



Proposta de sistema de coleta e tratamento de esgoto: um estudo de caso no semiárido Paraibano

Maria Aparecida de Andrade Santana ^{1*}, Cinthya Santos da Silva ²

¹Graduada em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação da Paraíba, Brasil. (*Autor correspondente: maparecidaa.santana@gmail.com)

²Doutora em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 01/01/2025 – Revisado em: 12/01/2025 – Aceito em: 24/01/2025

RESUMO

A ausência de políticas públicas voltadas ao saneamento básico é algo que ainda assola muitas pessoas mundialmente, especialmente em locais com baixo desenvolvimento econômico. No Brasil, mesmo diante de regulamentações como a Lei nº 14.026/2020 do Marco Legal de Saneamento Básico, grande parte da população ainda sofre com a carência de infraestrutura adequada, no Nordeste, por exemplo, 64,5% do esgoto coletado ainda não é devidamente tratado antes do lançamento nos corpos receptores. Diante disto, este artigo visa elaborar uma proposta de rede coletora e sistema de tratamento de esgoto para o Bairro Conjunto André Gadelha, localizado em Sousa-PB, que, assim como inúmeras localidades do interior brasileiro, sofre com a ausência de coleta e disposição final adequada dos efluentes domésticos e industriais. O desenvolvimento do projeto foi dividido entre quatro etapas, levantamento de dados, caracterização da área, dimensionamento da rede coletora e dimensionamento da estação de tratamento de esgoto, seguindo a todas as exigências expostas pelas normas vigentes. O traçado da rede coletora contou com a utilização de 18 terminais de limpeza e 54 poços de visita, abrangendo ao todo 16 ruas. Além disso, foi necessário a implantação de três Estações Elevatórias de Esgoto em pontos da rede e para o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto, foi adotado o sistema australiano de lagoas de estabilização. Embora tenham ocorrido limitações durante o projeto, foi possível elaborar a proposta de saneamento básico para o bairro, a fim de proporcionar maior qualidade de vida e saúde à população.

Palavras-Chaves: Coleta de esgoto, Saneamento básico, Tratamento do esgoto.

Sewage Collection and Treatment System Proposal: A Case Study in the Paraíba Semi-Arid Region

ABSTRACT

The absence of public policies focused on basic sanitation is something that still affects many people worldwide, especially in areas with low economic development. In Brazil, despite regulations such as Law No. 14.026/2020 of the Legal Framework for Basic Sanitation, a large portion of the population still suffers from a lack of adequate infrastructure. In the Northeast, for example, 64.5% of the collected sewage is still not properly treated before being discharged into receiving bodies. In light of this, this article aims to propose a sewage collection network and treatment system for the Conjunto André Gadelha neighborhood, located in Sousa-PB, which, like many regions in Brazil's interior, suffers from the lack of adequate collection and disposal of domestic and industrial effluents. The development of the project was divided into four stages: data collection, area characterization, sewage network design, and sewage treatment plant design, following all the requirements outlined in current regulations. The layout of the sewage network involved the use of 18 cleaning terminals and 54 inspection manholes, covering a total of 16 streets. Additionally, three Sewage Pumping Stations were required at certain points in the network, and for the design of the sewage treatment plant, the Australian system of stabilization ponds was adopted. Although there were some limitations during the project, it was possible to draft a basic sanitation proposal for the neighborhood in order to provide better quality of life and health for the population.

Keywords: Sewage collection; Basic sanitation; Sewage treatment.

Santana, M., Silva, C. (2024). Proposta de sistema de coleta e tratamento de esgoto: um estudo de caso no semiárido Paraibano. *Meio Ambiente (Brasil)*, v.7, n.2, p.85-104.



1. Introdução

O saneamento básico constitui um dos direitos fundamentais à saúde e dignidade humana, sua ausência resulta em dados alarmantes no mundo inteiro, especialmente em países em desenvolvimento. Segundo dados do DataSUS, no Brasil, durante o ano de 2023, houve mais de 178 mil internações causadas por doenças de veiculação hídrica, como cólera, febre tifoide e paratifoide, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, leptospirose, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais, sendo as regiões mais afetadas o Norte e Nordeste (Brasil, 2024).

Esse cenário mostra que sistemas deficientes de saneamento refletem diretamente no IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), na saúde e no índice de mortalidade infantil, onde grande parte dos quadros de internações por doenças infecciosas ocorrem entre a população exposta a ambientes com um sistema de saneamento inadequado, afetando principalmente crianças e idosos que possuem um sistema imunológico mais frágil.

Embora a universalização do saneamento básico esteja entre os objetivos de desenvolvimento sustentável do milênio, inclusive tendo reconhecimento pela ONU (Organização das Nações Unidas) como item essencial para a saúde e bem-estar social, muitos países ainda se encontram longe de atingir as metas estipuladas, especialmente os países menos desenvolvidos. Até o ano de 2020, por exemplo, 3,6 bilhões de pessoas ainda não possuíam serviços de saneamento básico e 1 a cada 4 pessoas no mundo não tinha acesso a água potável (Unicef, 2021).

No Brasil, as metas estipuladas por meio da Lei nº14.026 do Marco Legal de Saneamento Básico, que propõe a universalização até o ano de 2033 (Brasil, 2020), ainda se encontra muito distante de sua completa efetivação. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), entre 2010 e 2021 apenas 9,6% da população passou a ter atendimento de rede de esgoto e somente 13,4% do esgoto gerado começou a ser tratado, destacando-se novamente as regiões Norte e Nordeste com os piores índices do país (Brasil, 2021), isto decorre da ausência de investimento de políticas públicas de saneamento nesses locais, o que afeta a qualidade da água e gera consequências na saúde da população.

No âmbito nacional o Nordeste é a segunda região mais carente de políticas públicas de infraestrutura sanitária, em 2021, de 57,7 milhões de habitantes, 30,2% eram atendidos com rede de esgoto e apenas 35,5% de esgoto gerado foi tratado (Brasil, 2021), implicando que mais da metade dos nordestinos ainda sofrem com falta de saneamento básico, em sua maioria pessoas que vivem em regiões periféricas de suas cidades, isso é reflexo de um histórico de desigualdade regional, baixa concentração de renda e ausência de investimento de políticas públicas voltadas a região.

Apesar da Paraíba nos últimos anos ter avançado de maneira significativa em infraestrutura de saneamento entre os estados nordestinos, desenvolvendo também pesquisas para solucionar problemas de crise hídrica e tratamento de esgoto, grande parte da população ainda não possui acesso a saneamento básico em suas residências, resultado da ausência de um plano de saneamento em muitas cidades, além de muitos desses municípios não disporem de uma estação de tratamento de esgoto (Governo da Paraíba, 2019), implicando que uma quantidade considerável de despejos domésticos e industriais lançados indevidamente em solo ou cursos hídricos do estado, podendo retornar para a mesma população ou para outras cidades carregadas de material orgânico e químico.

A Cidade de Sousa, localizada no Alto Sertão Paraibano, encontra-se dentro deste contexto, apesar de ser um grande polo industrial e turístico, de acordo com os dados registrados atualmente pelo SNIS, não há registro de esgoto tratado no município e parte dos habitantes ainda sofre com a falta de esgotamento sanitário em sua moradia (Brasil, 2015).

Diante disto, este estudo tem como objetivo a elaboração de uma proposta de rede coletora e de tratamento de esgoto para o Bairro Conjunto André Gadelha, da referida cidade, onde vive parte da população carente do município, e que abriga atividades industriais e sofre com deficiências na coleta e disposição final

dos efluentes.

2. Referencial teórico

2.1 O sistema de esgoto sanitário

A problemática do saneamento básico é uma questão que assola civilizações desde a antiguidade, escavações arqueológicas mostram que em tempos mais remotos já se notava a preocupação do homem em coletar e destinar o esgoto sanitário de forma adequada, na Babilônia e Nipur em 3750 a.C., por exemplo, foram evidenciadas construções de galerias de esgoto (Azevedo Netto, 1984 *apud* Nuvolari., 2011).

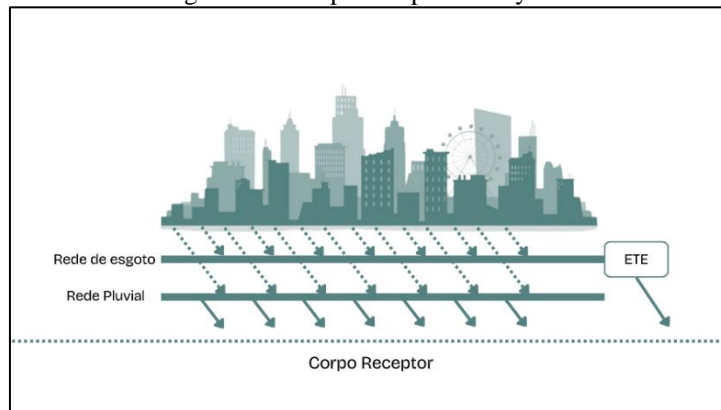
De acordo com Sawyer e McCarty (1978 *apud* Nuvolari, 2011), o grande número de epidemias surgidas na Europa entre os séculos XIII e XIX, possivelmente pode ser explicada pela carência de investimentos no saneamento básico e a falta de conhecimento sobre microbiologia correlacionando também ao crescimento das cidades.

Dessa forma, um sistema de esgoto sanitário tem como principais finalidades os aspectos higiênicos: objetivando a prevenção e erradicação de muitas doenças ocasionadas devido a circulação da água contaminada; sociais: visando proporcionar melhor qualidade de vida à população; e por fim econômicos, que diz respeito ao aumento da produtividade geral, pois a melhoria ambiental interfere principalmente nas atividades industrial e agropastoril (Nuvolari, 2011).

O sistema de esgoto separador absoluto, adotado no Brasil, é caracterizado pela presença de duas redes distintas, uma projetada para receber as contribuições de esgoto doméstico e industrial, conduzindo-as para uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto antes de serem lançadas no corpo receptor e a outra responsável por coletar e conduzir as águas pluviais para um corpo d'água (Mutti, 2015).

Ademais, segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) o sistema de esgoto separador, é definido como o agrupamento de condutos, instalações e equipamentos responsáveis por coletar e destinar o esgoto sanitário de forma contínua e higiênica. Na Figura 1 está representado esquematicamente um sistema separador absoluto.

Figura 1 – Sistema separador absoluto
Figure 1 – Complete separation system



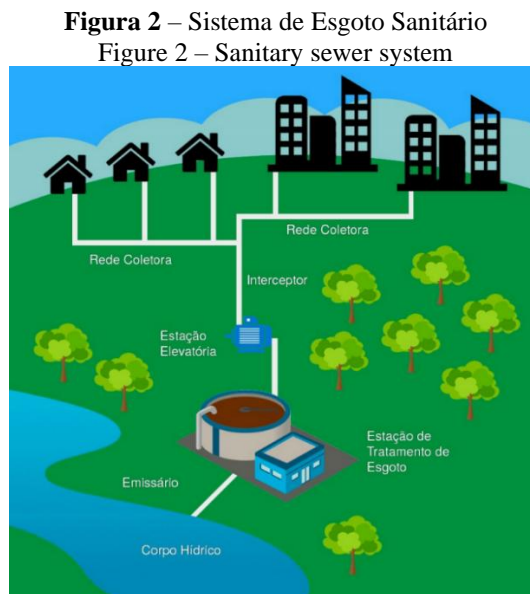
Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Segundo Nuvolari et al. (2011), as principais partes constituintes de um sistema de esgoto sanitário são a rede coletora, composta por ligação predial, coletor de esgoto, coletor principal, coletor tronco, coletor predial e órgãos acessórios; interceptores e emissários, que se caracterizam por receber estritamente os

efluentes na extremidade montante; sifões invertidos e passagens forçadas, caracterizados por apresentar trechos que funcionam através de escoamento sob pressão; Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), responsáveis por transportar o esgoto de um nível inferior a cota jusante; Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que se trata da unidade que realiza o tratamento adequado antes dos efluentes serem lançados no corpo receptor.

2.2 Rede coletora de esgoto

De acordo com Nuvolari (2011), a rede coletora de esgoto tem como finalidade receber as contribuições de esgoto doméstico e industrial conduzindo-os para uma ETE – Estação de Tratamento de Esgoto para em seguida ser despejado em um corpo receptor. A Figura 2 esquematiza um sistema de esgotamento sanitário, constituído por rede coletora, interceptor, estação elevatória, estação de tratamento e emissário.



Fonte: Meretka (2021)

Source: Meretka (2021)

Seus componentes são definidos da seguinte forma:

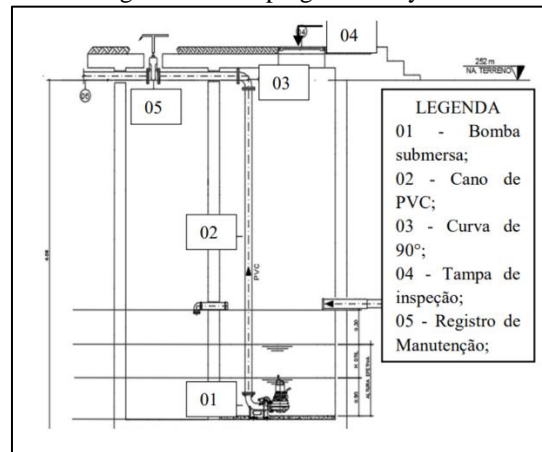
- Ligação predial: Trecho que interliga o coletor predial ao coletor público, sendo o início da rede coletora;
- Coletor de esgoto: Tubulação responsável por coletar as contribuições prediais despejadas em qualquer ponto ao longo de sua extensão;
- Coletor principal: Tubulação que possui maior extensão dentre a mesma bacia de esgotamento;
- Coletor tronco: Tubulação que recebe contribuições somente de outros coletores onde se localizam os poços de visita (PV), além disso normalmente é o coletor que possui maior diâmetro e profundidade;
- Órgãos acessórios: Dispositivos como poços de visita (PV), terminal de limpeza (TL), terminal de inspeção e limpeza (TIL), localizados em determinados pontos da rede coletora, possuindo a função de facilitar a inspeção, desobstrução e manutenção da pressão atmosférica na tubulação.

2.3 Estação elevatória de esgoto – EEE

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 2020), a Estação Elevatória de Esgoto é um dispositivo responsável pelo transporte do esgoto do nível da câmara ou poço de sucção das bombas para o nível da saída do recalque, onde será sua descarga.

Uma Estação Elevatória de Esgoto é composta em essência por uma tubulação de sucção, por um conjunto elevatório constituído por bomba e motor, que permite a transformação de energia para a elevação dos efluentes sob pressão, e uma tubulação de recalque (Nuvolari, 2011). A Figura 3, representa um sistema de estação elevatória, contendo esses principais componentes através do sistema de bomba submersa.

Figura 3 – Sistema de Estação Elevatória
Figure 3 – Pumping station system



Fonte: Lima e Pereira (2022)
Source: Lima and Pereira (2022)

Conforme Nuvolari (2011), as Estações Elevatórias de Esgoto devem ser aplicadas na coleta, em casos do pavimento ser inferior ao greide do coletor predial ou o terreno possuir caimento para o fundo; no transporte, de modo a prevenir que os coletores cheguem a uma profundidade excessiva ou nos casos de extensão da rede coletora em que a rede nova possui um desnível em relação a rede existente; no tratamento para elevar o esgoto coletado à cota em que foi implantada a ETE; e na disposição final, conforme a variação de nível do corpo receptor.

2.4 Estação de tratamento de esgoto – ETE

O tratamento do esgoto sanitário é a etapa crucial no que se refere ao saneamento básico, ele garante que o lançamento dos efluentes nos corpos d'água não prejudiquem a qualidade da água e consequentemente não afetem a saúde da população. Dessa forma, por conhecimentos técnicos, atualmente é possível oferecer diversas opções de tratamento conforme necessidades e viabilidade do local, a fim de promover melhor qualidade de vida para os habitantes (Nuvolari, 2011).

Segundo Santos (2007), a remoção dos diversos tipos de poluentes presentes ocorre por meio de processos físicos, químicos e biológicos, conforme o nível e eficiência do tratamento, classificados no Quadro 1:

Quadro 1 – Níveis de Tratamento
Box 1 – Treatment levels

Nível	Remoção
Preliminar	Etapa que tem por objetivo remover sólidos grosseiros, por meio de sistemas de gradeamento e desarenação por exemplo, preparando o esgoto para um tratamento posterior.
Primário	Consiste na remoção de sólidos sedimentáveis, geralmente através de decantadores primários, favorecendo a deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos.
Secundário	Objetiva remover matéria orgânica, e em alguns casos nutrientes como nitrogênio e fósforo.
Terciário	Visa remover poluentes como nutrientes, metais e compostos não-biodegradáveis e como um tratamento adicional a fim de retirar poluentes que permaneceram na etapa anterior.
Avançado	Processo que propõe remover material suspenso e dissolvido nas etapas anteriores objetivando o reuso da água.

Fonte: Adaptado de Santos (2007)

Source: Adapted from Santos (2007)

No tratamento preliminar, a etapa de gradeamento é responsável por remover os sólidos grosseiros como plásticos e papelões. Nesse processo as grades são instaladas normalmente na entrada da elevatória, sendo formadas por barras com espaçamento geralmente de 1,5, 1,9, ou 2,5 cm paralelas constituídas de aço de ferro ou aço carbono resistentes o suficiente para suportar a operação, permitindo que o esgoto escoe sem que haja grandes perdas de carga (Santos, 2007).

Em contrapartida, o processo de desarenação consiste na remoção de sólidos com características físicas parecidas com a areia, a fim de evitar danos nas instalações da ETE e facilitar o escoamento dos efluentes (Santos, 2007). Nesse sentido, a NBR 12209 (ABNT, 2011) orienta que o desarenador seja projetado de modo a eliminar no mínimo 95% em massa das partículas com densidade de 2,65 e diâmetro igual ou superior de 0,2 mm. Além disso, a norma orienta ainda que o desarenador seja projetado com uma unidade reserva, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Desarenador

Figure 4 – Grit chamber

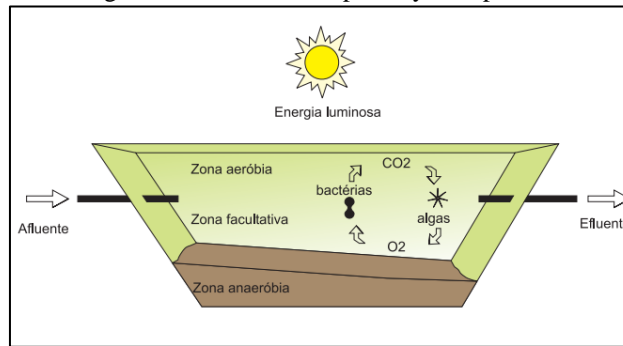


Fonte: Santos (2019)

Source: Santos (2019)

Segundo Santos (2007), no nível de tratamento secundário a utilização de lagoas de estabilização tem tido um crescimento no Brasil devido resultados de sua eficiência no tratamento de esgoto. De modo geral, elas visam transformar a matéria orgânica encontrada nos efluentes em produtos mineralizados, nesse processo as algas por meio da fotossíntese e CO_2 das bactérias geram oxigênio, a partir disso as bactérias se utilizam do O_2 para oxidar mais material e novamente gerar CO_2 , formando um ciclo mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Processo do sistema de lagoa de estabilização
Figure 5 – Stabilization pond system process



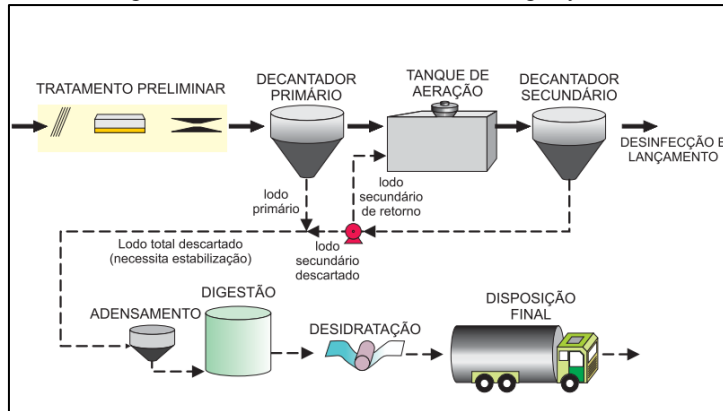
Fonte: Santos (2007)
Source: Santos (2007)

De acordo com Santos (2007), entre os principais tipos de lagoas de estabilização estão as Lagoas Anaeróbias (LA), que são capazes de receber grande carga de DBO, sendo geralmente seguidas de lagoa facultativa, possuindo maior profundidade; Lagoas Facultativas (LF), que quando em série costumam ser a segunda lagoa, realizando a remoção do material por meio de oxidação e digestão anaeróbia; e Lagoas de Maturação, que possuem menor profundidade que as demais, favorecendo um sistema aeróbio para a remoção de patogênicos.

Apesar da eficiência das lagoas de estabilização, elas necessitam de uma grande área de implantação, por isso surge uma outra opção de tratamento que são as lagoas aeradas. Nesse sistema é suprida a carência de oxigênio necessário nos processos metabólicos de forma artificial, podendo essas lagoas serem areadas facultativas, onde parte da camada passa pelo processo aeróbio e outra parte que sedimentou no fundo da lagoa sofre uma digestão anaeróbia, ou areada de mistura completa, que diferentemente da facultativa possui turbulência alta que permite uma mistura completa, dissolvendo e distribuindo o oxigênio, de modo a promover nesse sistema uma digestão aeróbia (Nuvolari, 2011).

Um outro sistema utilizado em grande escala para suprir a necessidade de área limitada é o tratamento por lodos ativados. Nessa ETE o efluente após passar pelo tratamento preliminar, prossegue para o decantador primário, responsável por remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto, em seguida o efluente segue para o tanque de oxidação ou reator aerado, onde sofre processos bioquímicos para a retirada de matéria orgânica, na quarta etapa o esgoto passa por um decantador secundário para separação dos sólidos gerados no reator e realização da recirculação dos sólidos sedimentados para o tanque de aeração, e por fim é feita a remoção do efluente clarificado e do lodo excedente (Santos, 2007). A Figura 6 esquematiza um sistema de lodos ativados convencional.

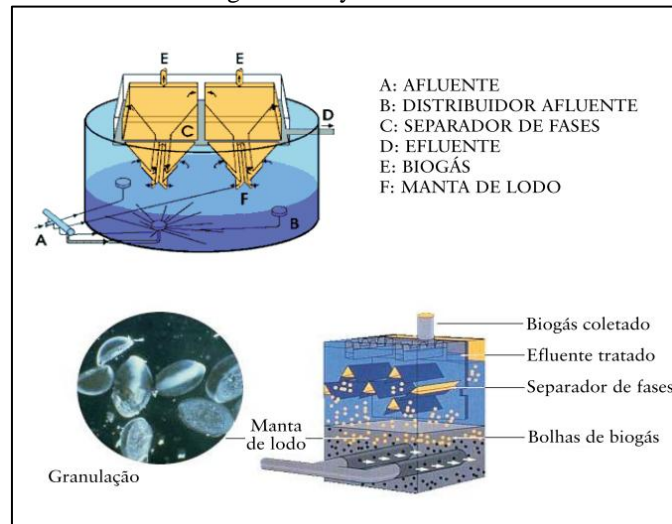
Figura 6 – Sistema de lodos ativados convencional
Figure 6 – Conventional activated sludge system



Fonte: Santos (2007)
 Source: Santos (2007)

Segundo Santos (2007), uma outra opção de tratamento anaeróbio é UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, ou Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) e manta de lodo, nesse sistema diferente dos demais sistemas, há um dispositivo de retenção de biomassa que permite uma boa eficiência do sistema com pouco volume, além disso esse tipo de tratamento permite a coleta e queima do biogás que são gerados. A Figura 7 expõe as partes constituintes de um reator UASB, entre eles o distribuidor afluente, responsável por evitar um curto-circuito hidráulico e o separador de fases.

Figura 7 – Sistema UASB
Figure 7 – System UASB



Fonte: LeAF (s.d., apud Santos, 2007)
 Source: LeAF (s.d., apud Santos, 2007)

Von Sperling (1996), explica que para a decisão do tipo de sistema que será adotado é imprescindível realizar uma análise dos critérios técnicos e econômicos de cada método e verificar a sua viabilidade. O Quadro 2 expõe algumas características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgoto.

Quadro 2 – Características dos principais sistemas de tratamento de esgoto
Box 2 – Characteristics of the main wastewater treatment systems

Sistema de tratamento	Eficiência na remoção (%)		Área (m ² /hab)	Custos de implantação (US\$/hab)	Tempo de detenção hidráulica total (dias)	Quantidade de lodo a ser tratado (m ³ /hab.ano)
	DBO	Coliformes				
Tratamento preliminar	0-5	~ 0	< 0,001	2-8	-	-
Tratamento primário	35-40	30-40	0,03-0,05	20-30	0,1-0,5	0,6-13
Lagoa Facultativa	70-85	60-99	2,0-5,0	10-30	15-30	-
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	70-90	60-99,9	1,5-3,5	10-25	12-24	-
Lagoa aerada facultativa	70-90	60-96	0,25-0,5	10-25	5-10	-
Lagoa aer. mist. completa – lagoa de decant.	70-90	60-99	0,2-0,5	10-25	4-7	-
Lodos ativados convencional	85-93	60-90	0,2-0,3	60-120	0,4-0,6	1,1-1,5
Reator anaeróbio de manta de lodo	60-80	60-90	0,05-0,10	20-40	0,3-0,5	0,07-0,1

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)
Source: Adapted from Von Sperling (1996)

Portanto, é notório que para a implantação de um sistema de tratamento de esgoto não basta observar somente critérios econômicos, mas também realizar um estudo preliminar da eficiência que se espera.

Von Sperling (1996), ressalta que os principais elementos a serem estudados na fase inicial são as caracterizações quantitativas e qualitativas do esgoto afluente à estação de tratamento, critérios de qualidade e nível de tratamento esperado, estudos populacionais, determinação do tempo de projeto e etapas para implantação, estudo de viabilidade técnica entre as diversas opções de tratamento do esgoto, pré dimensionamento, análise econômica e por fim deve-se realizar a escolha da melhor alternativa técnica e econômica para a região.

3. Material e Métodos

3.1 Caracterização da pesquisa

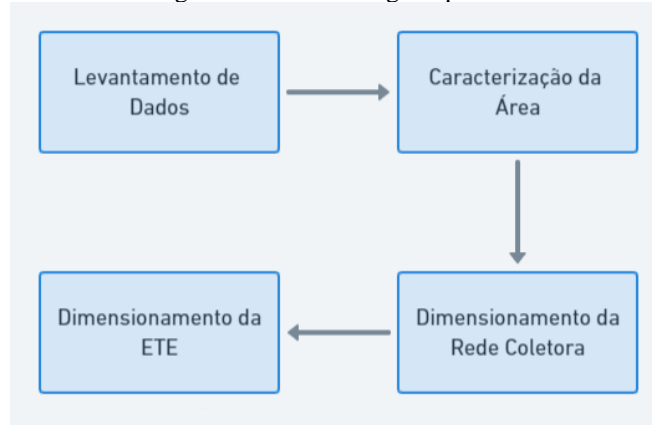
O estudo desse trabalho, quanto à sua abordagem, se caracteriza como uma pesquisa quantitativa, visto que se utiliza da coleta de dados estatísticos para melhor análise e elaboração do projeto. Quanto à sua natureza, trata-se de um estudo aplicado, que segundo Prodanov e Freitas (2013), tem como objetivo fornecer conhecimentos que possibilitem sua aplicabilidade prática na solução de problemas específicos.

No que se refere aos objetivos, a pesquisa tem cunho exploratório, visando promover maior compreensão do tema. Conforme Gil (2002), esse tipo de pesquisa tem como finalidade o aperfeiçoamento e a construção de ideias, assumindo em sua maioria a forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso.

Com a finalidade de atingir o objetivo geral e apresentar o percurso metodológico da pesquisa, foi elaborado o Figura 8.

Figura 8 – Processo metodológico

Figure 8 – Methodological process



Fonte: Autoria própria (2023)

Source: Original authorship (2023)

Por fim, quanto aos procedimentos, trata-se de um estudo de caso, implicando em um estudo aprofundado, objetivando explorar situações reais, preservar o caráter unitário do objeto, realizar a descrição da situação dentro do contexto em que a investigação está inserida, elaborar hipóteses e explicar as diversas causas de um acontecimento em uma situação complexa (Gil 2002).

3.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados foi iniciado com a obtenção da planta de loteamento do Bairro Conjunto André Gadelha, fornecido pela Prefeitura de Sousa-PB. Após isso, houve a necessidade de digitalizar o projeto utilizando um software de representação gráfica, cujas funções permitem realizar projetos de infraestrutura de forma mais eficiente.

O projeto fornecido necessitou também de atualização, visto que o bairro passou por processo de expansão posterior a planta de loteamento obtida. Para realizar essa etapa, além do software de representação gráfica, foi utilizado o Google Maps, a fim de auxiliar no processo de localização e contorno do bairro.

Para a realização do traçado e posterior dimensionamento da rede coletora de esgoto, foi imprescindível a obtenção das curvas de nível. Elas foram utilizadas para definição do traçado, implicando na análise das direções dos fluxos, cálculo das declividades, localização da EEE (Estação Elevatória de Esgoto), da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), entre outros. Dessa forma, foi necessário a extração das curvas de nível por meio do software de georreferenciamento QGIS.

Além disso, foi realizada uma visita técnica com a finalidade de analisar o cenário atual do bairro e obter imagens atualizadas, propondo uma melhor caracterização e exposição da problemática durante a pesquisa.

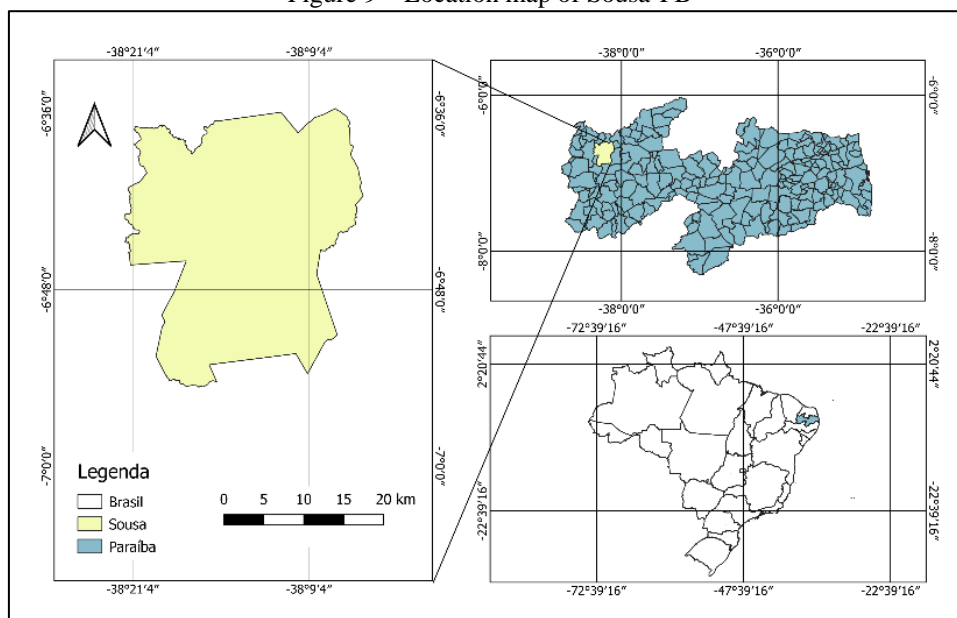
É importante destacar que a elaboração completa do projeto de saneamento do Bairro Conjunto André Gadelha, desde a concepção do traçado, detalhamento da rede coletora, detalhamento dos órgãos acessórios,

detalhamento da estação elevatória e estação de tratamento de esgoto, foi realizada em um software de representação gráfica que permite a elaboração de desenhos técnicos bem detalhados.

3.3 Caracterização da área de estudo

Localizado no Alto Sertão da Paraíba, o Município de Sousa, representado na Figura 9 possui área territorial de 728,492 km² e 67.259 habitantes, sendo cerca de 92,33 hab/km² (IBGE, 2022).

Figura 9 – Mapa de localização de Sousa-PB
Figure 9 – Location map of Sousa-PB



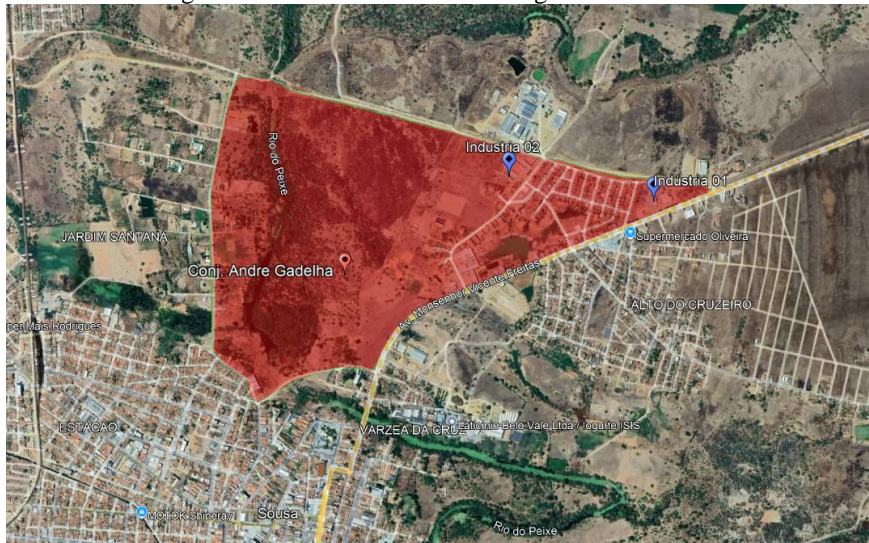
Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

O município conta com apenas 3,2% de urbanização adequada de vias públicas, implicando que grande parte da população vive sem a devida presença de ruas pavimentadas. Além disso, a cidade possui somente 66,4% de esgotamento sanitário adequado e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,668 (IBGE, 2010).

A Cidade de Sousa é caracterizada por possuir temperaturas predominantemente elevadas, segundo o Climatempo (2024), foi observado ao longo de 30 anos uma temperatura média de 35 °C para o mês mais quente e 21 °C para o mês mais frio.

O bairro a ser estudado, o Conjunto André Gadelha, localizado no Município de Sousa, possui uma área territorial de 1,41 km², sendo dispostos em 17 quadras, onde apenas uma parte é urbanizada, e que além de deter residências e alguns edifícios comerciais, comporta duas indústrias, sendo uma de produtos de limpeza e outra de sorvetes, mostrado na Figura 10 como indústria 01 e indústria 02 respectivamente.

Figura 10 – Bairro Conjunto André Gadelha
Figure 10 – André Gadelha Set Neighborhood



Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

A área se localiza em uma região periférica da cidade, carente de saneamento básico e pavimentação em algumas de suas ruas. Além disso, o bairro possui uma região alagada, exibido na Figura 11, que recebe a contribuição de esgotos sem o devido tratamento e sofre eventos de elevação de nível em períodos de chuva, causando alagamentos na proximidade das residências vizinhas.

Figura 11 – Área alagada localizada no Bairro Conjunto André Gadelha, Sousa-PB
Figure 11 – Flooded area located in the André Gadelha Neighborhood, Sousa-PB



Fonte: Autoria própria (2023)
Source: Original authorship (2023)

Salienta-se ainda que a região possui um relevo predominantemente plano. Além disso, um outro fator importante é que a Bacia do Rio do Peixe, que corta a Cidade de Sousa, passa pelo Bairro Conjunto André Gadelha.

3.4 Dimensionamento da rede coletora e EEE

O dimensionamento da rede coletora de esgoto foi fundamentado através da NBR 9649 (ABNT, 1986), que trata das condições exigíveis para o projeto, seu escopo contém as orientações para realização dos cálculos da rede, como taxa de contribuição linear, velocidade crítica e tensão trativa.

Para realizar o dimensionamento da rede coletora, foi utilizado um *software* de planilha eletrônica, que permite executar os cálculos de forma simples e com precisão, através de uma tabela disponível no material complementar deste trabalho

Todas as equações utilizadas no dimensionamento, obtidas em livros e normas regulamentadoras, estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Equações de dimensionamento da rede coletora de esgoto
Box 3 – Sizing equations for a sewage collection network

Equações	
	$Q_i = \frac{C * q * K_2 * P_i}{86400} \quad Q_f = \frac{C * q * K_1 * K_2 * P_f}{86400}$
	<p>Onde:</p> <p>C = coeficiente de retorno q = contribuição <i>per capita</i> (L/hab.dia) K₁ = coeficiente de máxima vazão horária K₂ = coeficiente de máxima vazão horária P_i = população de início de plano P_f = população de final de plano</p>
Cálculo das vazões domésticas de início (Q_i) e final (Q_f) de plano	$T_x = \frac{Q}{L} + TI$ <p>Onde:</p> <p>Q = Vazão doméstica inicial ou final (L/s) L = Extensão da rede (km) TI = Taxa de infiltração (L/s.km)</p>
Taxa de contribuição linear	$I_{min} = 0,0055 * Q^{-0,47} \quad I_{max} = 4,65 * Q^{-0,67}$ $I_T = \frac{CTM - CTJ}{L}$ <p>Onde:</p> <p>Q = Vazão de projeto (L/s) CTM = Cota do terreno montante (m) CTJ = Cota do terreno jusante (m)</p>
Declividade mínima (I_{min}), Declividade máxima (I_{max}) e Declividade de terreno (I_T).	$P_{im} = R + \emptyset \quad P_j = CTJ - CCJ$ <p>Onde:</p> <p>R = Recobrimento (m) \emptyset = Diâmetro (m) CTJ = Cota do terreno jusante (m) CCJ = Cota do coletor jusante (m)</p>
Profundidade do coletor de montante em início de rede (P_{im}) e profundidade jusante (P_j)	$D = (0,0463 * \frac{Q}{\sqrt{I}})^{0,375}$ <p>Onde:</p> <p>Q = Vazão de projeto (m³/s) I = Declividade de projeto (m/m)</p>
Diâmetro	

Velocidade crítica (V_c)	$V_c = 6 * (g * R_H)^{1/2}$ <p>Onde: g = aceleração da gravidade (m/s²) R_H = Raio hidráulico (m)</p>
Tensão trativa (σ_T)	$\sigma_T = \gamma * R_H * I$ <p>Onde: γ = Peso específico (kgf/m³) R_H = Raio hidráulico (m) I = Declividade de projeto (m/m)</p>

Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Para dimensionar a Estação Elevatória de Esgoto – EEE, foram aplicadas as recomendações da NBR 12208 (ABNT, 2020), cujo escopo expõe os requisitos e recomendações necessárias para elaborar o projeto da EEE.

3.5 Dimensionamento da ETE

O dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE, foi elaborado também com o auxílio de um *software* de planilhas eletrônicas.

A norma que foi empregada para dimensionar a ETE foi a Resolução n° 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2011), que trata das diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água, além disso o dimensionamento foi norteado através da literatura e recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS).

As equações utilizadas para o dimensionamento da ETE coletadas a partir da literatura estão expostas no Quadro 4.

Quadro 4 – Equações de dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto
Box 4 – Sizing equations for a wastewater treatment plant

Equações	
Área a meia profundidade ($A_{1/2}$)	<p>Anaeróbia: $A_{1/2} = \frac{L_i * Q}{\lambda_v * H}$</p> <p>Facultativa: $A_{1/2} = \frac{L_i * Q}{\lambda_s}$</p> <p>Maturação: $A_{1/2} = \frac{V}{h}$</p> <p>Onde: L_i = DBO₅ afluente (g/m³) Q = Vazão (m³/dia) λ_v = Taxa volumétrica de DBO₅ (g. DBO₅ /m³.dia) λ_s = Taxa de aplicação superficial (g. DBO₅ /m³.dia) V = Volume da lagoa (m³) h = Altura a meia profundidade (m)</p>
Tempo de detenção hidráulica (Tdh)	$Tdh = \frac{V}{Q}$ <p>Onde: V = Volume da lagoa (m³)</p>

	$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{dia)}$
	$N_e = \frac{N_i}{1 + K_b * Tdh}$
Remoção de bactérias (N_e) e helmintos (R)	$R = 100 * [1 - 0,41 * \exp(-0,49 * Tdh + 0,0085 * Tdh^2)]$
	Onde:
	$N_i = \text{Número de CF/100 mL no afluente}$
	$K_b = \text{Constante de degradação de 1ª ordem para remoção de CF (dia}^{-1}\text{)}$
	$Tdh = \text{Tempo de detenção}$

Fonte: Aatoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Dessa forma, a utilização das equações encontradas na literatura, alinhadas com as recomendações normativas e auxílio do software, garantem um dimensionamento mais preciso e eficaz, atendendo a um padrão de qualidade e segurança exigidos pela legislação vigente.

4. Resultados e Discussão

4.1 Dimensionamento da rede coletora

O traçado da rede coletora, que pode ser visto no apêndice desse trabalho, foi dividido em 73 trechos sendo utilizado de órgãos assessórios 18 terminais de limpeza para início de rede e 54 poços de visita atendendo a 16 ruas.

Para realização do cálculo das vazões foi realizada realizar a estimativa populacional de início de final de plano para a área de estudo. Assim, para o bairro foram contabilizados 340 lotes e uma média de 4 habitantes por lote para o ano inicial, a partir da qual utilizando o método de progressão aritmética, através da equação 1, foi calculada a população futura para um horizonte de projeto de 20 anos.

$$P_{final} = P_i + k_a * (t_f - t_i) \quad (1)$$

$$P_{final} = 1360 + 0,668 * (2044 - 2024)$$

$$P_{final} = 1373 \text{ hab}$$

A vazão média foi calculada considerando uma contribuição *per capita* de esgoto de 120 L/hab.dia e um coeficiente de retorno água/esgoto de 0,8, conforme recomendado pela NBR 9649 (ABNT, 1986). Para a vazão de infiltração foi considerada uma taxa de infiltração de 0,05 L/s.km, seguindo a mesma norma que sugere que a taxa esteja entre 0,05 e 1,0 L/s.km.

A contribuição de esgoto industrial foi determinada considerando uma taxa de 70 L/dia por pessoa, conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993), permitindo a estimativa de uma vazão de 0,041 L/s para a Indústria 1 e 0,081 L/s para a Indústria 2. Portanto, realizando o somatório da vazão doméstica, vazão de infiltração e vazões industriais foi encontrada uma vazão de esgoto sanitário de 3,004 L/s e 3,031 L/s para início e final de plano, respectivamente.

Para a decisão da vazão de projeto, a NBR 9649/1986 recomenda a adoção do valor mínimo de 1,50 L/s, dessa forma para os trechos com vazão inferior foi admitida a vazão indicada pela norma, já para os trechos PV12-PV13 e PV13-PV14 que se encontram ao final da rede, foram encontradas vazões superiores, mostradas na Tabela 1, as quais foram consideradas para o dimensionamento dos trechos equivalentes.

Tabela 1 – Vazões superiores de projeto
Table 1 – Design peak flows

Trechos	Vazões (L/s)	
	Inicial	Final
PV12-PV13	2,13	2,51
PV13-PV14	2,16	2,54

Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Para as declividades de projeto em 34 trechos foi admitida como declividade da rede a declividade do terreno, visto que esta proporcionaria o escoamento por gravidade e apresentou valores maiores que a declividade mínima e menores que a declividade máxima. Em 39 trechos, entretanto, apresentaram tubos localizados em terrenos planos ou com sentido de fluxo contrário a declividade do terreno, e para estes foi admitida uma declividade mínima calculada conforme recomendações da NBR 9649 (ABNT,1998).

Em todos os trechos o diâmetro calculado foi inferior a 100mm, sendo, portanto, admitido DN100 para todos os trechos, conforme recomendação da NBR 9649 (ABNT, 1986).

As profundidades dos coletores variaram de 1,00 a 6,63 m, garantindo o recobrimento mínimo de 0,9m para tubos assentados no leito carroçável. As maiores profundidades encontradas foram as expostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Profundidades superiores
Table 2 – Maximum depths

Trecho	Profundidade (m)
PV23-PV22	4,77
PV3-PV4	5,36
PV12-PV13	6,48
PV13-PV14	6,63

Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Com relação as verificações de funcionamento, as lâminas líquidas, relação Y/D, variaram entre 0,247 e 0,678, e todos os trechos atenderam os critérios mínimos de tensão trativa, e velocidade de escoamento.

4.2 Dimensionamento das Estações Elevatórias

Após a realização do dimensionamento da rede coletora notou-se a necessidade de três estações elevatórias de esgoto, uma no trecho PV4-PV5, cuja profundidade do coletor de montante era 5,36 m, uma segunda no trecho PV33-PV34 de profundidade de montante de 4,64 m, e a terceira ao final da rede coletora, trecho que segue para a estação de tratamento de esgoto.

Para o dimensionamento de cada EEE foram consideradas apenas bombas afogadas, cujo diâmetro interno de recalque calculado para a EEE-1, EEE-2 e EEE-3 resultou em 30 mm, 51 mm e 66 mm, respectivamente. Desta forma, foi escolhido um tubo PEAD 75 PN10/SDR 17, com diâmetro interno de 66 mm, admitindo para todos os casos o diâmetro mínimo de recalque de 75 mm visando a segurança contra obstruções.

Para o cálculo das dimensões dos poços, foi considerado um tempo de ciclo da bomba de 10 min, uma

área de 0,25 m² e folga de 0,30 m, obtendo os valores de profundidade e volume efetivo expostos na Tabela 3, retornando entre elas o maior tempo de detenção de 2,610 min, atendendo a NBR 12208/2020 que recomenda um tempo de detenção inferior a 30 min. Detalhes das dimensões de cada poço podem ser verificados nos apêndices deste trabalho.

Tabela 3 – Dimensões das Elevatórias
Table 3 – Pump station dimensions

	Profundidade (m)	Volume efetivo (m³)
EEE-1	5,85	0,099
EEE-2	5,49	0,143
EEE-3	7,84	0,189

Fonte: Autoria própria (2024)
Source: Original authorship (2024)

Para cada conjunto motor-bomba foram consideradas duas curvas de 90°, um registro de gaveta aberto e uma saída de canalização, resultando em alturas manométricas de 5,44m, 4,95m e 7,60m, para EEE-1, EEE-2 e EEE-3, respectivamente. O que resultou em potências inferiores a 1 cv, sendo essa a potência admitida para cada bomba em cada elevatória.

4.3 Dimensionamento da Estação de Tratamento

Devido sua utilização em larga escala no Brasil, sua eficiência e custo, foi escolhido para o tratamento de esgoto o sistema australiano de lagoas de estabilização, com a aplicação de uma lagoa anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa, e por fim uma lagoa de maturação, ligadas em série. Para fins de dimensionamento foi considerada um efluente bruto com 819 ovos de nematoides/L, DBO₅ de 319 g/m³, e 10.000.000 UFC/100 mL.

Para uma temperatura de 21°C, média do mês mais frio da cidade, foi determinada a taxa de aplicação volumétrica para dimensionamento de uma lagoa anaeróbia de 300 g.DBO₅/m³.dia, e taxa de aplicação superficial de 272,06 g.DBO₅/m².dia para dimensionamento da lagoa facultativa, além de uma constante de degradação de 3,09.

No dimensionamento da lagoa anaeróbia foi admitida uma profundidade de 3 m, resultando em um volume 139,23 m³ e tempo de detenção de 0,53 dias. Ao realizar a verificação de remoção de DBO₅ da mesma, considerando 60%, a DBO efluente da primeira lagoa foi de 127,60 g/m³, destacando a necessidade de uma lagoa facultativa para atender às exigências da Conama 230/2011, que dita uma taxa de no máximo 120 g/m³. Quanto a remoção de coliformes e helmintos, o efluente da primeira lagoa retornou os valores de 3783794,01 UFC/100mL e 259,40 ovos/L.

Para a lagoa facultativa foi considerada uma profundidade de 1,8 m, e o volume calculado resultou foi de 110,54 m³ com um tempo de detenção de 0,42 dias, retornando valores de DBO₅, coliformes e helmintos de 51,04 g/m³, 1642048,15 UFC/100mL e 86,61 ovos/L, respectivamente.

Na lagoa de maturação consideradas as exigências da OMS (Organização Mundial de Saúde) de redução de coliformes para 1000 UFC/100mL, deste modo para maior viabilidade de tempo de detenção foram necessárias três lagoas de maturação em série de 1,2 m de profundidade e 305,03 m³ de volume para cada lagoa. Dessa forma, o efluente da terceira lagoa de maturação apresentou taxa de helmintos de 0,05 < 1 ovo/L e coliformes 1000 UFC/100mL.

5. Conclusão

A falta de saneamento básico é um dos problemas que assolam o país, especialmente em bairros periféricos onde vivem a maioria da população carente, nessas regiões a falta de políticas públicas acaba afetando diretamente os habitantes quanto a sua qualidade de vida e saúde, e embora o país esteja vivendo o Marco Legal de Saneamento Básico, ainda existem muitas cidades que não oferecem coleta e tratamento de esgoto adequado para toda a população.

Como analisado, o Bairro Conjunto André Gadelha, localizado em Sousa-PB, apesar de seu desenvolvimento, ainda possui um déficit no investimento da infraestrutura do local, tornando a população carente de pavimentação e saneamento adequado, desta forma a proposta previu gerar maior bem-estar social e saúde para os habitantes, visto que saneamento básico e qualidade de vida estão intrinsecamente ligados.

O desenvolvimento do projeto de rede coletora e estação de tratamento de esgoto para o bairro foi realizado seguindo orientações de normas técnicas visando um dimensionamento adequado, mais preciso e econômico, entretanto algumas dificuldades foram encontradas ao longo do percurso, pois não foi possível coletar informações acerca da rede coletora existente em algumas ruas do bairro e a quantidade de lotes estimada não pôde ser precisa visto que as informações coletadas da prefeitura se encontravam desatualizadas, além disso as vazões para as duas indústrias foram calculadas considerando uma vazão para fábricas em geral e não do seu tipo de empreendimento específico.

Apesar das dificuldades encontradas, os objetivos centrais do estudo foram atendidos, foi possível elaborar uma proposta de saneamento básico para o bairro, com seu respectivo sistema de tratamento de esgoto proporcionando melhora na qualidade de vida da população residente.

6. Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1993). **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1986). **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1986). **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2020). **NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2011). **NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro.

Brasil. **Resolução Conama n° 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da União, 13 de maio. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acessado em novembro/2023. 2011.

Brasil. **Lei n° 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n° 9.984, de 17 de julho de 2000[...]**. Diário Oficial da União, 15 de jul. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acessado em outubro/2024. 2020.

Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2021). **Painel do setor saneamento**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snls/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acessado em: 19/09/2023.

Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (2015). **Série histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acessado em: 19/09/2023.

Brasil. Ministério da Saúde (2023). **Morbidade hospitalar do SUS**. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>. Acessado em: 04/01/2025.

Climatempo (2024). **Climatologia em Sousa, BR**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1240/sousa-pb>. Acessado em: 01/09/2023.

Gil, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa** (4a ed.). São Paulo: Atlas.

Governo da Paraíba (2019). **Centro multiusuário que pesquisa tratamento de esgoto aponta solução para crise hídrica na Paraíba**. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-da-educacao/noticias/centro-multiusuario-que-pesquisa-tratamento-de-esgoto-aponta-solucao-para-crise-hidrica-na-paraiba>. Acessado em: 16/10/2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2010). **Panorama**. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). **Panorama**. Rio de Janeiro.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2022). **Panorama**. Rio de Janeiro.

Lima, J., Pereira, M. (2022). **Dimensionamento dos sistemas de coleta de esgoto e drenagem urbana do loteamento Luar Pinto Gadelha, na Cidade de Sousa-PB**. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, PB, Brasil.

Meretka, P. (2021). **Impactos de parâmetros de projetistas no quantitativo de obras de redes coletoras de esgoto sanitário**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, PR, Brasil.

Mutti, P. (2015). **Avaliação dos princípios da adoção de sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto ou unitário em áreas urbanas de clima tropical**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Nuvolari, A. (Coord.). (2011). **Esgoto sanitário: coleta, transporte e reuso agrícola** (2a ed.). São Paulo: Blucher.

Prodanov, C. C.; Freitas, E. C. De. (2013). **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho** (2a ed.). Novo Hamburgo: Universidade Feevale.

Santos, A. (2007). **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgoto**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil.

Santos, A. (Org.). (2019). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Imprece.

Unicef (2021). **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000-2020: Five years into the SDGs**. Disponível em: <https://data.unicef.org/resources/progress-on-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2020/>. Acessado em: 02/01/2024.

Von Sperling, M. (1996). **Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos** (2a ed.). Belo Horizonte: Segrac.

7. Apêndices e/ou Anexos

As informações de dimensionamento e detalhamento da rede coletora e estação de tratamento de esgoto do bairro Conjunto André Gadelha podem ser acessados escaneando o QR Code ao lado.

