localizada em Goiânia (GO), avaliando sua adequação técnica e operacional frente às características do esgoto e às condições de operação. A metodologia adotada consistiu em pesquisa bibliográfica, análise documental e estudo de caso, fundamentada em memoriais descritivos, dados operacionais da estação e normas técnicas aplicáveis ao setor. No desenvolvimento do estudo, foram analisados os principais métodos de desinfecção empregados em estações de tratamento de esgoto, com ênfase no sistema de cloração gasosa, considerando aspectos relacionados à eficiência microbiológica, ao controle operacional, à segurança no manuseio de produtos químicos e à compatibilidade com estações de grande porte. Os resultados evidenciaram que o afluente da ETE apresenta elevadas cargas orgânicas e microbiológicas, reforçando a necessidade da implantação de uma etapa complementar de desinfecção. O estudo permitiu verificar que o sistema de cloração por gás cloro apresenta características compatíveis com as demandas operacionais da estação, especialmente em função das elevadas vazões tratadas e da necessidade de operação contínua. Verificou-se ainda que os dispositivos previstos para automação, monitoramento e mitigação de riscos contribuem para o aumento da segurança operacional do sistema, enquanto a comparação entre os métodos de desinfecção indicou que a solução adotada se mostra tecnicamente adequada às demandas da ETE estudada. Dessa forma, o trabalho contribui como subsídio técnico para a implantação de sistemas de desinfecção em estações de tratamento de esgoto, reforçando a importância das etapas terciárias para a qualidade dos efluentes tratados.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE); Desinfecção; Cloro gasoso; Decloração.

ABSTRACT

The increasing environmental requirements related to the discharge of treated effluents into water bodies, together with the commitments established under the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those aimed at expanding access to basic sanitation, have made the adoption of tertiary treatment stages in wastewater treatment plants increasingly necessary. In this context, the present study analyzed the gaseous chlorine disinfection system proposed for the Dr. Hélio Seixo de Britto Wastewater Treatment Plant, located in Goiânia, Goiás, Brazil, assessing its technical and operational suitability in relation to wastewater characteristics and operating conditions. The methodology consisted of a bibliographic review, documentary analysis, and case study, based on technical reports, operational data from the treatment plant, and applicable technical standards. The study examined the main disinfection methods employed in wastewater treatment plants, with emphasis on gaseous chlorination, considering aspects related to microbiological efficiency, operational control, safety in the handling of chemical products, and compatibility with large-scale treatment facilities. The results showed that the WWTP influent presents high organic and microbiological loads, reinforcing the need for the implementation of an additional disinfection stage. The study indicated that the gaseous chlorination system presents characteristics compatible with the operational demands of the treatment plant, especially considering the high flow rates treated and the requirement for continuous operation. Furthermore, the automation, monitoring, and risk mitigation devices incorporated into the proposed system contribute to improving operational safety, while the comparison among disinfection methods indicated that the selected solution is technically suitable for the demands of the studied WWTP. Therefore, this work provides technical support for the implementation of disinfection systems in wastewater treatment plants, highlighting the importance of tertiary treatment processes in improving the quality of treated effluents.

Keywords: Wastewater Treatment Plant; Disinfection; Gaseous chlorine; Dechlorination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Atendimento de esgoto em Goiânia	21
Figura 2 - Mapa bibliográfico	33
Figura 3 - Etapas metodológicas	35
Figura 4 - Localização de Goiânia	36
Figura 5 - ETE Dr.º Hélio Seixo de Britto	37
Figura 6 - Fluxograma de tratamento da ETE	38
Figura 7 - Sistema de cloração.....	42
Figura 8 - Bissulfito de sódio	43
Figura 9 - Tanque de contato	44
Figura 10 - ETA de serviço.....	45
Figura 11 - Temperatura mensal da ETE	50
Figura 12 - Parâmetros do Efluente Bruto (mg/L).....	51
Figura 13 - Coliformes totais (NMP/100 mL)	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas do tratamento de esgotos sanitários	17
Quadro 2 - Parâmetros operacionais da cloração	25
Quadro 3 - Vazões afluentes à ETE	46
Quadro 4 - Métodos de desinfecção e suas aplicações	55
Quadro 5 – Características dos métodos de desinfecção	56

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente

COP – Conferência das Partes

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

ETA – Estação de Tratamento de Água

HAAs – Ácidos Haloacéticos

HSB – Hélio Seixo de Britto

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

THMs – Trihalometanos

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo Geral	14
1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	15
2.1	Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto sanitário	17
2.2	Porte operacional de estações de tratamento de esgoto.....	20
3	MÉTODOS DE DESINFECÇÃO EM ETES	21
3.1	Radiação ultravioleta.....	22
3.2	Ozonização.....	23
3.3	Cloração	24
4	DESINFECÇÃO COM CLORO GASOSO.....	26
4.1	Propriedades e mecanismos de ação do cloro.....	26
4.2	Aplicação do cloro gás em ETES	27
4.3	Decloração	30
5	METODOLOGIA.....	32
5.1	Plano de pesquisa	34
5.2	Apresentação da ETE	36
5.2.1	Área de estudo	36
5.2.2	Implantação.....	39
5.2.3	Casa de cloração	40
5.2.4	Bissulfito de sódio.....	42
5.2.5	Tanque de contato	43

5.2.6	ETA de serviço	44
5.3	Caracterização do esgoto bruto doméstico	45
5.4	Avaliação técnica do sistema	47
5.5	Comparação entre métodos	47
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
6.1	Caracterização do esgoto bruto doméstico	49
6.1.1	Caracterização físico-química do esgoto bruto doméstico	50
6.1.2	Caracterização microbiológica do esgoto bruto doméstico	52
6.2	Avaliação técnica do sistema	54
6.3	Comparação entre métodos	55
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto sanitário constitui uma das principais etapas do saneamento básico, pois está diretamente ligado a preservação dos recursos hídricos e a saúde pública. O aumento populacional intensificou a necessidade de sistemas de tratamento de esgoto eficientes, capazes de garantir os padrões de lançamento compatíveis com as exigências legais e ambientais. Sendo assim, as estações de tratamento de esgoto desempenham papel central na remoção de cargas orgânicas, nutrientes e microrganismos patológicos do afluentes a ser tratado.

No cenário internacional, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) definem diretrizes globais para a promoção do desenvolvimento equilibrado e sustentável até 2030. Entre eles, destaca-se o ODS 6 – Água potável e saneamento, que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos. Dentre suas metas, enfatiza-se a necessidade de melhorar a qualidade da água por meio da redução da poluição, eliminação de despejos e minimização da liberação de substâncias químicas e efluentes não tratados, promovendo a reciclagem e a reutilização segura da água (ONU, 2015). Nesse contexto, o presente estudo contribui diretamente para o cumprimento do ODS 6.3, ao propor a análise de um sistema de desinfecção e decoloração aplicado à Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, visando à melhoria da qualidade microbiológica do efluente tratado e à mitigação dos impactos sobre o rio Meia Ponte.

Nesse âmbito, a cidade de Belém (PA) sediou a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP30). Como parte da programação preparatória e paralela ao evento, a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) promoveu a Casa do Saneamento, espaço destinado ao debate integrado entre saneamento básico, saúde pública e mudanças climáticas. Durante a iniciativa, representantes do setor ressaltaram que a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário constitui elemento fundamental para a adaptação às mudanças climáticas, contribuindo para a promoção da saúde pública, da equidade social e da resiliência socioambiental. O evento também marcou o lançamento de diretrizes

voltadas aos prestadores de serviços de água e esgoto para o enfrentamento de eventos climáticos extremos, reforçando a inserção do saneamento como componente estratégico das políticas de sustentabilidade e adaptação climática.

Em alinhamento com as metas internacionais, a Lei brasileira nº 14.026/2020, institui o novo Marco Legal do Saneamento Básico e estabelece diretrizes para a universalização e a eficiência dos serviços de saneamento no Brasil, abrangendo o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos. Essa legislação atualiza e complementa a Lei nº 11.445/2007, definindo metas que visam assegurar o acesso de 99% da população à água potável e de 90% à coleta e tratamento de esgoto até o ano de 2033. Assim, o marco legal consolida um conjunto de instrumentos regulatórios e operacionais que buscam elevar o desempenho dos sistemas de saneamento no país (Brasil, 2020).

Nesse cenário, o marco do saneamento gera resultados positivos ao promover a modernização da gestão do setor e estabelecer metas claras de universalização dos serviços. Ao se introduzir instrumentos de governança e padronização técnica, a regulação foi fortalecida, o que amplia a eficiência operacional das concessionárias de saneamento, especialmente pela atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) na definição de normas de referência nacionais. Em estados como Goiás, a concessionária pública vem investindo em expansão de redes coletoras, ampliação e melhorias em estações de tratamento existentes e modernização dos processos operacionais.

Os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2022) evidenciam que, embora o país conte com 5.570 municípios e uma população de aproximadamente 203,1 milhões de habitantes, apenas 56% da população brasileira é atendida por sistemas de coleta e tratamento de esgoto, o que corresponde a cerca de 112,8 milhões de pessoas. Na região Centro-Oeste o índice de atendimento total de esgoto é superior à média nacional, com 62,3%, enquanto isso, do total de esgoto gerado, 52,2% é efetivamente tratado, demonstrando que quase metade dos efluentes ainda é lançado sem tratamento adequado nos corpos hídricos. Apesar do avanço

nos investimentos - que passaram de R\$ 7,35 bilhões em 2021 para R\$ 9,95 bilhões em 2022, os dados evidenciam as deficiências estruturais do setor do saneamento.

Por sua vez, dados do Censo Demográfico de 2022, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicam que 62,5% da população brasileira residia em domicílios conectados à rede geral de esgoto. A diferença entre os percentuais divulgados pelo IBGE e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2022) está associada às distintas metodologias de coleta e consolidação dos dados. Enquanto o Censo baseia-se em informações autodeclaradas pelos domicílios, o SNIS utiliza dados administrativos fornecidos pelos prestadores de serviço. Essa discrepância evidencia a necessidade de uma análise crítica e contextualizada dos indicadores de saneamento disponíveis, de modo a compreender suas limitações e potencialidades (IBGE, 2022; SNIS, 2022).

Atualmente, a ETE Dr. Hélio Seixo de Britto é a principal estação de tratamento de esgoto de Goiânia, e foi concebida apenas com os tratamentos primários e secundários. Dessa forma, a ETE enfrenta o desafio de assegurar a qualidade microbiológica do efluente tratado diante das condições operacionais e ambientais existentes. A implementação de uma etapa terciária através de um sistema de desinfecção com cloro gasoso busca promover a inativação de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus e protozoários e garantir a segurança sanitária do efluente lançado no rio Meia Ponte. Dessa forma, este estudo consiste em avaliar de que forma a utilização do cloro gasoso como agente desinfetante contribui para a melhoria da qualidade do efluente tratado, garantindo conformidade ambiental e eficiência no desempenho da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto.

Por fim, o estudo justifica-se por contribuir para o avanço técnico do setor de saneamento ao propor a análise de um sistema automatizado de cloração, que possibilita a desinfecção do efluente final, com otimização do uso de reagentes e melhoria da segurança ocupacional.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho buscou realizar um estudo de caso com abordagem documental para investigar a aplicação do sistema de desinfecção com cloro gasoso na Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, avaliando sua contribuição para a melhoria da qualidade microbiológica do efluente tratado.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar, com base em informações documentais disponíveis, as características físico-químicas e microbiológicas do esgoto tratado na ETE Dr. Hélio Seixo de Britto;
- Examinar, a partir de análise documental, as características operacionais e de segurança associadas a automação do sistema de cloração;
- Analisar, com base em revisão bibliográfica, as características da adoção do sistema de cloro a gás quando comparado a outras alternativas estabelecidas pela NBR 12209 (ABNT, 2011);
- Verificar, com base na documentação técnica, a adequação do sistema de cloração proposto aos requisitos aplicáveis ao lançamento do efluente tratado.

2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011) o tratamento de esgoto corresponde ao conjunto de operações e processos destinados a remover ou reduzir as cargas poluidoras presentes nas águas residuárias, de modo a possibilitar seu retorno ao meio ambiente com segurança sanitária e ambiental. O conjunto integrado de estruturas responsáveis pelas etapas de tratamento das águas residuárias, sejam elas de origem doméstica ou industrial, é denominado Estação de Tratamento de Esgoto.

A literatura técnica reforça que o tratamento do esgoto desempenha papel essencial na prevenção de doenças de veiculação hídrica e na mitigação dos impactos associados ao lançamento de efluentes não tratados. Segundo Azevedo Netto, o sistema de esgotamento sanitário é uma infraestrutura fundamental para a melhoria das condições higiênicas, a redução de riscos epidemiológicos e a proteção dos corpos d'água, uma vez que o esgoto bruto contém microrganismos patogênicos, matéria orgânica e outros contaminantes que comprometem a qualidade ambiental. Ressalta-se que a eficiência desse sistema depende da integração entre as etapas e da adequação do processo às características do esgoto, às condições de operação e aos objetivos de lançamento ou reuso do efluente.

De acordo com Sperling (2005), o tratamento de esgoto é estruturado em um conjunto de operações e processos que se complementam, permitindo a remoção progressiva de impurezas e a estabilização da matéria orgânica presente nas águas residuárias. Esse sistema é dividido em etapas que desempenham funções específicas e sequenciais, iniciando-se pela separação de materiais grosseiros, avançando para processos de remoção física e biológica e culminando em operações destinadas à melhoria final da qualidade do efluente. Cada etapa tem papel definido na proteção da saúde pública e na preservação ambiental, formando um conjunto integrado que determina a eficiência global do tratamento.

A etapa preliminar do tratamento de esgoto compreende operações destinadas à remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, cuja presença pode comprometer o desempenho e a integridade das unidades subsequentes. De acordo

com Sperling (2005) e Metcalf e Eddy (2014), a utilização de dispositivos como grades, peneiras e desarenadores tem como objetivo prevenir danos mecânicos aos equipamentos usados no tratamento, evitar obstruções hidráulicas e reduzir o acúmulo de materiais indesejáveis, assegurando condições operacionais adequadas para as etapas posteriores do sistema de tratamento.

O tratamento primário consiste na remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica particulada. Normalmente, essa etapa é realizada por meio de sedimentação, permitindo a separação dos sólidos que possuem densidade maior que a água. Essa etapa desempenha função intermediária entre a remoção física inicial e os processos biológicos. No estudo conduzido por Mendonça et al. (2017), ao avaliar a aplicação da ozonização como etapa complementar no tratamento de esgoto sanitário sintético, o autor evidencia que processos físicos convencionais, como os associados ao tratamento primário, não são suficientes para promover reduções significativas de parâmetros relacionados à qualidade sanitária do efluente. Segundo o autor, mesmo após a remoção inicial de sólidos, permanecem frações expressivas de matéria orgânica e contaminantes que demandam tratamentos adicionais.

O tratamento secundário, por sua vez, abrange processos biológicos capazes de degradar a matéria orgânica dissolvida e coloidal. Sistemas como lagoas, filtros biológicos, lodos ativados e reatores anaeróbios utilizam microrganismos para estabilizar a matéria orgânica, sendo essa a etapa que promove a maior remoção de carga poluidora no tratamento de esgoto (Sperling, 2005). De forma complementar, Metcalf e Eddy (2014) destacam que esses sistemas apresentam elevada eficiência na remoção de DBO e DQO, porém não foram concebidos para garantir a segurança microbiológica do efluente final. Segundo Silva e Daniel (2015), embora o tratamento secundário contribua significativamente para a redução da matéria orgânica, ele não promove, de forma isolada, a inativação necessária das altas concentrações de coliformes totais e *Escherichia coli* para o atendimento aos padrões sanitários de lançamento ou reuso.

Por fim, o tratamento terciário engloba processos adicionais que visam ao aprimoramento da qualidade final do efluente, podendo envolver remoção de

nutrientes, sólidos remanescentes ou compostos específicos, além da desinfecção. Conforme apontado, essa última fase pode incluir operações físicas, químicas ou biológicas suplementares, dependendo do grau de qualidade requerido para o lançamento ou reuso da água tratada.

Dessa forma, observa-se convergência entre a literatura clássica e os estudos aplicados. Entende-se que a etapa primária é necessária para o funcionamento regular do tratamento, enquanto a etapa secundária constitui a base do tratamento de esgotos no que se refere à remoção de matéria orgânica, mas apresenta limitações quanto à eliminação de microrganismos patogênicos e compostos residuais. Essa constatação reforça a necessidade da adoção de etapas complementares, como o tratamento terciário, o que exemplifica tecnicamente a importância deste trabalho.

Normativamente, a NBR 12209 (ABNT, 2011) organiza o tratamento de esgoto nessas mesmas etapas (quadro 1) e orienta que a seleção das unidades deve ser compatível com as características do esgoto bruto, a sensibilidade do corpo receptor e os requisitos legais aplicáveis. A integração adequada entre essas fases garante que o efluente final apresente padrões compatíveis com a proteção da saúde humana.

Quadro 1 – Etapas do tratamento de esgotos sanitários

Etapas	Atuação
Etapas Preliminares	Remoção de sólidos grosseiros e areia; proteção das unidades subsequentes.
Tratamento Primário	Remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica.
Tratamento Secundário	Remoção biológica da matéria orgânica e sólidos suspensos.
Tratamento Terciário	Remoção avançada de nutrientes e micro-organismos; melhoria da qualidade final.

Fonte: Adaptado da NBR 12209 (ABNT, 2011)

2.1 Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto sanitário

A caracterização físico-química do esgoto sanitário constitui etapa fundamental para o dimensionamento, operação e avaliação de desempenho de estações de tratamento

de esgoto. Segundo Von Sperling (2005), os parâmetros físico-químicos permitem compreender a composição do afluente e identificar as cargas poluidoras que deverão ser removidas ao longo do processo de tratamento.

Entre os principais indicadores utilizados destacam-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os Sólidos Suspensos Totais (SST). A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para a degradação biológica da matéria orgânica biodegradável presente no esgoto, sendo amplamente utilizada como indicador da carga orgânica afluente aos sistemas de tratamento. Já a DQO corresponde à quantidade de oxigênio requerida para a oxidação química da matéria orgânica e de substâncias oxidáveis presentes no efluente, permitindo avaliar a carga poluidora total do esgoto (VON SPERLING, 2005).

Os sólidos suspensos totais, por sua vez, representam a fração particulada presente no esgoto que permanece em suspensão no meio líquido, estando associados à turbidez, à sedimentação e ao transporte de matéria orgânica e microrganismos. Elevadas concentrações desses parâmetros são características típicas de esgotos sanitários brutos e influenciam diretamente o desempenho das etapas físicas, biológicas e de desinfecção das ETEs (ABNT, 2011).

Conforme descrito por Von Sperling (2005), o esgoto doméstico possui características físicas, químicas e biológicas que, apesar das variações inerentes a cada localidade, apresentam faixas típicas de concentração. O Quadro 2 apresenta os valores dos principais parâmetros físico-químicos observados em esgotos sanitários brutos.

Quadro 2 - Valores típicos de esgoto sanitário bruto doméstico

Parâmetro	Faixa típica (mg/L)	Valor típico (mg/L)
DBO	200–500	350
DQO	400–800	700
SST	200–450	400

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) e Jordão e Pessoa (2017).

Segundo Jordão e Pessoa (2017), a DBO, a DQO e os sólidos suspensos totais constituem os principais indicadores utilizados na caracterização de esgotos sanitários

domésticos, permitindo avaliar a magnitude da carga poluidora afluyente e subsidiar o dimensionamento das unidades de tratamento. Os autores destacam que os esgotos brutos apresentam concentrações significativas desses parâmetros, conforme apresentado no Quadro 2. Além disso, ressaltam que a DQO é normalmente superior à DBO devido à presença de matéria orgânica biodegradável e não biodegradável, enquanto os sólidos suspensos representam a fração particulada transportada pelo esgoto, influenciando diretamente o desempenho dos processos físicos, biológicos e de desinfecção.

Além da caracterização físico-química, o monitoramento microbiológico também possui papel relevante na avaliação sanitária do efluente, especialmente em sistemas que empregam etapas de desinfecção para controle de organismos patogênicos. Nesse contexto, indicadores como coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* são amplamente utilizados para avaliação da eficiência microbiológica do tratamento e do atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, posteriormente alterada pela Resolução nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e enquadramento dos corpos hídricos receptores.

A resolução estabelece limites microbiológicos compatíveis com os usos previstos para os corpos d'água receptores, considerando parâmetros expressos em Número Mais Provável por 100 mililitros (NMP/100 mL). Para corpos hídricos enquadrados como águas doces de Classe 2, por exemplo, é estabelecido limite de até 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mL em condições associadas à proteção sanitária e aos usos com contato humano. Embora a legislação não determine explicitamente a obrigatoriedade da etapa de desinfecção para todas as estações de tratamento de esgoto, o atendimento aos padrões microbiológicos estabelecidos frequentemente torna necessária a adoção de processos complementares de desinfecção, especialmente em ETEs de médio e grande porte ou em sistemas com lançamento em corpos receptores mais sensíveis.

2.2 Porte operacional de estações de tratamento de esgoto

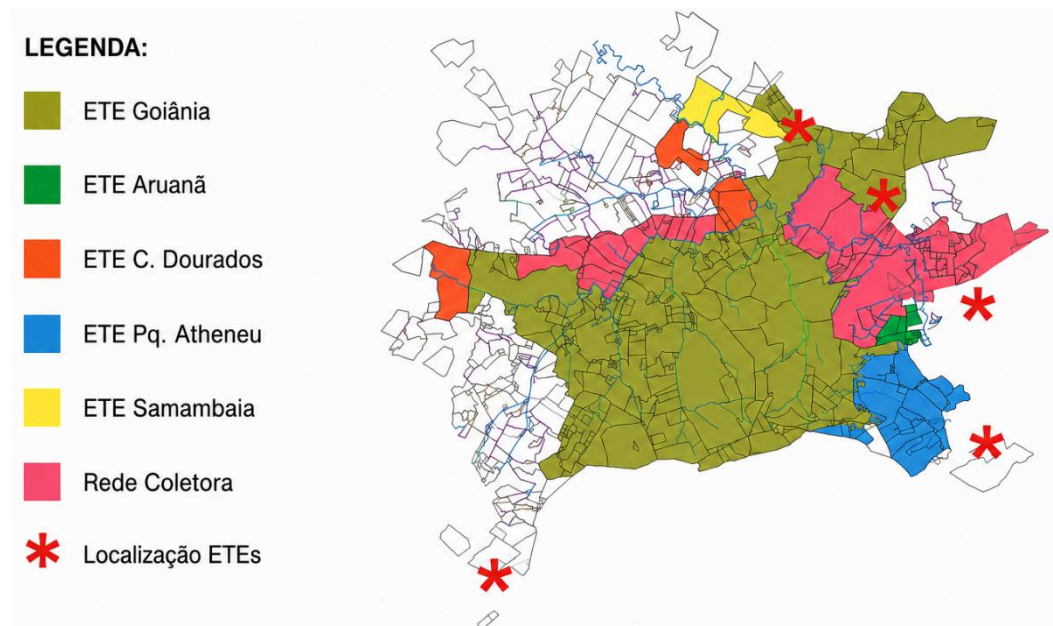
Segundo Von Sperling (2005), as Estações de Tratamento de Esgoto devem ser classificadas conforme o porte operacional do sistema, considerando fatores como vazão afluente, população atendida, complexidade operacional e o tipo de processo empregado. Geralmente, em sistemas de pequeno porte, são usualmente adotadas soluções simplificadas, com menor demanda operacional e tecnológica, enquanto estações de médio e grande porte tendem a exigir unidades mais robustas, automatização e processos capazes de garantir estabilidade operacional diante de elevadas vazões e cargas orgânicas.

A SANEAGO, por sua vez, relaciona o porte das ETEs à complexidade do tratamento e às condições operacionais necessárias para atendimento aos padrões de lançamento, destacando que a escolha do processo de tratamento depende, entre outros fatores, do porte da comunidade atendida, da disponibilidade de área, das condições topográficas e da infraestrutura operacional disponível.

No caso da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, a classificação como estação de grande porte está associada à elevada vazão de operação do sistema. Conforme os dados do memorial técnico analisado neste estudo, a unidade foi projetada para atender vazões que atingem aproximadamente 3.200 L/s em etapa final de operação, característica compatível com sistemas de elevada complexidade hidráulica e operacional. Além da magnitude da vazão tratada, a estação integra parcela significativa do sistema de esgotamento sanitário de Goiânia, cuja infraestrutura operada pela SANEAGO conta com aproximadamente 17.398 km de redes coletoras de esgoto, sendo cerca de 70% do esgoto coletado destinado ao tratamento na ETE em estudo (SANEAGO, 2026).

A distribuição do atendimento de esgoto no município de Goiânia e a abrangência operacional das ETEs podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Atendimento de esgoto em Goiânia



Fonte: Adaptado de SANEAGO (2026).

Dessa forma, observa-se que o porte operacional de uma ETE influencia diretamente a definição das tecnologias empregadas no tratamento de esgoto, especialmente em etapas complementares como a desinfecção. Em sistemas de grande porte, fatores como elevada vazão, necessidade de operação contínua, estabilidade hidráulica, automação e segurança operacional tornam-se determinantes para a escolha das soluções adotadas.

3 MÉTODOS DE DESINFECÇÃO EM ETES

A desinfecção constitui a etapa final dos sistemas de tratamento de esgoto e tem como principal finalidade a inativação de microrganismos patogênicos presentes no efluente tratado. Embora as etapas primária e secundária promovam significativa redução da carga orgânica e de parte dos organismos presentes, ainda permanecem no efluente microrganismos capazes de transmitir doenças, como bactérias, vírus e protozoários.

De acordo com Seckler (2008), a ação dos agentes desinfetantes envolve mecanismos físico-químicos capazes de danificar estruturas celulares, alterar funções metabólicas e impedir a replicação dos microrganismos, assegurando seu controle

mesmo após o processo de tratamento biológico. O autor destaca que a eficiência do processo depende de fatores como concentração do desinfetante, tempo de contato, qualidade do efluente e presença de compostos que possam interferir na ação do agente aplicado.

A visão internacional apresentada por Metcalf & Eddy (2014) reforça que o desempenho da etapa depende diretamente da eficiência das fases anteriores, já que sólidos em suspensão, turbidez elevada e matéria orgânica residual podem reduzir significativamente a ação dos desinfetantes. Dessa forma, quanto mais eficaz forem as etapas do tratamento antecedente, maior será o aproveitamento da desinfecção e menor será o consumo de produtos químicos.

A NBR 12209 (ABNT, 2011) estabelece que a desinfecção pode ser realizada por meio de processos como cloração, radiação ultravioleta, ozonização ou outros métodos tecnicamente comprovados, desde que compatíveis com as características do efluente e com os padrões de qualidade exigidos para o corpo receptor. Independente dos mecanismos de ação e condições operacionais, ambos os métodos consistem em processos de inativação de microrganismos patogênicos, seja por agentes físicos, químicos ou oxidantes.

Além disso, a norma indica os parâmetros microbiológicos obrigatórios para controle da ação da desinfecção: coliformes totais, coliformes termotolerantes, *E. coli*, estreptococos fecais e enterococos.

3.1 Radiação ultravioleta

A radiação ultravioleta constitui uma forma de desinfecção, através de um método físico de desinfecção baseado na exposição dos microrganismos a comprimentos de onda específicos. Enquanto a radiação UV atua diretamente sobre o DNA e o RNA dos microrganismos, acontece a dimerização de bases nitrogenadas e impedindo sua replicação, o que resulta na perda da capacidade infecciosa (Metcalf & Eddy, 2014).

Entre as principais vantagens desse método destaca-se a ausência de adição de produtos químicos ao efluente, o que elimina a formação de subprodutos

potencialmente tóxicos e dispensa etapas adicionais de remoção de residual desinfetante, sendo indicada para sistemas que exigem alto padrão microbiológico do efluente tratado.

Sendo assim, outro aspecto relevante do método é a ausência de efeito residual, pois diferentemente da cloração, a radiação ultravioleta não confere proteção contínua ao efluente após a desinfecção. Esse fator, limita sua aplicação em situações nas quais há risco de recontaminação durante o transporte ou armazenamento. Além disso, o consumo energético do sistema tende a aumentar à medida que se eleva a dose aplicada para compensar a baixa qualidade do efluente, o que reforça a importância de um tratamento secundário eficiente como etapa precedente à desinfecção UV.

Sobre este método, observa-se que a eficiência da desinfecção por radiação ultravioleta está fortemente condicionada às características físico-químicas do afluente à unidade de desinfecção. Tinôco (2011) ressalta que a concentração de sólidos suspensos, a turbidez e a absorvância são parâmetros determinantes na avaliação da aplicabilidade da desinfecção por radiação ultravioleta, pois interferem diretamente na transmissão da radiação e, conseqüentemente, na dose efetivamente recebida pelos microrganismos.

Do ponto de vista construtivo e operacional, os sistemas de desinfecção por radiação ultravioleta em estações de tratamento de esgotos são usualmente constituídos por canais ou reatores de desinfecção equipados com módulos de lâmpadas UV, sistemas de alimentação elétrica, dispositivos automáticos ou manuais de limpeza das lâmpadas, além de instrumentos para controle da dose aplicada e monitoramento da qualidade do efluente (METCALF & EDDY, 2014).

3.2 Ozonização

A ozonização, por sua vez, utiliza o ozônio (O_3) como agente oxidante de alta reatividade, proporcionando elevada eficiência de inativação. O mecanismo de ação do ozônio baseia-se na oxidação direta de componentes celulares, promovendo a destruição de membranas, a inativação de enzimas essenciais e danos aos ácidos nucleicos, resultando na rápida perda da viabilidade dos microrganismos.

Segundo Sperling (2005), o ozônio apresenta potencial desinfetante superior ao cloro no que se refere à velocidade de inativação microbiológica. Contudo, o autor destaca que sua aplicação requer a geração do oxidante no próprio local, devido à instabilidade do gás, o que implica maior complexidade operacional, necessidade de controle rigoroso e custos de implantação mais elevados quando comparados à cloração.

Estudos experimentais corroboram essa avaliação ao indicar que, embora o ozônio apresente elevada eficiência inicial na redução microbiológica, sua aplicação está fortemente condicionada à qualidade do efluente. Mendonça et al. (2017) observou que a presença de matéria orgânica residual pode consumir parte significativa do ozônio aplicado, reduzindo sua disponibilidade para a desinfecção propriamente dita. Além disso, Silva e Daniel (2015) ressaltam que a ausência de efeito residual limita a proteção sanitária do efluente após o tratamento, o que diferencia esse método da cloração, amplamente utilizada em sistemas de tratamento de esgotos.

Ainda segundo Silva e Daniel (2015), a aplicação da ozonização como método de desinfecção em ETEs envolve, de modo geral, um conjunto de unidades destinadas à geração, transferência e controle do ozônio. Entre os principais componentes desses sistemas destacam-se os geradores de ozônio, os dispositivos de contato gás-líquido, os tanques de contato, os sistemas de destruição do ozônio residual e os instrumentos de controle operacional. A disposição e o dimensionamento dessas unidades dependem da vazão do efluente, da qualidade do esgoto tratado e do nível de inativação microbiológica desejado, sendo comum a associação da ozonização a outros processos de tratamento ou desinfecção complementar.

3.3 Cloração

No sistema de cloração, o cloro pode ser aplicado na forma de gás, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio (Metcalf & Eddy, 2014). Neste sistema o desinfetante atua principalmente por oxidação de componentes celulares e interrupção das funções metabólicas dos microrganismos. A eficácia do processo é fortemente influenciada pelo pH do efluente, além da presença de matéria orgânica e compostos inorgânicos.

Sua utilização, apesar de apresentar ampla eficácia, exige cuidados em relação à produção de subprodutos.

A norma também define que para os métodos que dependem de um tempo de reação hidráulica, como a cloração, o uso de tanque de contato é obrigatório. Isso acontece para que durante o tempo de detenção, a reação química seja possível. Neste caso, a desinfecção é caracterizada como uma etapa estrutural da ETE, e não apenas operacional.

Normativamente são definidos parâmetros operacionais mínimos para a desinfecção com cloro, apresentados no quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Parâmetros operacionais da cloração

Parâmetro Operacional	Valor / Condição Mínima
Cloro residual	0,5 mg/L
Tempo de Contato – Vazão Média	30 minutos
Tempo de Contato – Vazão Máxima	15 minutos

Fonte: Adaptado da NBR 12209 (ABNT, 2011)

É importante destacar que a escolha do método de desinfecção a ser adotado em estações de tratamento de esgotos deve resultar de uma análise integrada que considere a eficiência de inativação microbiológica, as condições hidráulicas do sistema e os custos operacionais associados. Nesse contexto, os diferentes métodos disponíveis apresentam distinções significativas quanto aos seus mecanismos de ação, complexidade operacional, custos de implantação e operação, bem como aos potenciais impactos ambientais decorrentes de sua aplicação.

Por fim, a seleção da tecnologia mais adequada deve observar as diretrizes estabelecidas na NBR 12209 (ABNT, 2011), além de considerar as características do efluente tratado, as exigências do corpo receptor e as condições específicas de cada estação de tratamento. Dessa forma, torna-se possível assegurar não apenas a eficiência microbiológica do processo, mas também a segurança ambiental e sanitária no lançamento do efluente tratado.

4 DESINFECÇÃO COM CLORO GASOSO

Partindo do pressuposto de que o presente estudo tem como foco a desinfecção por cloração, esse procedimento é abordado de forma detalhada em tópico específico, no qual são discutidos seus aspectos operacionais, eficiência e implicações técnicas, enquanto os demais processos de desinfecção são apresentados para fins de contextualização e comparação, que possam justificar futuramente, a estratégia adotada.

Uma vez adotado o uso do cloro como produto químico para desinfecção, é necessário definir de que maneira o desinfetante será utilizado. Em sistemas sanitários, o emprego do cloro gás é favorecido por sua estabilidade, facilidade de transporte e custo relativamente reduzido, características que justificam sua ampla adoção em sistemas de tratamento. Além disso, o Manual de Projetos da SANEAGO reforça que a escolha pelo cloro gás deve considerar sua compatibilidade com a infraestrutura existente ou projetada, sua viabilidade operacional e os requisitos de segurança associados ao armazenamento e manuseio do produto. Dessa forma, o cloro gasoso se apresenta como uma alternativa robusta, normatizada e alinhada às práticas institucionais da operadora.

A adoção desse método envolve não apenas a compreensão de suas propriedades e mecanismos de ação, mas também a análise de aspectos relacionados à sua aplicação prática em ETEs. Os tópicos a seguir detalham essas dimensões, de forma a fundamentar tecnicamente a avaliação do cloro gás na Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto.

4.1 Propriedades e mecanismos de ação do cloro

Conforme descrito por Metcalf & Eddy (2014), quando adicionado ao meio aquoso, o cloro reage rapidamente com a água, originando ácido hipocloroso (HOCl) e íon hipoclorito (OCl^-), espécies químicas responsáveis pelo efeito desinfetante. A proporção entre essas duas formas depende principalmente do pH da solução. Em valores mais baixos de pH predomina o HOCl , espécie mais eficaz devido à sua maior

capacidade de penetração nas células microbianas. À medida que o pH aumenta, a fração de OCl^- torna-se maior, reduzindo a eficiência da desinfecção.

O mecanismo de ação do cloro envolve reações químicas que afetam diretamente a integridade celular dos microrganismos. Seckler (2008) explica que o ácido hipocloroso é capaz de atravessar a membrana celular, promovendo oxidação de proteínas, inativação de enzimas essenciais e danos às estruturas genéticas. Esse conjunto de reações leva à perda da funcionalidade metabólica e, conseqüentemente, à morte ou inativação do microrganismo. A velocidade do processo depende da concentração do agente desinfetante, da qualidade do efluente e do tempo de contato, uma vez que compostos orgânicos e inorgânicos presentes no esgoto podem consumir parte do cloro disponível antes de sua ação microbiológica.

Outro aspecto relevante das propriedades do cloro refere-se à sua reatividade com substâncias presentes no efluente, que influencia diretamente a demanda de cloro necessária ao processo. De acordo com a literatura, a matéria orgânica, amônia, sólidos suspensos e outros interferentes podem reduzir a concentração de cloro livre, diminuindo a eficiência da desinfecção. Sperling (2005) destaca que, por esse motivo, o desempenho da cloração está intimamente associado à eficiência das etapas anteriores do tratamento, uma vez que a redução de sólidos e da carga orgânica aumenta a disponibilidade do agente desinfetante para atuação microbiológica.

Essas propriedades físico-químicas e bioquímicas explicam a ampla utilização do cloro como desinfetante, além de embasar os critérios normativos presentes na NBR 12209 (ABNT, 2011), que estabelecem requisitos mínimos de concentração residual e tempo de contato para assegurar a efetividade do processo. A compreensão dos mecanismos de ação permite, portanto, fundamentar o uso do cloro gás em ETEs e orientar o dimensionamento e a operação das unidades de desinfecção.

4.2 Aplicação do cloro gás em ETEs

A aplicação do cloro gás em estações de tratamento de esgoto envolve um conjunto de requisitos operacionais e estruturais que garantem a eficiência da desinfecção e a segurança dos profissionais envolvidos. Segundo Metcalf & Eddy (2014), o cloro

gasoso é uma das formas mais concentradas e economicamente vantajosas de fornecimento do desinfetante, sendo amplamente utilizado em sistemas públicos devido à sua elevada disponibilidade e ao bom desempenho microbiológico. No entanto, por se tratar de um produto altamente reativo e tóxico, sua utilização requer cuidados específicos relacionados ao armazenamento, manuseio e operação das unidades de cloração.

No que se refere à segurança, o uso de cloro gás demanda uma infraestrutura adequada para minimizar riscos de exposição e vazamentos. De acordo com as diretrizes da SANEAGO, as salas de cloração devem possuir ventilação forçada, detectores de gás, equipamentos de proteção individual específicos, sistemas de contenção de emergências e acesso restrito a operadores devidamente capacitados. Esses dispositivos visam garantir a integridade física dos trabalhadores e evitar acidentes decorrentes da liberação acidental do gás, que pode ser letal em concentrações relativamente baixas. O manual institucional também reforça que procedimentos de rotina, como inspeção das válvulas, conferência dos cilindros e verificação das linhas de alimentação, são indispensáveis para assegurar a operação segura do sistema.

O armazenamento do cloro gás deve ser realizado em cilindros de aço projetados para suportar altas pressões e condições específicas de temperatura. Conforme orienta Metcalf & Eddy, os cilindros devem permanecer em locais cobertos, frescos e protegidos da luz solar direta, posicionados de maneira a evitar quedas e impactos. A organização do ambiente deve permitir fácil acesso aos equipamentos, além da instalação de suportes adequados e sinalização de risco. Por ser um gás comprimido altamente corrosivo e reativo, seu armazenamento inadequado pode ocasionar rupturas, vazamentos e riscos ambientais, justificando o rigor operacional adotado pelas concessionárias.

A operação dos sistemas de cloração gasosa envolve o controle das vazões de dosagem, a regulação dos injetores e a manutenção de condições hidráulicas que garantam a mistura e o contato adequado entre o cloro e o efluente. O processo deve assegurar o residual mínimo de cloro livre e o tempo de contato exigido pela NBR

12209 (ABNT, 2011) para que a desinfecção seja considerada eficiente. Como reforça Seckler (2008), a presença de matéria orgânica, amônia, sólidos suspensos ou outros interferentes pode consumir parte do cloro aplicado, exigindo ajustes na dosagem e monitoramento frequente do residual. Dessa forma, o desempenho do sistema de cloração depende tanto do funcionamento dos equipamentos quanto da qualidade do efluente proveniente das etapas anteriores.

A formação de subprodutos é outro aspecto relevante na aplicação do cloro gás. Isso porque, a reação do cloro com compostos orgânicos naturais pode gerar trihalometanos (THMs) e ácidos haloacéticos (HAAs), substâncias potencialmente tóxicas e regulamentadas em diversos países. A extensão da formação desses subprodutos está diretamente relacionada à concentração de matéria orgânica e às condições de operação do processo, o que reforça a importância de controlar a dosagem aplicada e otimizar as etapas de tratamento anteriores. Em situações em que o residual de cloro precisa ser reduzido antes do lançamento do efluente, técnicas de decloração podem ser necessárias, antecipando os aspectos apresentados na seção seguinte.

Os trihalometanos (THMs) e os ácidos haloacéticos (HAAs) são subprodutos da desinfecção formados quando o cloro reage com a matéria orgânica natural presente no efluente. Esses compostos pertencem ao grupo dos organoclorados e incluem substâncias como clorofórmio, dicloroacético e tricloroacético, frequentemente citadas na literatura técnica como representantes de maior relevância ambiental. De acordo com Metcalf & Eddy (2014), esses subprodutos apresentam potencial carcinogênico e podem causar efeitos adversos em organismos aquáticos, além de representarem indicadores do excesso de cloração ou de condições inadequadas de operação.

Entretanto, é importante destacar que os riscos associados aos THMs e HAAs são mais significativos quando esses compostos estão presentes em água destinada ao consumo humano, situação que não se aplica ao contexto do tratamento de esgoto analisado neste trabalho. No caso das ETEs, a preocupação principal está relacionada ao potencial impacto ambiental no corpo receptor, e não ao risco direto à saúde humana, já que o efluente tratado não é destinado ao abastecimento público. Quando

lançados em corpos hídricos, esses subprodutos podem contribuir para efeitos ecotoxicológicos sobre organismos aquáticos, especialmente em condições de exposição prolongada, além de representar um indicativo de excesso de cloração ou de controle inadequado da dosagem do desinfetante. Assim, a menção a esses compostos serve apenas para contextualizar aspectos operacionais da cloração, não constituindo o foco central deste estudo.

Dessa maneira, a aplicação do cloro gás em ETEs exige atenção simultânea à segurança, ao armazenamento adequado, à operação eficiente e ao controle da formação de subprodutos, assegurando que o processo atenda às exigências normativas e às condições específicas da estação de tratamento.

4.3 Decloração

A decloração é o processo destinado à remoção ou neutralização do cloro residual presente no efluente após a desinfecção. Sua aplicação torna-se necessária quando a concentração de cloro remanescente pode causar impactos ambientais adversos no corpo receptor, especialmente sobre organismos aquáticos sensíveis. Conforme discutido por literaturas internacionais renomadas, o cloro livre, mesmo em baixas concentrações, apresenta potencial tóxico para peixes e invertebrados, o que justifica a adoção de processos que reduzam ou eliminem esse residual quando o padrão de lançamento assim exigir. Embora a NBR 12209 (ABNT, 2011) estabeleça requisitos mínimos para o uso do cloro como desinfetante, sua aplicação pode gerar a necessidade de processos complementares, como a decloração, quando a legislação ambiental local impõe limites mais restritivos.

Os métodos de decloração normalmente empregados baseiam-se em agentes químicos capazes de reagir diretamente com o cloro residual, convertendo-o em substâncias menos reativas. Entre os agentes mais utilizados encontra-se o dióxido de enxofre (SO_2), que reage rapidamente com o cloro livre, produzindo sulfato e cloreto. De acordo com Metcalf & Eddy, essa é uma das técnicas mais tradicionais devido à sua alta eficiência e rápida cinética de reação, sendo amplamente aplicada em sistemas de grande porte. Outro agente comum é o bissulfito de sódio (NaHSO_3),

utilizado na forma líquida e frequentemente escolhido pela facilidade de dosagem e pela boa solubilidade, apresentando desempenho semelhante ao do dióxido de enxofre.

Assim, os métodos de decloração são essenciais quando o lançamento do efluente tratado demanda a eliminação do cloro residual, assegurando a compatibilidade do efluente com a biota aquática e com os padrões de qualidade do corpo hídrico receptor. A escolha entre os diferentes agentes redutores deve levar em conta a disponibilidade, o custo, a facilidade operacional e a aplicabilidade às condições específicas da estação de tratamento.

5 METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida neste trabalho classifica-se como aplicada, de natureza predominante documental, com abordagem quali-quantitativa, de caráter descritivo e explicativo, adotando como procedimento metodológico o estudo de caso. Segundo Maxwell (2011), o estudo de caso consiste em uma investigação aprofundada de acontecimentos que possibilita um conhecimento abrangente sobre o objeto de estudo e sua realidade. Assim, o presente estudo enquadra-se nessa definição ao investigar tecnicamente a aplicação de sistemas de desinfecção, contribuindo para o entendimento técnico de uma parte essencial do saneamento básico.

A natureza aplicada justifica-se pela busca de soluções práticas voltadas a melhoria da qualidade do efluente lançado no rio Meia Ponte. A abordagem quali-quantitativa se apoiou tanto na análise de dados operacionais (como parâmetros de qualidade do efluente) quanto na interpretação dos efeitos do uso do cloro gasoso sobre o desempenho do sistema. O caráter descritivo e explicativo decorreu da necessidade de caracterizar o funcionamento da ETE e compreender as causas e implicações da eficiência do processo de desinfecção. Por fim, o estudo de caso documental revelou-se o procedimento mais adequado por permitir uma análise minuciosa baseada em relatórios técnicos, projetos e registros reais da operação.

Ressalta-se que o estudo possui natureza predominantemente documental, apoiando-se em projetos, memoriais descritivos e demais registros técnicos referentes à Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto. Por se tratarem de documentos internos e não disponibilizados ao público, seu acesso ocorreu de forma legítima, decorrente da atuação da autora na equipe responsável pela elaboração dos projetos.

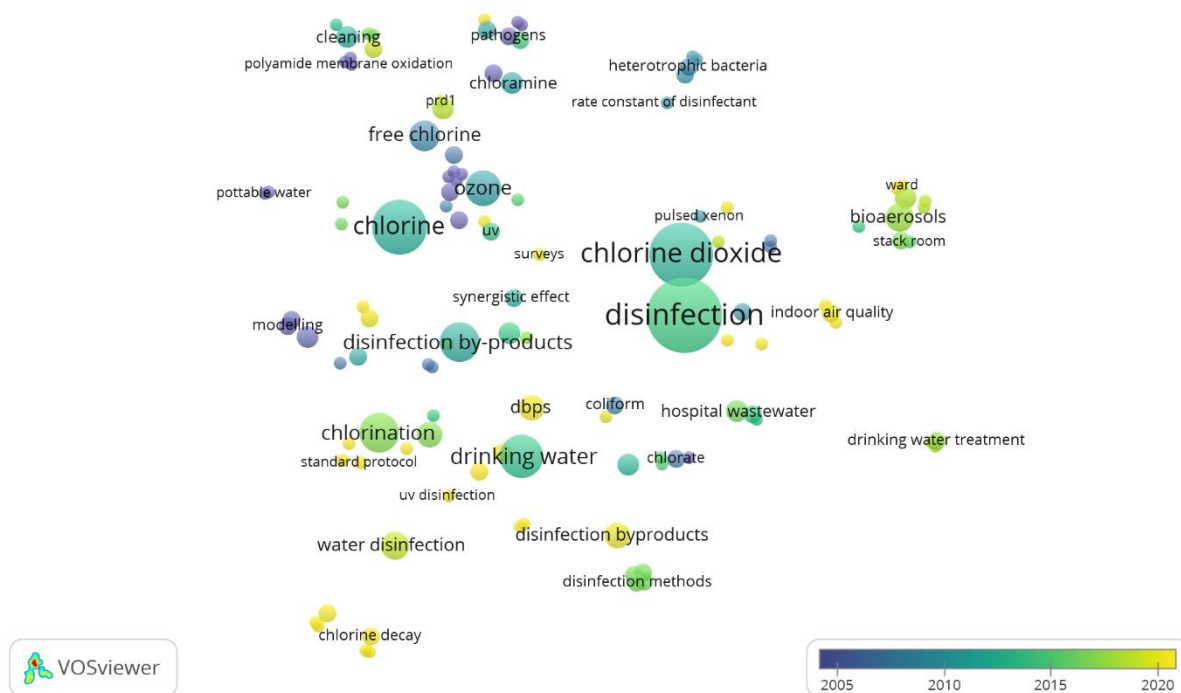
Para isso, foram consultadas bases de dados reconhecidas, como *Web of Science*, Portal Capes e o Google Acadêmico, além de repositórios institucionais de universidades e institutos federais. A busca foi direcionada por palavras-chave como “*Wastewater Treatment Plant*”, “*Disinfection*” e “*Gaseous chlorine*”. O objetivo é

identificar os autores mais citados e reconhecidos na área, bem como as leis e normas vigentes, estabelecendo uma base teórica sólida.

No presente trabalho, a ferramenta *VOSviewer* foi utilizada para analisar a ocorrência e a coocorrência de palavras-chave relacionadas aos termos “*Wastewater Treatment Plant*”, “*Disinfection*” e “*Gaseous chlorine*”, previamente filtrados em bases de dados científicas. A ferramenta organiza os termos em um mapa bidimensional no qual o tamanho dos nós representa a frequência de ocorrência das palavras-chave, enquanto a proximidade entre os termos indica o grau de relação entre eles. Além disso, a coloração dos nós reflete a evolução temporal das publicações, possibilitando identificar tendências de pesquisa ao longo dos anos.

O esquema ilustrado na figura 2 abaixo permite compreender, de forma sistematizada, como os temas relacionados à desinfecção em estações de tratamento de esgoto se conectam na literatura científica, servindo como suporte e para a contextualização do objeto de estudo.

Figura 2 - Mapa bibliográfico



Fonte: Elaborado pela autora, utilizando o software VOSViewer, 2026.

Observa-se que o termo “disinfection” ocupa posição central no mapa, evidenciando seu papel estruturante nas pesquisas relacionadas ao tratamento de águas e efluentes. Em torno desse núcleo, destacam-se termos associados a diferentes agentes desinfetantes, como “chlorine”, “chlorine dioxide”, “ozone” e “UV”, indicando a diversidade de tecnologias investigadas na literatura científica.

A presença expressiva dos termos relacionados ao cloro e seus derivados demonstra a relevância contínua dessa tecnologia, tanto em estudos voltados ao tratamento de água potável quanto ao tratamento de efluentes. Além disso, a proximidade entre os termos “chlorine”, “disinfection by-products” e “drinking water” evidencia que parte significativa das pesquisas se concentra nos aspectos operacionais e nos subprodutos da desinfecção, o que reforça a importância de análises técnicas criteriosas na escolha do método de desinfecção.

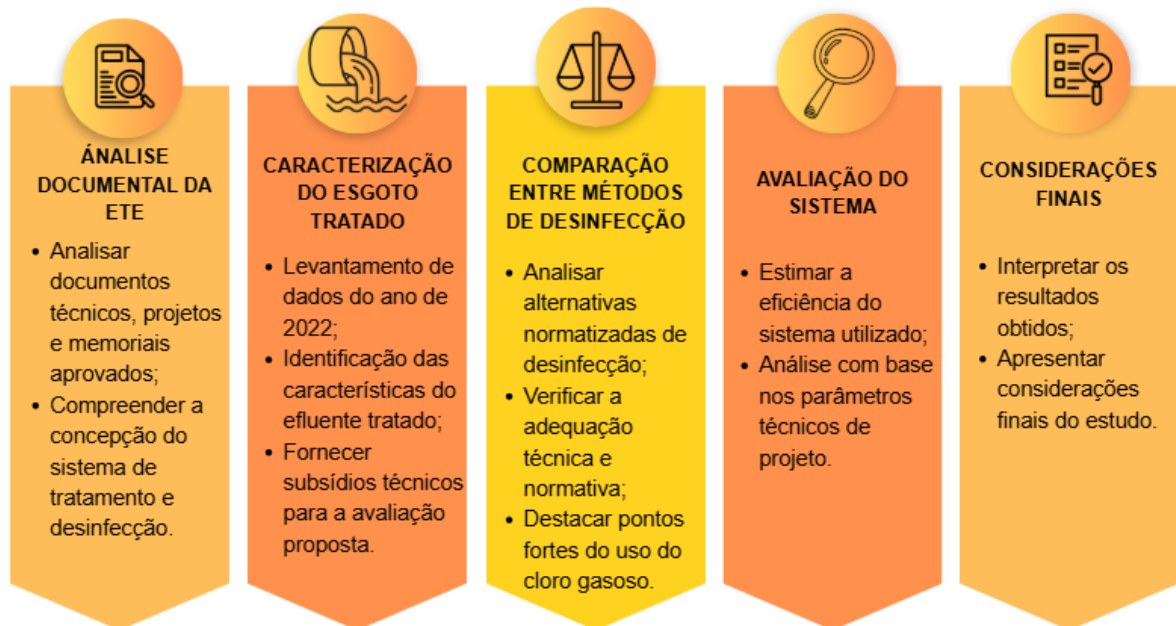
A escala temporal representada pela coloração dos nós indica que os estudos mais recentes tendem a aprofundar discussões relacionadas à segurança, aos subprodutos da desinfecção e à comparação entre diferentes métodos, evidenciando uma evolução do enfoque da literatura ao longo do tempo. Dessa forma, o mapa bibliométrico contribuiu para a compreensão do posicionamento do presente estudo no contexto científico, demonstrando que a análise do uso do cloro gasoso em estações de tratamento de esgoto insere-se em um campo de pesquisa consolidado, mas ainda em desenvolvimento.

Portanto, para a execução da proposta deste estudo, foi desenvolvido um estudo de caso baseado no projeto de uma estação de tratamento de esgoto em Goiânia, a partir dos documentos descritivos e memoriais de cálculo previamente fornecidos, bem como revisão das literaturas citadas anteriormente.

5.1 Plano de pesquisa

A Figura 8 apresenta o fluxograma detalhado das etapas seguidas para execução desta metodologia.

Figura 3 - Etapas metodológicas



Fonte: A autora, 2026.

Inicialmente, realizou-se a análise documental da Estação de Tratamento de Esgoto, com base em projetos, memoriais e documentos técnicos aprovados, possibilitando a compreensão da concepção do sistema de tratamento e do sistema de desinfecção. Em seguida, procedeu-se à caracterização do esgoto tratado, utilizando dados apurados “*in loco*” no ano de 2022, a fim de identificar as principais características do efluente que fundamentam a avaliação do sistema proposto.

Na sequência, foi desenvolvida a comparação entre métodos de desinfecção normatizados, através da base bibliográfica disponível, destacando-se a análise técnica do uso do cloro gasoso em relação a outras alternativas disponíveis. Posteriormente, foi feita a avaliação da eficiência do sistema de desinfecção aprovado, com base nos parâmetros técnicos de projeto, como dosagem e condições operacionais previstas, bem como a visita técnica na ETE, a fim de verificar a operação atual (2026) e esclarecer eventuais pontualidades levantadas durante a elaboração do trabalho. Por fim, os resultados obtidos foram interpretados de forma integrada, permitindo a apresentação das considerações finais do estudo.

5.2 Apresentação da ETE

A compreensão adequada de um sistema de tratamento de esgoto exige o conhecimento do contexto em que ele está inserido, e suas características físicas, operacionais e funcionais. Nesse sentido, a apresentação da Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto é fundamental para situar o leitor quanto às condições locais, à infraestrutura existente e aos elementos que influenciaram diretamente a concepção e a aprovação do sistema de desinfecção.

5.2.1 Área de estudo

A área do objeto de estudo está situada na cidade de Goiânia, em Goiás, conforme Figura 4. Localizada na capital do estado, região Centro-Oeste do Brasil, o município encontra-se nas coordenadas geográficas 16°40'00"S e 49°15'00"O com área territorial de 729,296 km² e população de 1.503.256 habitantes (IBGE, 2025). A vegetação predominante na região é o cerrado e possui clima tropical com estação seca bem definida (Goiânia, 2025).

Figura 4 - Localização de Goiânia



Fonte: IBGE, 2026.

Atualmente, a ETE Dr.º Hélio Seixo de Britto (figura 5) é a principal estação de tratamento de esgoto de Goiânia, sendo responsável pelo atendimento de parcela significativa da carga gerada na área urbana. De acordo com o arranjo operacional descrito no memorial técnico da unidade, o sistema de tratamento atualmente implantado contempla apenas as etapas de tratamento preliminar, primário e secundário.

Figura 5 - ETE Dr.º Hélio Seixo de Britto



Fonte: Governo de Goiás – Casa Civil (2026).

O tratamento preliminar é constituído por unidades destinadas à remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, com o objetivo de proteger os equipamentos e unidades subsequentes contra danos mecânicos, obstruções e desgaste excessivo. Na sequência, o tratamento primário é realizado por meio de decantação primária quimicamente assistida, promovendo a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica particulada, contribuindo para a redução da carga afluente ao tratamento biológico.

O tratamento secundário é baseado no processo de lodos ativados, no qual a matéria orgânica dissolvida e coloidal é removida por meio da ação metabólica de microrganismos em reatores aerados, seguido de unidades de separação sólido-líquido para retenção e recirculação do lodo biológico. O lodo gerado ao longo do processo é encaminhado para unidades de adensamento, desaguamento e higienização, garantindo condições adequadas para sua disposição final.

Essas unidades integram o arranjo convencional adotado pela concessionária para ETEs de grande porte, segundo sua própria classificação, refletindo um processo capaz de atender elevadas vazões com estabilidade operacional. Segundo o memorial, a estação foi projetada para operar em etapas, de forma a acompanhar o crescimento da demanda populacional.

A Figura 6 apresenta, as principais etapas atualmente implantadas na ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, com base nos registros realizados durante a visita técnica.

Figura 6 - Fluxograma de tratamento da ETE



Fonte: A autora, 2026.

5.2.2 Implantação

Conforme apresentado no memorial descritivo, o projeto original da ETE não contemplava etapa de desinfecção, uma vez que, à época da concepção do sistema, o foco operacional estava centrado na remoção física e biológica da carga orgânica. Entretanto, com a introdução de padrões mais rigorosos para coliformes termotolerantes, tornou-se necessária a adoção de um processo adicional capaz de garantir que o efluente final atendesse ao limite de ≤ 1.000 NMP/100 mL, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, art. 15, alterada pela Resolução nº 430/2011.

Para atender a essa demanda, o memorial estabelece que a implantação do sistema de desinfecção deve ocorrer em duas etapas distintas, acompanhando a modularidade do projeto global da ETE. A primeira etapa prevê a instalação completa da infraestrutura básica necessária ao processo, incluindo o tanque de contato, a casa de cloração, os sistemas de dosagem de cloro gás, evaporadores, reguladores, painéis de operação, tubulações e acessórios essenciais à condução segura do desinfetante. Essa etapa foi dimensionada de forma que o tanque de contato seja construído já com capacidade final, ou seja, projetado para suportar a vazão prevista para a etapa futura de ampliação, ainda que inicialmente opere com vazões inferiores. Essa estratégia é adotada para evitar novas intervenções estruturais significativas e garantir que a ampliação futura dependa apenas da instalação de equipamentos adicionais.

A segunda etapa, conforme descrito no memorial, compreende a instalação escalonada de novos conjuntos de cloradores, evaporadores e demais dispositivos à medida que a ETE atinge as vazões de projeto definidas para a etapa final. Dessa forma, os equipamentos são adicionados progressivamente, acompanhando o crescimento da demanda operacional, o que otimiza custos e permite melhor planejamento de manutenção e operação.

A implantação do sistema também contempla a instalação da unidade de decloração, necessária para garantir que o residual de cloro no efluente final se mantenha dentro

dos limites ambientalmente aceitáveis antes do lançamento no corpo receptor. O memorial especifica que o processo será realizado mediante a dosagem de bissulfito de sódio, com sistemas de armazenamento, bombeamento e controle próprios, instalados na mesma estrutura hidráulica que abriga o tanque de contato.

Do ponto de vista operacional, a implantação prevê ainda a readequação da infraestrutura de utilidades, incluindo a construção da ETA de serviço, responsável por fornecer água tratada para lavagem de equipamentos, preparação de soluções e abastecimento auxiliar do sistema de cloração. Também são previstas intervenções em redes elétricas, sistemas de ventilação, exaustão e segurança, assegurando que a operação ocorra dentro dos padrões exigidos para manuseio de cloro gás, conforme diretrizes da concessionária. Em resumo, o sistema de desinfecção proposto é constituído pelos principais conjuntos abordados nos tópicos a seguir.

5.2.3 Casa de cloração

O sistema de cloração utilizado na ETE HSB prepara, armazena e dosa o cloro, sendo composto por equipamentos e estruturas voltados ao armazenamento seguro, dosagem precisa e aplicação eficiente do cloro gás no processo de desinfecção. O memorial descreve que o sistema inclui cilindros de cloro gás, evaporadores, cloradores, injetores, painéis de controle e tubulações específicas para condução do desinfetante até o ponto de aplicação.

Foi prevista a implantação de um prédio exclusivo para cloro (figura 6), com área destinada ao armazenamento de cilindros de cloro de 900 kg e carretas de cloro de 20 t, além de dispositivos para retirada e controle das quantidades aplicadas, unidades de comando dos cloradores automáticos, injetores de água para a formação da solução de cloro e sistema de aplicação da solução ao efluente a ser desinfetado. A unidade conta ainda com um sistema de lavagem de gás, destinado à neutralização de eventuais vazamentos, reforçando os aspectos de segurança operacional.

O armazenamento ocorre em área isolada e ventilada, dotada de dispositivos de segurança, como detectores de cloro, exaustão forçada e equipamentos de proteção, conforme as diretrizes da SANEAGO para manuseio de substâncias perigosas. Tanto

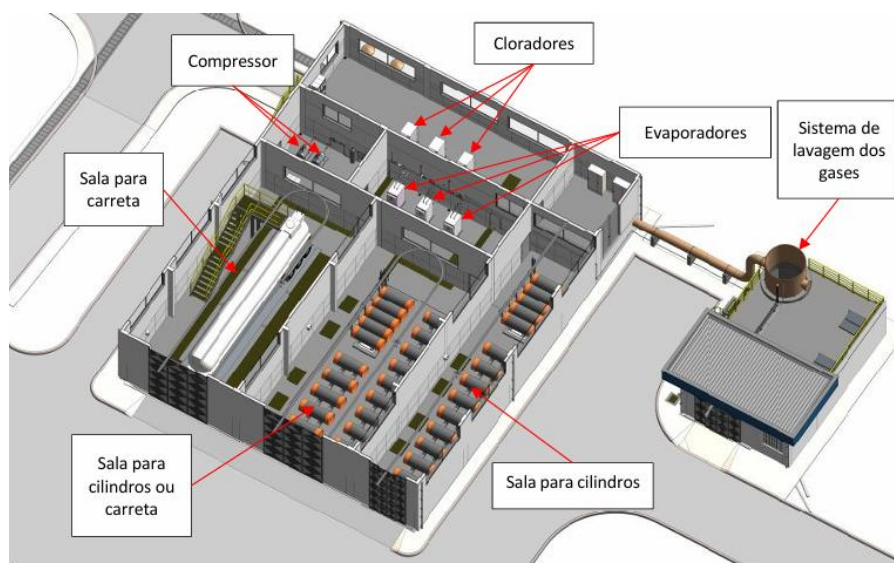
a sala de cloração como a área de armazenamento serão providas de dispositivos de segurança tais como sensores de parede (junto ao piso) para detecção de vazamento de gás com acionamento automático de alarme sonoro e do sistema de sucção e de lavagem de gases por via úmida através de solução de Hidróxido de Sódio. O sistema de exaustão e de lavagem de gás estará localizado ao lado casa de cloração.

Durante a operação, o cloro gás é evaporado e conduzido aos cloradores, que regulam a vazão a ser aplicada. O sistema foi planejado para implantação em etapas, com ampliação modular à medida que as vazões de projeto da estação atingirem novos patamares.

O funcionamento do sistema de cloração baseia-se inicialmente na retirada do cloro armazenado por meio de evaporadores, os quais fornecem calor ao processo, permitindo a retirada do produto em sua forma líquida e sua posterior conversão para a fase gasosa. Em seguida, o cloro gasoso é conduzido até os cloradores automáticos, responsáveis por regular com precisão a quantidade de desinfetante aplicada, considerando a vazão do efluente e a demanda de cloro do sistema, de modo a assegurar o controle adequado do processo de desinfecção.

Após a dosagem controlada, o cloro gasoso é encaminhado aos injetores hidráulicos, onde é misturado à água de serviço proveniente da estação de tratamento de água auxiliar, resultando na formação de uma solução de cloro em concentração adequada para a desinfecção do efluente. Para viabilizar a alimentação contínua dos cloradores, o sistema conta com compressores, cuja função é garantir o fornecimento adequado do cloro gasoso, mantendo níveis de pressão e vazão compatíveis com as condições operacionais e prevenindo instabilidades no processo de dosagem, assegurando, assim, o atendimento aos níveis de cloro residual estabelecido para o sistema.

Figura 7 - Sistema de cloração



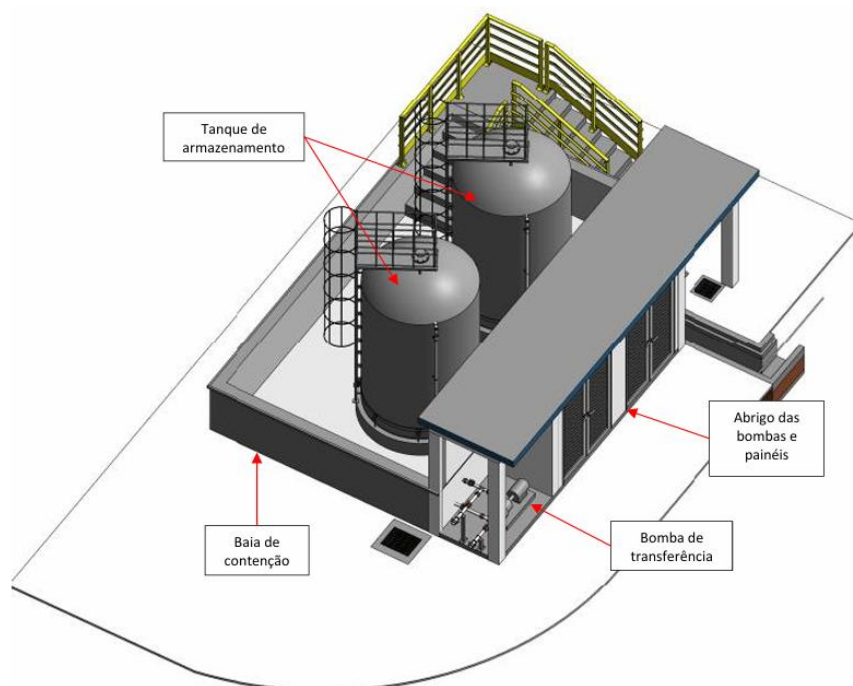
Fonte: Adaptado do projeto executivo, 2026.

5.2.4 Bissulfito de sódio

Esse sistema é usado para a decloração e prepara, armazena e dosa o bissulfito, agente químico responsável por neutralizar o cloro residual antes do lançamento do efluente no corpo hídrico. O sistema inclui tanques de armazenamento da solução, bombas dosadoras, linhas de alimentação e painel de controle dedicado. A solução de bissulfito é preparada em concentração adequada e armazenada em reservatórios fechados, de modo a evitar degradação e exposição indevida.

A dosagem ocorre na segunda zona do tanque de contato, garantindo mistura homogênea e reação completa do redutor com o cloro livre presente no efluente. Esse sistema opera de forma integrada à desinfecção, ajustando-se automaticamente às variações de vazão e à concentração de cloro residual, conforme previsto no memorial. A escolha por bissulfito de sódio segue parâmetros técnicos amplamente adotados em ETEs de grande porte, devido à rapidez de reação, facilidade de uso e segurança operacional.

Figura 8 - Bissulfito de sódio



Fonte: Adaptado do projeto executivo, 2026.

5.2.5 Tanque de contato

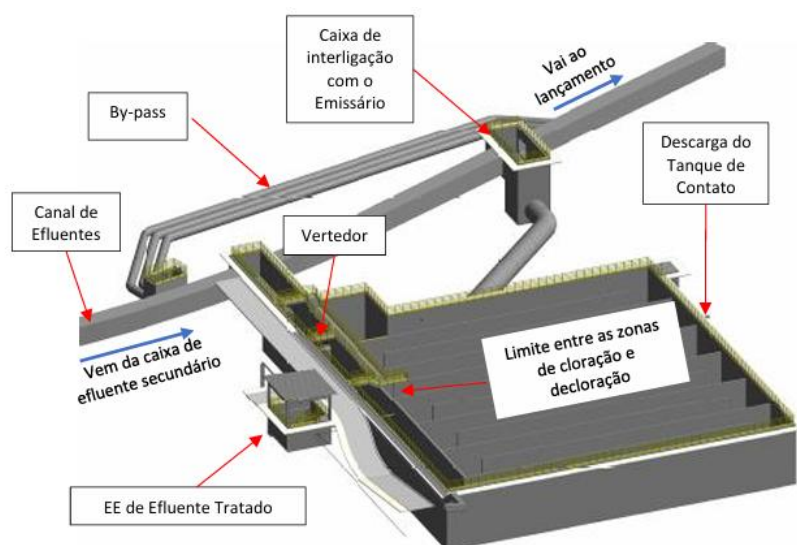
O tanque de contato é uma unidade hidráulica projetada para garantir que o efluente tratado permaneça em contato com o agente desinfetante por um tempo adequado, de modo a assegurar a inativação dos microrganismos patogênicos. Após a aplicação do desinfetante, o esgoto escoar pelo tanque sob regime controlado, por meio de chicanas que aumentam o percurso hidráulico, reduzem curtos-circuitos e promovem melhor mistura. O tempo de detenção hidráulica do tanque, associado à concentração do desinfetante aplicado, constitui o principal parâmetro para a eficiência do processo de desinfecção, sendo fundamental para o atendimento aos padrões exigidos.

O tanque de contato da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto (figura 8) foi projetado para garantir o tempo necessário (quadro 3) de reação entre o efluente tratado e os agentes químicos utilizados nos processos de desinfecção e decoloração. Conforme descrito no memorial, o tanque é dividido em duas zonas independentes, cada uma com função específica dentro do processo.

A primeira zona é destinada ao contato com o cloro gás, conduzido por tubulação específica, onde ocorre a inativação microbiológica do efluente. Essa etapa demanda mistura adequada, condições hidráulicas estáveis e permanência suficiente do efluente para que o cloro livre atue conforme o tempo de contato mínimo estabelecido para a desinfecção. A segunda zona corresponde à área de contato com o bissulfito de sódio, utilizada para a decloração. Nessa etapa, o agente redutor reage com o cloro residual remanescente, garantindo que o efluente final tenha as condições finais de lançamento asseguradas.

O tanque foi dimensionado com capacidade final, ainda que a implantação se dê em etapas, o que evita futuras intervenções estruturais e permite ampliação apenas com acréscimo de equipamentos, conforme o memorial estabelece.

Figura 9 - Tanque de contato



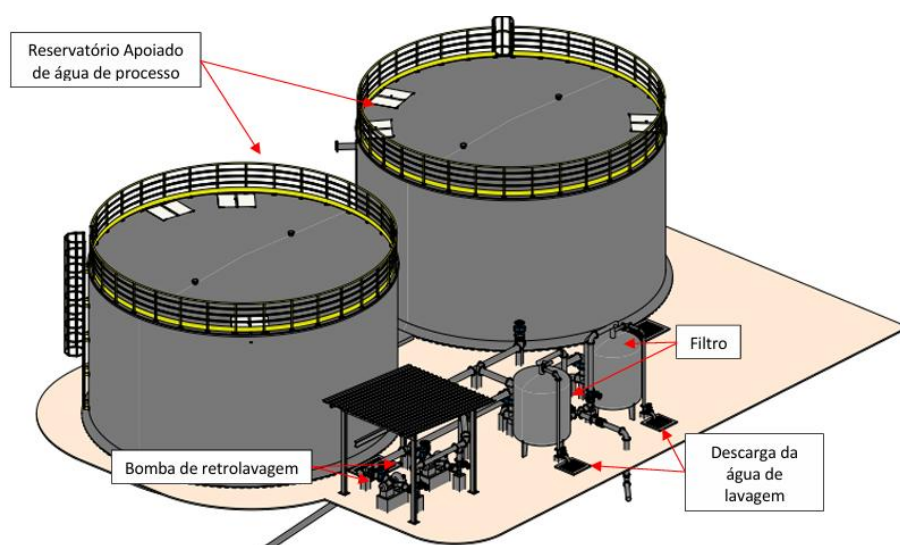
Fonte: Adaptado do projeto executivo, 2026.

5.2.6 ETA de serviço

Responsável pelo fornecimento de água tratada para apoio operacional, alimentada através da coleta feita pela elevatória de efluente tratado. Conforme o memorial, essa unidade é essencial para a preparação de soluções químicas, alimentação dos sistemas de lavagem, suprimentos de equipamentos e demais atividades internas da estação.

A ETA, ilustrada na figura 9, integra processos de filtração e correção físico-química, garantindo água com qualidade adequada ao uso industrial interno. Associados à unidade, há reservatórios de água de serviço, destinados ao armazenamento e fornecimento contínuo durante as rotinas de operação, manutenção e emergência. Essa estrutura se torna indispensável para o correto funcionamento dos sistemas de cloração e de cloração, garantindo autonomia hidráulica e reduzindo dependências externas.

Figura 10 - ETA de serviço



Fonte: Adaptado do projeto executivo, 2026.

5.3 Caracterização do esgoto bruto doméstico

A caracterização do esgoto afluente à Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto foi realizada a partir da análise de dados secundários disponibilizados pela concessionária SANEAGO, referentes ao monitoramento operacional do sistema ao longo do ano de 2022.

Os dados utilizados correspondem a campanhas periódicas de amostragem e análise laboratorial, contemplando parâmetros físico-químicos e microbiológicos usualmente empregados na caracterização de esgotos sanitários, tais como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*.

A metodologia consistiu na organização, tratamento e análise desses dados, incluindo a sistematização em planilhas, verificação de consistência, e posterior elaboração de gráficos representativos dos parâmetros monitorados. Para cada variável, foram considerados os valores obtidos ao longo do período analisado, permitindo a avaliação da variabilidade temporal do esgoto afluyente.

A interpretação dos dados foi conduzida com base em referências normativas e bibliográficas aplicáveis, incluindo a NBR 12209 (ABNT, 2011) e documentos técnicos da concessionária, com o objetivo de subsidiar a compreensão das características do esgoto e sua influência no desempenho das unidades de tratamento.

A seguir, apresentam-se as vazões afluyente à ETE, consideradas no dimensionamento do sistema de cloração.

Quadro 4 - Vazões afluentes à ETE

Parâmetro	1ª Etapa	2ª Etapa
Q sanitária mínima (L/s)	1.150,0	1.653,5
Q sanitária média (L/s)	2.290,0	3.307,0
Q sanitária máxima (L/s)	3.854,8	5.543,0

Fonte: Adaptado do memorial descritivo, 2026.

A distribuição do atendimento de esgoto no município de Goiânia e a abrangência das ETEs, apresentadas na Figura 1, bem como os dados de vazão apresentados no Quadro 3, evidenciam que a ETE Dr. Hélio Seixo de Britto concentra a maior área de atendimento do sistema de esgotamento sanitário municipal, recebendo parcela significativa dos afluentes coletados na capital. Essa condição está diretamente relacionada às elevadas vazões tratadas pela unidade, caracterizando-a como uma estação de grande porte. Dessa forma, a ETE integra uma infraestrutura de esgotamento sanitário que demanda unidades robustas, controle operacional contínuo e processos capazes de suportar elevadas vazões e cargas orgânicas afluentes.

5.4 Avaliação técnica do sistema

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, foi realizada a avaliação técnica do sistema de desinfecção por cloro gasoso aprovado para a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto. Essa avaliação teve como foco analisar, de forma sistematizada, como a segurança operacional foi garantida, haja vista que o cloro gasoso consiste em um produto tóxico quando inalado por seres humanos.

A análise das condições de segurança do sistema de cloração foi realizada a partir da apreciação do projeto aprovado para a ETE. Foram considerados os dispositivos previstos para automação, controle e mitigação de riscos operacionais, incluindo sistemas automáticos de dosagem, sensores de detecção de vazamento, sistema de ventilação e exaustão forçada, além da lavagem de gases. A avaliação buscou verificar de que forma essas soluções contribuem para a redução da exposição operacional ao cloro gasoso e para o aumento da segurança operacional do sistema.

5.5 Comparação entre métodos

Inicialmente, foram identificados, por meio da NBR 12209 e de diretrizes técnicas da SANEAGO, os métodos de desinfecção usualmente considerados em projetos de ETEs, incluindo o uso de compostos clorados, a radiação ultravioleta e a ozonização. A partir dessa identificação, procedeu-se à análise comparativa dessas alternativas, sem o objetivo de hierarquizá-las, mas de compreender suas características técnicas e condicionantes de aplicação.

Como critérios de comparação, foram adotados aspectos relacionados à aplicabilidade ao porte da estação, à complexidade operacional, às exigências de segurança, à necessidade de automação e à compatibilidade com as condições operacionais previstas para a ETE em estudo. Também foi considerada a adoção predominante de determinados métodos de desinfecção em estações de tratamento de esgoto de maior porte, especialmente aquelas operadas por companhias estaduais de saneamento.

A análise das diretrizes institucionais da SANEAGO permitiu verificar que os sistemas à base de cloro, em especial o cloro gasoso, configuram-se como soluções amplamente consolidadas para aplicações em larga escala, desde que atendidas as exigências operacionais e de segurança previstas em projeto.

Por fim, foi feita uma síntese comparativa dos principais métodos de desinfecção aplicáveis a estações de tratamento de esgoto, considerando a utilização mais indicada, o porte da ETE e as principais observações técnicas associadas a cada tecnologia. Essa sistematização foi elaborada com o objetivo de organizar, de forma objetiva, as características que influenciam a escolha do método de desinfecção em função das condições operacionais e do porte da estação. A tabela constitui um instrumento de apoio à análise comparativa desenvolvida neste trabalho, permitindo contextualizar a adoção do sistema de desinfecção por cloro gasoso em relação às demais alternativas.

A partir dessa metodologia, foi possível estruturar uma análise fundamentada do sistema de cloração da ETE HSB, considerando sua concepção, condições operacionais e requisitos de segurança. Essa abordagem permitiu organizar, de forma sistemática, a caracterização do problema sanitário identificado, a avaliação técnica da solução proposta e a justificativa da adoção do sistema de desinfecção por cloro gasoso para a estação em estudo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados neste capítulo decorrem da aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3, fundamentada em análise documental, revisão bibliográfica e interpretação de dados operacionais citados anteriormente. A análise concentrou-se na caracterização do esgoto da estação, na avaliação das condições operacionais associadas ao sistema de desinfecção por cloro gasoso e na comparação técnica entre os principais métodos de desinfecção aplicáveis a estações de tratamento de esgoto.

A discussão dos resultados foi desenvolvida a partir da integração entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do afluente, as diretrizes normativas aplicáveis e as características operacionais previstas para o sistema de cloração e decloração proposto para a ETE.

6.1 Caracterização do esgoto bruto doméstico

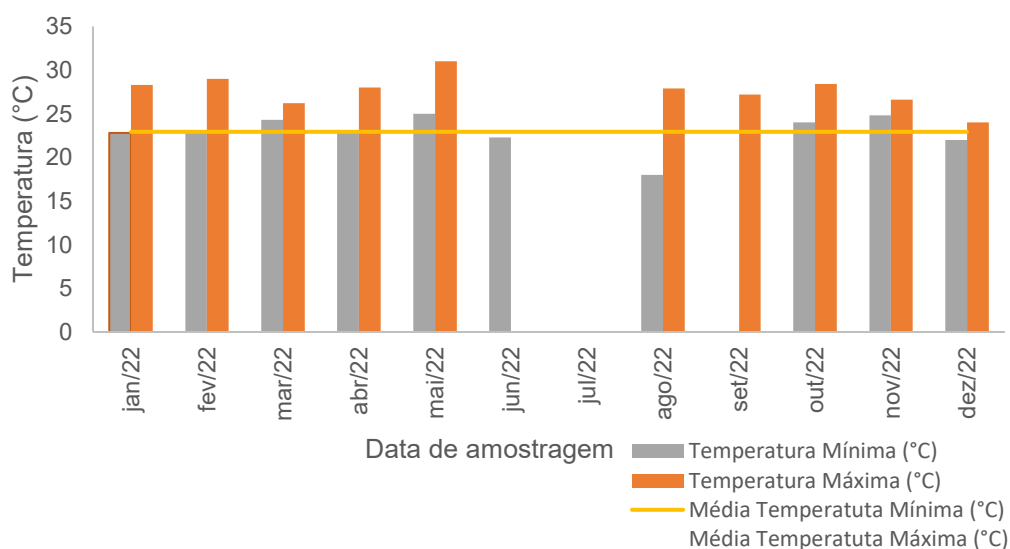
A seguir, são apresentados os levantamentos com importantes dados para a caracterização do esgoto da ETE. Ressalta-se que, em alguns gráficos apresentados, nota-se a ausência de dados de monitoramento em determinados períodos do ano, como nos casos da temperatura e da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Essa descontinuidade está associada à indisponibilidade pontual de medições nos registros históricos fornecidos pela concessionária, decorrentes de fatores operacionais, como falhas temporárias de instrumentação, ajustes nos programas de monitoramento ou ausência de campanhas amostrais em meses específicos.

Entretanto, tais lacunas não comprometem a análise qualitativa do comportamento do afluente ao longo do período avaliado, uma vez que os dados disponíveis são representativos das condições operacionais da estação e permitem a identificação das tendências gerais e das características típicas do esgoto sanitário bruto recebido pela ETE.

6.1.1 Caracterização físico-química do esgoto bruto doméstico

O gráfico de temperatura do afluente ao longo do ano de 2022 representado na figura 11, evidencia variações sazonais compatíveis com as condições climáticas da região, apresentando valores mínimos mensais com média entre 23°C, e valores máximos com média de 29 °C. Observa-se que as temperaturas médias mínimas e máximas permaneceram relativamente estáveis ao longo do período analisado, com leve elevação nos meses mais quentes do ano, especialmente entre março e maio, e redução nos meses de inverno, notadamente em junho e Agosto.

Figura 11 - Temperatura mensal da ETE



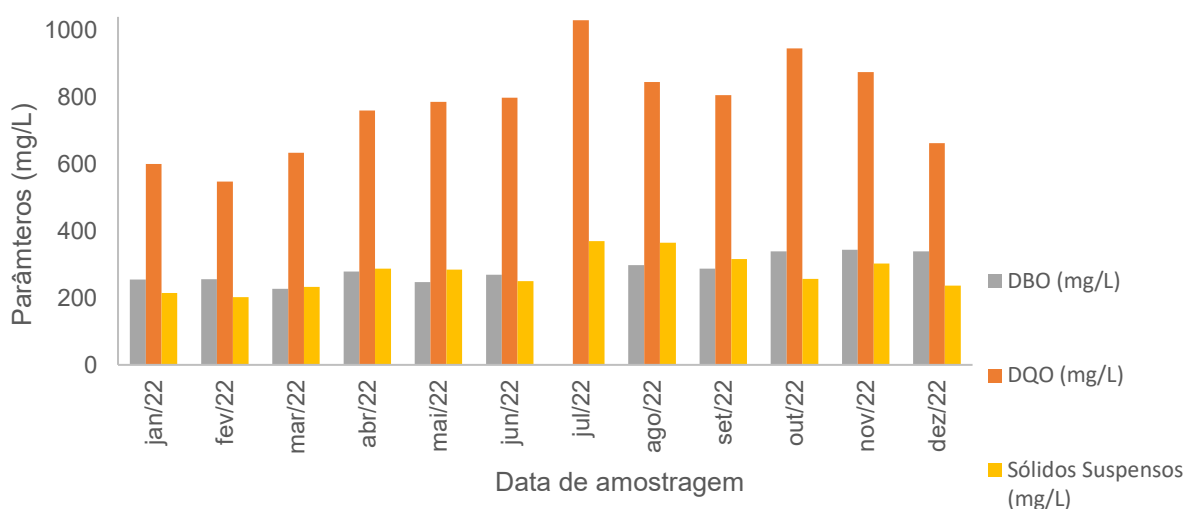
Fonte: A autora, 2026.

Do ponto de vista operacional, as temperaturas observadas ao longo do período analisado são compatíveis com aquelas normalmente encontradas em esgotos sanitários domésticos, favorecendo a atividade metabólica dos microrganismos responsáveis pelos processos biológicos de tratamento (VON SPERLING, 2005). Além disso, a temperatura do afluente constitui um parâmetro relevante para a etapa de desinfecção, especialmente no caso da cloração, uma vez que influencia a cinética das reações químicas e, conseqüentemente, a eficiência do agente desinfetante. Dessa forma, os valores observados indicam condições favoráveis ao desempenho

dos processos de tratamento adotados, não representando limitações significativas para a aplicação do sistema de desinfecção por cloro gasoso proposto neste estudo.

O gráfico referente aos parâmetros do afluente bruto ao longo do ano de 2022, na figura 12, evidencia valores característicos de esgoto sanitário doméstico, com concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e sólidos suspensos compatíveis com aqueles descritos na literatura técnica para sistemas urbanos de grande porte.

Figura 12 - Parâmetros do Afluente Bruto (mg/L)



Fonte: A autora, 2026.

Os valores de DBO apresentaram variações moderadas ao longo do período analisado, mantendo-se próximos à média anual, o que indica relativa estabilidade da carga orgânica biodegradável afluente à estação. As concentrações de DQO mostraram-se sistematicamente superiores às de DBO, comportamento típico de esgotos sanitários brutos, com a ocorrência de picos pontuais associados a variações hidráulicas e operacionais da rede coletora. Os sólidos suspensos também apresentaram oscilações ao longo do ano, refletindo a influência da contribuição populacional, das condições de escoamento e de eventos climáticos. De forma integrada, esses parâmetros confirmam que o afluente possui características típicas

de esgoto sanitário bruto, justificando a adoção de tratamento biológico eficiente e de etapa de desinfecção para garantir a qualidade do efluente final.

Além da caracterização típica de esgoto sanitário bruto, os parâmetros físico-químicos observados possuem influência direta sobre o desempenho das unidades de tratamento e, especialmente, sobre a eficiência da etapa de desinfecção. A presença de matéria orgânica biodegradável, representada pelos valores de DBO, e de matéria orgânica total, indicada pelas concentrações de DQO, evidencia que o afluente apresenta elevada carga poluidora, característica comum em sistemas urbanos de grande porte. Essas condições influenciam diretamente a demanda de oxidantes no processo de cloração, uma vez que parte do cloro aplicado tende a reagir inicialmente com compostos orgânicos presentes no efluente antes de atuar efetivamente na inativação microbiológica.

Da mesma forma, as concentrações de sólidos suspensos observadas ao longo do período analisado constituem um aspecto relevante para a eficiência da desinfecção, considerando que partículas em suspensão podem atuar como barreiras físicas à ação do agente desinfetante, protegendo microrganismos do contato direto com o cloro residual. Esse comportamento, reforça a importância da eficiência das etapas anteriores de tratamento, conforme destacado no quadro 1, de modo a reduzir a carga de sólidos e favorecer o desempenho do processo de desinfecção final.

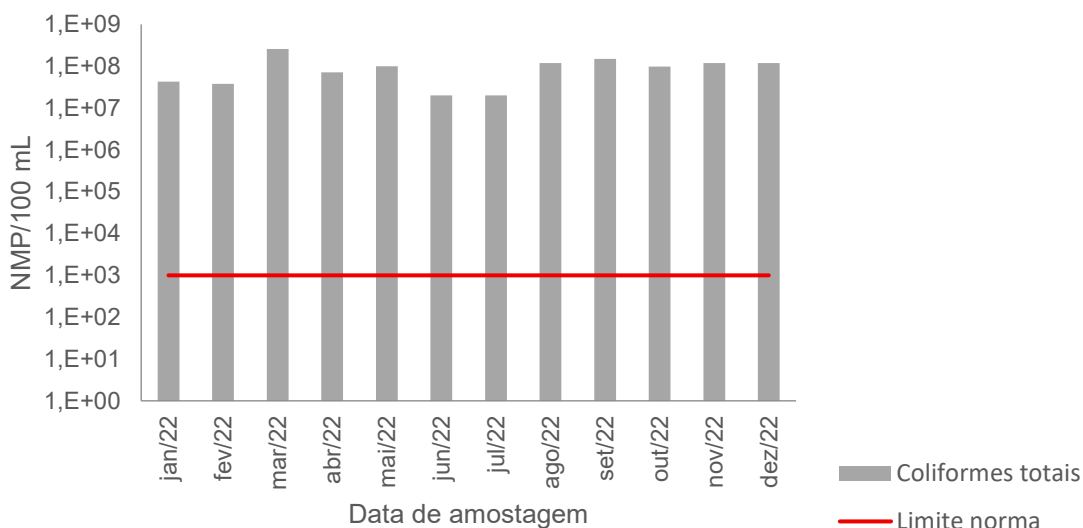
De forma integrada, os parâmetros apresentam características típicas de esgoto sanitário bruto, conforme o quadro 2. Sendo assim, os resultados obtidos reforçam a necessidade de uma etapa de desinfecção operacionalmente robusta, capaz de garantir a adequada inativação microbiológica mesmo diante das variações de um sistema de grande porte.

6.1.2 Caracterização microbiológica do esgoto bruto doméstico

Os coliformes totais constituem um importante indicador da qualidade do esgoto sanitário, sendo amplamente utilizados para avaliar o potencial risco sanitário associado ao lançamento de efluentes em corpos hídricos. A análise desse parâmetro no esgoto bruto permite verificar a magnitude da carga microbiológica afluente à

estação de tratamento e reforça a necessidade de adoção de processos de desinfecção adequados. Desse modo, a Figura 13 apresenta a variação das concentrações de coliformes totais no esgoto bruto ao longo do ano de 2022.

Figura 13 - Coliformes totais (NMP/100 mL)



Fonte: A autora, 2026.

A partir da análise dos dados apresentados, nota-se que as concentrações de coliformes totais permaneceram elevadas durante todo o período avaliado, com valores da ordem de 10⁷ a 10⁸ NMP/100 mL, significativamente superior ao limite de 10³ NMP/100 mL indicado como referência.

A elevada concentração de coliformes totais observada ao longo de todo o período analisado evidencia que as etapas preliminar, primária e secundária, embora essenciais para a remoção de sólidos e matéria orgânica, não são suficientes para promover a redução microbiológica necessária ao lançamento seguro do efluente. Os processos biológicos convencionais podem reduzir parcialmente a concentração de microrganismos presentes no esgoto, porém a etapa de desinfecção permanece necessária quando se busca minimizar riscos sanitários associados à presença de organismos patogênicos no efluente tratado. Dessa forma, os resultados obtidos confirmam a relevância da implantação de uma etapa específica de desinfecção na ETE Dr. Hélio Seixo de Britto.

Considerando as características observadas no esgoto e a escala operacional da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, a escolha da tecnologia de desinfecção deve contemplar aspectos relacionados à eficiência microbiológica, à segurança operacional e à adequação às elevadas vazões tratadas pela unidade. Dessa forma, os resultados microbiológicos observados não apenas evidenciam a necessidade da desinfecção, mas também reforçam a necessidade de uma solução pertinente adequada.

Assim, com base na análise documental realizada, verificou-se que o sistema de desinfecção por cloro gasoso foi projetado para atender às condições operacionais da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, contemplando a elevada vazão da estação, a automação da dosagem, o tempo de contato previsto, a etapa de decloração e dispositivos de segurança operacional.

Dessa forma, torna-se relevante a avaliação das condições operacionais e de segurança previstas para sua implantação, bem como a análise comparativa entre os principais métodos de desinfecção aplicáveis a estações de tratamento de esgoto, a fim de contemplar a solução adotada.

6.2 Avaliação técnica do sistema

Em relação às condições operacionais e de segurança do sistema de cloração, a análise documental do projeto evidenciou que a implantação da etapa de desinfecção foi concebida com elevado grau de automação e controle operacional, considerando os riscos associados ao uso do cloro gasoso. Verificou-se a previsão de dispositivos destinados à mitigação de riscos, incluindo sistemas automáticos de dosagem, sensores para detecção de vazamentos, ventilação e exaustão forçada, além de unidades de lavagem de gases para situações de emergência.

Observou-se ainda que a adoção dessas soluções reduz a necessidade de intervenção direta dos operadores durante o funcionamento do sistema, contribuindo para a diminuição da exposição ocupacional ao cloro gasoso e para o aumento da segurança operacional da unidade. A existência de uma casa de cloração dedicada, associada aos sistemas de monitoramento e contenção previstos em projeto, evidencia a adoção de medidas de segurança compatíveis com as recomendações

da ABNT NBR 12209:2011 e com os requisitos de segurança e saúde ocupacional estabelecidos pelas Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, especialmente a NR-1 e a NR-15.

6.3 Comparação entre métodos

Com o objetivo de avaliar a adequação do sistema de desinfecção por cloro gasoso adotado para a ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, realizou-se uma comparação técnica (quadro 4) entre os principais métodos de desinfecção aplicáveis a estações de tratamento de esgoto. A análise considerou as características de cada tecnologia, incluindo porte, complexidade operacional e exigências associadas à implantação e à segurança do sistema.

Além da eficiência na inativação microbiológica, foram considerados fatores diretamente relacionados às condições operacionais da ETE, como as elevadas vazões tratadas, a necessidade de funcionamento contínuo e a compatibilidade da tecnologia com sistemas de grande porte. Dessa forma, buscou-se compreender de que maneira as características técnicas de cada método influenciam sua aplicabilidade prática.

Quadro 5 - Métodos de desinfecção e suas aplicações

Método de desinfecção	Utilização mais indicada	Porte da ETE	Observações técnicas
Cloro gasoso	Desinfecção contínua e controle preciso	Médio e grande	Tecnologia consolidada
			exige sistemas de segurança
Hipoclorito de sódio	Sistemas de menor complexidade	Pequeno	Menor risco operacional
			maior custo em grandes vazões
Radiação UV	Efluentes com baixa turbidez	Pequeno e médio	Não gera residual
			depende da qualidade do efluente
Ozonização	Aplicações específicas	Médio e grande	Alta complexidade e custo operacional

Fonte: A autora, 2026.

A partir da comparação entre os métodos de desinfecção e considerando as características específicas da Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de

Britto, observa-se que a adoção do sistema com cloro gasoso apresenta compatibilidade com a unidade. A ETE aqui estudada caracteriza-se como uma estação de grande porte, com elevadas vazões e necessidade de operação contínua, fatores que demandam um sistema com elevada capacidade operacional, estabilidade de funcionamento e possibilidade de controle contínuo da dosagem aplicada.

Entre os métodos avaliados, a cloração por gás cloro destaca-se pela ampla aplicação em sistemas de médio e grande porte. Embora métodos como a radiação ultravioleta e a ozonização apresentem vantagens específicas, sua aplicação pode estar associada a maiores exigências operacionais e a sensibilidade às características do efluente, o que pode acarretar em custos mais elevados de implantação e operação, especialmente em sistemas com grandes vazões, que possuem alta carga biológica.

Por fim, verifica-se que o sistema de desinfecção proposto para a ETE apresenta compatibilidade com as características do afluente analisado, com o porte da estação e com as exigências operacionais do sistema. Além da eficiência microbiológica esperada, a solução adotada incorpora dispositivos de automação e segurança operacional previstos em projeto, permitindo maior controle do processo e mitigação dos riscos associados ao uso do cloro gasoso.

Nessa mesma análise, o quadro 6 aponta as características de cada sistema, e foi utilizado para identificar os principais condicionantes a adoção de cada método.

Quadro 6 – Características dos métodos de desinfecção

Método	Vantagens	Desvantagens
Cloro gasoso	Tecnologia consolidada	Exige rigorosa segurança
	Residual desinfetante	Risco no manuseio
Radiação UV	Não utiliza produtos químicos	Dependente da qualidade do efluente
	Operação simples	Sem residual
Ozonização	Alto poder oxidante	Alto custo
	Ação rápida	Elevada complexidade

Fonte: A autora, 2026.

No caso do cloro gasoso, ao considerar o porte da ETE, a necessidade de operação contínua e a existência de infraestrutura projetada para garantir a segurança do

sistema, foi possível verificar que, embora o cloro gasoso apresente desvantagens relacionadas ao risco e à exigência de medidas rigorosas de segurança, tais condicionantes foram contempladas em projeto, o que reforça a coerência técnica da solução adotada para a estação.

De forma complementar, a análise das desvantagens associadas aos sistemas de radiação ultravioleta e ozonização contribuiu para a compreensão das limitações dessas tecnologias quando aplicadas a estações de grande porte. Aspectos como grande dependência da qualidade do efluente, e principalmente a ausência de residual desinfetante foram considerados relevantes para contextualizar a não adoção dessas alternativas no projeto analisado.

Dessa forma, todos os resultados aqui apontados, fundamentam tecnicamente a escolha do método de desinfecção adotado para a ETE Dr. Hélio Seixo de Britto. A integração entre a caracterização do afluente, a avaliação das condições operacionais e a comparação entre os métodos permitiu compreender que a solução proposta atende às demandas de um sistema de grande porte, conciliando eficiência microbiológica, viabilidade operacional e medidas de segurança compatíveis com a complexidade do processo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como propósito analisar, de forma documental e técnica, a adoção do sistema de desinfecção por cloro gasoso proposto para a Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, em Goiânia–GO. A análise considerou as características do afluente bruto, as condições operacionais previstas para o sistema e os aspectos de segurança associados ao uso do cloro. Para isso, foram avaliados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do esgoto afluente, as condições previstas para operação do sistema de cloração e a compatibilidade técnica do método em relação às alternativas de desinfecção aplicáveis a estações de tratamento de esgoto.

Os resultados obtidos demonstraram que o afluente da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto apresenta características típicas de esgoto sanitário bruto, com concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos totais compatíveis com as faixas descritas na literatura técnica. As análises também evidenciaram elevadas concentrações de coliformes totais, da ordem de 10^7 a 10^8 NMP/100 mL, o que reforçou a relevância da etapa de desinfecção para a redução de microrganismos patogênicos. Além disso, verificou-se que a ETE opera com elevadas vazões e atende parcela expressiva do sistema de esgotamento sanitário de Goiânia, caracterizando-se como uma estação de grande porte. A análise documental do sistema de cloração previsto para a unidade permitiu identificar a incorporação de recursos de automação, monitoramento e segurança operacional, bem como a adoção de critérios de projeto alinhados aos requisitos normativos aplicáveis à desinfecção de efluentes sanitários.

Vale destacar, que embora a desinfecção por cloro gasoso dependa da utilização de insumos químicos, a análise realizada demonstra que, quando corretamente dimensionado, operado e associado à etapa de decoloração, esse sistema permite reduzir riscos ambientais relacionados ao cloro residual, conciliando a eficiência microbiológica com a proteção do corpo receptor. Sob essa perspectiva, o projeto contribui para os princípios da sustentabilidade ao promover melhorias na qualidade do efluente tratado e ao favorecer a proteção dos recursos hídricos, estando alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização

das Nações Unidas (ONU), especialmente ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento, ao ODS 3 – Saúde e Bem-Estar e, de forma complementar, ao ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima.

Como limitação deste trabalho, destaca-se a reduzida disponibilidade de estudos acadêmicos voltados especificamente à aplicação de sistemas de desinfecção por cloro gasoso em estações de tratamento de esgoto de grande porte no contexto brasileiro. Além disso, por se tratar de um sistema ainda em fase de implantação, durante a visita técnica não foi possível realizar análises de desempenho operacional em condições reais de funcionamento, limitando a avaliação aos dados de projeto, documentos técnicos e parâmetros operacionais disponíveis.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos voltados à aplicação de sistemas de desinfecção em estações de tratamento de esgoto de pequeno porte, permitindo análises comparativas entre diferentes escalas operacionais e tecnologias empregadas. Recomenda-se ainda que, após a efetiva implantação do sistema de cloração da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, sejam desenvolvidas avaliações complementares relacionadas ao desempenho operacional da unidade, à eficiência microbiológica alcançada, ao consumo de reagentes químicos e ao comportamento do sistema em condições reais de operação. Espera-se que futuras avaliações em condições reais de operação contribuam para validar os resultados previstos em projeto e ampliar o conhecimento sobre a aplicação da cloração em estações de tratamento de esgoto no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9548: esgoto sanitário – terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9648: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

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

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de et al. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Alterada pela Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 17 out. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) – Painel de Informações sobre Esgotamento Sanitário**. Brasília: Ministério das Cidades, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 17 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 1 (NR-1): Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): Atividades e operações insalubres**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Atualizada.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Princípios, fundamentos e processos em engenharia ambiental**. 1. ed. Santana de Parnaíba, SP: SGuerra Design, 2021.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOIÁS. Casa Civil. **Obra da maior estação de tratamento de esgoto de Goiás é concluída.** Goiânia: Governo de Goiás, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2025/outubro/obra-da-maior-estacao-de-tratamento-de-esgoto-de-goias-e-concluida>. Acesso em: 11 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Goiânia*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/goiania.html>. Acesso em: 17 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

Censo 2022: rede de esgoto alcança 62,5% da população, mas desigualdades regionais e por cor e raça persistem. Agência de Notícias IBGE, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39237-censo-2022-rede-de-esgoto-alcanca-62-5-da-populacao-mas-desigualdades-regionais-e-por-cor-e-raca-persistem>. Acesso em: 21 abr. 2026.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 8. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: collection and pumping of wastewater**. New York: McGraw-Hill, 1981.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 17 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**. Brasília: ONU Brasil, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 17 out. 2025.

SANTOS, Catherine Diniz. **Avaliação da eficiência da desinfecção mediante uso de cloro gás na ETE Insular – Florianópolis, SC**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (SANEAGO).

Apresentação institucional realizada durante visita técnica à Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto. Goiânia, 2026.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (SANEAGO). **Manual para Elaboração de Projetos de Engenharia** (IT00.0269, Rev. 00). Goiânia: SANEAGO, 2024.

Disponível em: <https://www.saneago.com.br/#/manual-projetos>. Acesso em: 17 out. 2025.

SANEAMENTO DE GOIÁS S.A. (SANEAGO). **Manual de Projetos – Grupo 05: Projetos Hidráulicos de SES. Módulo 05.04: Estação de Tratamento de Esgoto**

(IT00.1629, Rev. 00). Goiânia: SANEAGO, 2024. Disponível em:
<https://www.saneago.com.br/#/manual-projetos>. Acesso em: 17 out. 2025.

TINÔCO, Juliana Delgado. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.