



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Maythê Sttefany de Souza

**Caracterização do estado de serviço de uma estação de tratamento de esgoto no
município de Mossoró-RN**

MOSSORÓ
2024

Maythê Sttefany de Souza

Caracterização do estado de serviço de uma estação de tratamento de esgoto no município de Mossoró-RN

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Maria Josicleide Felipe Guedes,
Profª. Dra.

Coorientador: Alisson Gadelha de Medeiros,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS729 Souza, Maythê Sttefany de.
c Caracterização do estado de serviço de uma
estação de tratamento de esgoto no município de
Mossoró-RN / Maythê Sttefany de Souza. - 2024.
94 f. : il.

Orientadora: Maria Josicleide Felipe Guedes.
Coorientador: Alisson Gadelha de Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. Saneamento básico. 2. Esgotamento
sanitário. 3. Lagoas de estabilização. 4. Projeção
populacional. I. Guedes, Maria Josicleide Felipe
, orient. II. Medeiros, Alisson Gadelha de, co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Maythê Sttefany de Souza

Caracterização do estado de serviço de uma estação de tratamento de esgoto no município de Mossoró-RN

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 17/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Maria Josicleide Felipe Guedes, Profa. Dra (UFERSA)
Presidente/Orientadora



Documento assinado digitalmente
ALISSON GADELHA DE MEDEIROS
Data: 25/04/2024 21:12:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Alisson Gadelha de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Coorientador

Rafael Oliveira Batista, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Solange Aparecida Goularte Dombroski, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

*Em memória do meu amado pai, Francisco
Rodrigues de Souza, que lutou pela minha
educação até o fim de sua vida.*

*À minha mãe e meu irmão, por acreditarem no
meu potencial quando nem eu mesma acreditei.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e a vida de minhas pessoas queridas, por me sustentar nos momentos mais difíceis e por não ter me deixado desistir e esquecer dos meus sonhos.

Aos meus pais, que sempre lutaram para que eu recebesse a melhor educação possível, por todo amor, apoio e até mesmo broncas. Meu pai, que me deixou ainda criança, cuidadoso, calado e amoroso. Eu lembro todos os dias do seu olhar de admiração para mim e da sua última benção antes de partir, por muito tempo foi um peso que carreguei comigo, mas hoje isso se tornou a minha força para seguir em frente. Minha mãe, uma verdadeira guerreira, que mesmo enfrentando a doença cruel que é a depressão após o meu pai partir, foi mãe e pai, e nunca deixou nem eu e nem meu irmão desamparados. A primeira Mestre e futura Doutora de uma família humilde, que desde criança sempre teve sede por estudar e não mediu esforços para isso. Você é a inspiração da minha vida e espero um dia me tornar motivo de orgulho para você.

Ao meu irmão, que mesmo distante, não deixa de me apoiar e me aconselhar. Sinto falta do seu mal humor, das nossas brigas, das nossas madrugadas em claro, dos nossos passeios de carro à noite, do “te faço um sanduíche se você me deixar jogar no seu computador” seguido de “eu topo”, meu parceiro de jogos. Também à minha cadela, Vivi, que enquanto eu redigia meu trabalho durante as madrugadas, nunca me deixava sozinha.

À minha melhor amiga, Eduarda, por todos esses anos juntas. Termos nos encontrado mesmo morando em cidades tão distantes é algo que não dá para ser explicado. Há 10 anos éramos pré-adolescentes com sonhos. Hoje, você é arquiteta e eu, em breve, engenheira civil. Espero compartilhar sonhos com você pelo resto de nossas vidas, minha irmã.

Ao meu namorado, Pablo, por todo o apoio e suporte, por ser a calma em meio à minha mente cheia de preocupações com o futuro e por me motivar a perseguir meus sonhos.

Aos meus amigos, Mariana, Victor, Vanessa, Cayo, Nicolas, Roberta, Joicy, Thamiris, Paloma e Sávio pelas conversas quando eu mais precisei. Aos amigos que conquistei na faculdade, em especial à Marina e Sabriny, dividimos tristezas e vitórias juntas. Aos meus amigos distantes, Lucas, Matheus, Daniel e Guilherme, pelas conversas profundas e risadas.

À minha orientadora, professora Josicleide, ou “Josi”, como sempre te chamo. Sem você nada disso seria possível, mesmo com sua rotina pesada me aceitou como orientanda e acreditou no meu potencial. Também ao meu coorientador, professor Alisson, pelos conselhos, por todo o conhecimento repassado e por acreditar que eu conseguiria realizar esse trabalho.

Muito obrigada a todos que, de alguma forma, fizeram parte da minha história.

“Eu quero te agradecer por não ceder ao cansaço
Por continuar comigo e por me guiar
De agora em diante vou começar a te amar
Quero dizer, eu vou me amar agora
Eu quero conhecer você, apenas você e mais ninguém
O eu, prestes a chorar, preso no espelho
Eu quero que saiba
Você se saiu muito bem até agora sozinho
É o que eu quero dizer para mim
Por mim”

For Me – DAY6

RESUMO

Os desafios da expansão dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil têm estado cada vez mais em evidência com a aproximação do prazo para o atendimento de pelo menos 90% da população brasileira com esse serviço até 2033, conforme imposto pela atualização do Marco Legal do Saneamento Básico, fazendo-se necessário um esforço direcionado para o atingimento dessa e das demais metas estabelecidas. Em 2022, cerca de 38,27% da população de Mossoró não tinha acesso aos serviços de esgotamento sanitário, ocasionando situações de esgoto a céu aberto e despejo inadequado de efluentes e o consequente mal-estar da população. Diante da problemática, a pesquisa em questão teve como foco caracterizar o estado de serviço da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cajazeiras, do município de Mossoró-RN, sendo a ETE que apresenta o maior índice de atendimento de esgotamento sanitário. Nesse contexto, o questionamento principal desta pesquisa era verificar se, no formato atual, a ETE é capaz de suportar a demanda futura no que diz respeito ao aumento populacional e o consequente aumento no número de economias de esgotamento sanitário. Para tal, a concepção projetual da ETE foi avaliada levando em consideração o crescimento da população por projeção matemática e posterior cálculo da vazão média total de esgoto para o ano de 2033, além do estabelecimento de parâmetros para o pré-dimensionamento da ETE no programa ETEUFERSA. A população total estimada para Mossoró em 2033 foi de 295.627 habitantes, calculada pela otimização do método aritmético pelo método dos mínimos quadrados. E, deste valor, foi estimado que 116.428 habitantes serão atendidos pela ETE Cajazeiras. Com isso, a vazão média total de esgoto estimada foi de 902,02 m³/h e, de acordo com pré-dimensionamento resultante do programa ETE UFERSA e considerando as condições de contorno estabelecidas nesta pesquisa, os resultados obtidos sugerem que o projeto atual é incapaz de atender a demanda para 2033.

Palavras-chave: Saneamento básico; esgotamento sanitário; lagoas de estabilização; projeção populacional.

ABSTRACT

The expansion challenges of sewage services in Brazil have become conspicuously noticeable with the impending deadline to assist at least 90% of the Brazilian population with this service by 2033, as imposed by the update of The Basic Sanitation Legal Framework, therefore requiring a targeted effort to achieve this and other established goals. In 2022, approximately 38.27% of Mossoró's population did not have access to sewage services, occasioning on a situation of open sewage and inadequate disposal of effluents and the ensuing discomfort of the population. In face of this problematic, the concerned research focused on the Cajazeiras Sewage Treatment Plant (STP), located in Mossoró-RN, this being the STP with the highest rate of sewage service. Within this context, the main question for this research was to verify if, in the current format, the STP is capable of meeting future demands regarding the population growth and the consequential rise in the number of sanitary sewage economies. For this end, the projectual conception of the STP was determined in consideration of the population growth through mathematical projection and subsequent calculation of the total average sewage flow for 2033, in addition to the establishment of parameters for pre-sizing the STP in the ETEUFERSA program. The estimated total population of Mossoró for 2033 was 295,627 inhabitants, calculated by optimizing the arithmetic method, using the least squares method. From this value, it was determined that 116,428 inhabitants will be served by the STP Cajazeiras. As a result, the estimated total average sewage flow was 902.02 m³/h, and according to the pre-sizing results from the ETE UFERSA program and considering all the established boundary conditions, the obtained results suggest that the current project is incapable to attending the demand for 2033.

Keywords: Sanitation; sanitary sewage; stabilization ponds; populational projection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do tratamento preliminar do esgoto bruto	26
Figura 2 - Fluxograma de tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa única.....	27
Figura 3 - Fluxograma de tratamento de esgoto com lagoa facultativa única	28
Figura 4 - Fluxograma de tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa única e lagoas de maturação.....	28
Figura 5 - Fluxograma do procedimento metodológico	38
Figura 6 - Localização da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN	40
Figura 7 - Informação de atendimento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN.....	41
Figura 8 - Tratamento preliminar por gradeamento na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN	42
Figura 9 - Tratamento preliminar por caixa de areia na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN	43
Figura 10 - Medidor de vazão (Calha <i>Parshall</i>) na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN	43
Figura 11 - Vista superior da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN	44
Figura 12 - Variação diária típica de vazão de esgotos sanitários.....	52
Figura 13 - Painel de entrada de dados do programa ETEUFERSA.....	54
Figura 14 - Valores de DQO e DBO indicativos de tratabilidade de um efluente	56
Figura 15 - População censitária de Mossoró-RN no período de 1970 a 2022	59
Figura 16 - Projeções aritmética, geométrica e otimização da projeção aritmética pelo método dos mínimos quadrados da população de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033.....	60
Figura 17 - Regressão matemática (linear, logarítmica e exponencial) da população de Mossoró-RN	61
Figura 18 - Regressão do índice de atendimento total de esgoto de Mossoró-RN.....	66
Figura 19 - Regressão matemática do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN.....	67

Figura 20 - Layout do pré-dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para 2022.....	77
Figura 21 - Layout do pré-dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para 2033.....	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Remoção de poluentes por nível de tratamento de esgoto	25
Quadro 2 - Equações para dimensionamento de lagoas facultativas	32
Quadro 3 - Equações para dimensionamento de lagoas de maturação	33
Quadro 4 - Métodos de crescimento da projeção populacional	45
Quadro 5 - Método de regressão da projeção populacional	46
Quadro 6 - Dados de entrada e saída do programa ETEUFERSA para pré-dimensionamento dos sistemas de lagoa facultativa e lagoa de maturação	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações de número de economias do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2015	47
Tabela 2 - Índice de atendimento total de esgoto de Mossoró-RN no período de 2001 a 2022	47
Tabela 3 - Número de economias do esgotamento sanitário cadastradas em Mossoró-RN no período de 1996 a 2022	48
Tabela 4 - Consumo per capita de água.....	50
Tabela 5 - Eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, em relação à remoção de DBO, DQO e coliformes termotolerantes	55
Tabela 6 - Crescimento da população de Mossoró-RN no intervalo entre os anos censitários	62
Tabela 7 - Resultados obtidos pelos métodos de projeção populacional de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033	62
Tabela 8 - Número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2015	64
Tabela 9 - Representação percentual de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2015	65
Tabela 10 - Estimativa de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2022	65
Tabela 11 - Número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2022	65
Tabela 12 - Regressão linear do índice de atendimento de esgoto de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033.....	67
Tabela 13 - Projeção do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033	68
Tabela 14 - Estimativa do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2033	68
Tabela 15 - Estimativa do número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2033	69
Tabela 16 - Vazão total de entrada de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para os anos de 2019, 2022 e 2033	70
Tabela 17 - Dados de entrada para pré-dimensionamento da lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023).....	71

Tabela 18 - Dados de entrada para pré-dimensionamento das lagoas de maturação da Estação de Tratamento Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023).....	73
Tabela 19 - Dados de saída para a lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, anos 2022 e 2033, por meio do programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)	75
Tabela 20 - Dados de saída para as lagoas de maturação da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, anos 2022 e 2033, por meio do programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
JMP	<i>Joint Monitoring Programme</i>
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PMM	Prefeitura Municipal de Mossoró
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNICEF	<i>United Nations International Children's Emergency Fund</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	20
2.1.	Objetivo geral	20
2.2.	Objetivos específicos	20
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1.	O desafio da universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil	21
3.2.	Tecnologias de tratamento de esgoto em regiões tropicais.....	24
3.2.1.	Lagoas de estabilização.....	27
3.2.2.	Aspectos legais e de projetos para lagoas de estabilização.....	28
3.2.2.1.	Regulamentações aplicáveis às lagoas de estabilização	29
3.2.2.2.	Planejamento e projeto de lagoas de estabilização	30
3.2.3.	Aplicações operacionais de lagoas de estabilização em regiões tropicais	34
4	METODOLOGIA.....	37
4.1.	Procedimentos metodológicos	37
4.2.	Caracterização da área de inserção da pesquisa.....	39
4.3.	Estimativa de projeção populacional	45
4.4.	Estimativa da vazão total de esgoto.....	46
4.4.1.	Cálculo da população atendida pela ETE Cajazeiras em Mossoró-RN	46
4.4.1.1.	Cálculo da vazão doméstica média	49
4.4.1.2.	Cálculo da vazão industrial	50
4.4.1.3.	Cálculo da vazão de infiltração	51
4.4.1.4.	Cálculo das vazões mínima e máxima	51

4.4.1.5.	Cálculo da vazão total	53
4.5.	Análise das conformidades projetuais da Estação de Tratamento de Esgoto ..	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1.	Projeção populacional	58
5.2.	Estimativa da vazão de esgoto	63
5.2.1.	População de atendimento da ETE Cajazeiras.....	63
5.2.2.	Vazão média total de esgoto	69
5.3.	Verificação de conformidades projetuais da ETE Cajazeiras	71
5.3.1.	Estimativa de parâmetros de dimensionamento para ETE.....	71
5.3.2.	Resultados do pré-dimensionamento	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO ATENDIDA PELA ETE CAJAZEIRAS EM 2015, 2022 E 2033	87
	APÊNDICE B – RELATÓRIO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO (2022)	88
	APÊNDICE C – RELATÓRIO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO (2033).....	91

1 INTRODUÇÃO

Mahapatra, Samal e Dash (2022) relatam que, em virtude dos vários usos da água, é frequente a poluição causada por águas residuárias que não passaram por processo de tratamento, sendo esse tratamento muito relevante antes que haja o descarte. À primeira vista um problema assim aparenta ser bastante centralizado, no entanto, pode acarretar prejuízos nos mais variados âmbitos da sociedade, seja no meio ambiente ou na saúde da população propriamente dita, impactando consequentemente a economia e outros setores.

O grande entrave é que apenas cerca de 112,8 milhões de pessoas são atendidas por serviços de esgotamento sanitário no Brasil, correspondendo a 56% da população. Além disso, dos efluentes gerados, somente 52,2% são tratados (SNIS, 2022). Este cenário demonstra que uma vasta parte da população ainda sofre com a ausência de serviços de esgotamento sanitário, sendo estes de extrema relevância para a conservação dos corpos hídricos.

O esgotamento sanitário se encontra dentro da esfera do saneamento básico conjuntamente a outros serviços como o abastecimento de água, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020). Santos (2022) diz que o saneamento básico é um direito que deve ser garantido pela Constituição brasileira. Todavia, a realidade do saneamento básico no Brasil ainda é muito complexa, pois uma parte significativa da população não é atendida da forma adequada, e em alguns casos, o acesso chega a ser inexistente.

De modo a caminhar no sentido da universalização desses serviços à população negligenciada, a atualização do Marco Legal do Saneamento Básico estabeleceu metas de atendimento até 31 de dezembro de 2033, de modo a garantir o atendimento de 99% da população com água potável e 90% da população com coleta e tratamento de esgotos (Brasil, 2020). Metas que se complementam ao Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), responsável pela definição destas (BRASIL, 2013).

Há, porém, desigualdades entre os estados do Brasil, pois, naturalmente, cada estado exige diferentes tipos de planejamento e tecnologias devido às condições distintas que apresentam, o que torna a universalização, embora não intangível, um grande desafio (Paganini; Bocchiglieri, 2021). Ramos *et al.* (2022) dizem que as previsões estabelecidas pelo PLANSAB são interessantes visto que o plano estabeleceu metas de acordo com a localização, dividindo os serviços para a região urbana e rural, no entanto, alerta que as metas estabelecidas pelos

textos normativos não dão ênfase nessas diferenças, o que acaba por generalizar a situação das regiões.

Diante disso, é notória a importância de que existam investimentos voltados à expansão desses serviços de forma igualitária. Isso se mostra ainda mais relevante quando a Organização Mundial da Saúde (OMS) menciona que a cada 1 dólar investido em saneamento (R\$ 5,00 aproximadamente) são economizados 4,3 dólares (R\$ 21,00, aproximadamente) em saúde (ONU; OMS, 2014). Dessa forma, é beneficiado não apenas o setor econômico, como também há o aumento no bem-estar da população. No entanto, o aumento na demanda por esses serviços é também ocasionado pelo aumento constante da população, o que faz necessário o estudo não só das necessidades do presente como do futuro.

Nesse sentido, o crescimento da população ocasiona o aumento no volume de efluentes, acarretando muitas vezes na poluição de corpos de águas superficiais, possivelmente causada pelo não tratamento e consequente despejo inadequado destes, tornando o processo de autodepuração do corpo mais difícil (Martins; Rocha; Santana, 2018). Com o propósito de garantir a conservação do corpo d'água, existem tecnologias de tratamento que permitem que o esgoto tratado alcance parâmetros dentro dos níveis exigidos para lançamento.

A aplicação dessas tecnologias é feita em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que tem sua definição, conforme a Norma Brasileira, NBR 12.209/2011, como: “conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento” (ABNT, 2011, p. 3). Além disso, a norma também objetiva estabelecer condições de dimensionamento.

As tecnologias de tratamento de esgoto predominantes no Brasil são os reatores anaeróbios e as lagoas de estabilização, seguidas da tecnologia de lodos ativados, a mais frequente em regiões urbanas com alta densidade demográfica (ANA, 2020). Dentre as tecnologias mencionadas, as lagoas de estabilização têm ganhado cada vez mais destaque pois seu processo de tratamento não apresenta alto custo visto que este se baseia na interação da luz solar com as algas e bactérias presentes no esgoto (Mahapatra; Samal; Dash, 2022).

Dada a relevância das ETE e seu impacto benéfico no meio ambiente, é crucial estar atento ao surgimento de potenciais problemas que possam afetar a eficácia do tratamento das águas residuárias. Para Mossoró, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019) expõe o baixo índice de cobertura do serviço de esgotamento sanitário no município, logo, a falta da destinação adequada e seu consequente tratamento

resulta em situações de esgoto a céu aberto, despejo em canais de drenagem e até mesmo no solo. Isso demonstra que há um déficit significativo no fornecimento desse serviço e a necessidade de investimentos maiores e direcionados para garantir que todos os habitantes sejam atendidos com equidade.

Tendo em vista o cenário de quase universalização imposto pela atualização do Marco Legal do Saneamento Básico conjuntamente ao aumento na demanda de coleta e tratamento de esgotos em decorrência do crescimento populacional, o presente trabalho investigou a capacidade de atendimento do sistema de lagoas de estabilização na Estação de Tratamento de Esgotos Cajazeiras, em Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, no que diz respeito ao comportamento da demanda futura a 10 anos do cenário de quase universalização.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar o estado de serviço da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Cajazeiras, do município de Mossoró-RN.

2.2. Objetivos específicos

- Definir metodologia para estimativa de vazão afluyente à ETE;
- Verificar conformidades projetuais da ETE em atendimento à vazão estimada para o ano de 2033.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. O desafio da universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil

Vinculado ao crescimento populacional está o aumento da demanda por água. Tendo em vista a necessidade da disponibilidade de recursos hídricos para atender às necessidades da população atual e futura, também existe uma preocupação intrínseca com relação à qualidade dos corpos hídricos, principalmente em regiões com maior densidade demográfica e aquelas que sofrem com problemas de escassez de água.

Toda essa problemática evidencia a importância de um sistema de saneamento básico adequado para garantir a manutenção e gestão dos recursos hídricos. O saneamento básico tem sido centro de discussões ao longo de muitas décadas devido às diversas áreas da sociedade com as quais está interligado, abrangendo desde a garantia de acesso à água potável, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais; todos esses eixos estão relacionados diretamente à saúde pública. Segundo a Lei nº 14.026/2020, o saneamento básico é definido como:

“I - saneamento básico: conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana; e
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes” (BRASIL, 2020, Art. 3º, inciso I).

A atualização do Marco Legal do saneamento básico pela Lei nº 14.026/2020 tem como objetivo de expandir os índices de atendimento aos serviços dos quatro eixos do saneamento básico com vistas à universalização destes. Essa nova legislação atualiza a Lei nº 11.445/2007, e segundo o Art. 1º “esta Lei estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para

a política federal de saneamento básico”. O Art. 11-B da atualização do Marco Legal do Saneamento Básico afirma que:

“Os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável e de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, assim como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de redução de perdas e de melhoria dos processos de tratamento” (BRASIL, 2020, Art 11-B).

A universalização é definida pelo inciso III do Art. 3º da Lei nº 14.026/2020 como “ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico”. Dessa forma, torna-se imperativo que existam tanto políticas públicas quanto investimentos no setor de infraestrutura, para que, dessa forma, os domicílios sejam saneados independentemente de suas localizações ou condições socioeconômicas. Para isso, no entanto, há uma série de obstáculos. Ferreira, Gomes e Dantas (2021) mencionam que, mesmo com os instrumentos legais estabelecidos para tal,

“as ações por parte da União não atingiram o território de forma homogênea, tendo em vista as características locais dos municípios, como o nível de suas capacidades técnicas, vontade política das gestões municipais e captação de recursos para geração destes instrumentos voltados para o Saneamento Básico” (Ferreira; Gomes; Dantas, 2021, p.3-4).

Ou seja, a diferença na forma de gestão dos municípios pode de fato impactar de forma significativa na desigualdade dos serviços de saneamento básico. Já visando as possíveis disparidades que possam influenciar no não alcance das metas estipuladas até 2033, pode ainda ser analisada a possibilidade de flexibilização do prazo até 2040, conforme Lei nº 14.026/2020, Art. 11-B, § 9:

“Quando os estudos para a licitação da prestação regionalizada apontarem para a inviabilidade econômico-financeira da universalização na data referida no **caput** deste artigo, mesmo após o agrupamento de Municípios de diferentes portes, fica permitida a dilação do prazo, desde que não ultrapasse 1º de janeiro de 2040 e haja anuência prévia da agência reguladora, que, em sua análise, deverá observar o princípio da modicidade tarifária” (BRASIL, 2020, Art 11-B, § 9).

Segundo estatísticas da JMP Global Database (WHO; UNICEF, 2022), considerando 135 países, o Brasil se encontra em 81ª posição no ranking de esgoto tratado, revelando o atendimento de 49,6% da população com esse serviço. Além disso, de 142 países, ocupa a 70ª posição no fornecimento de água não contaminada, atendendo cerca de 87,3% da população.

Tal cenário se mostra desafiador, pois apesar do Brasil apresentar a 9ª maior economia do mundo, sendo a maior da América Latina (CNN, 2024), países com economias inferiores ocupam melhores posições. Vale ressaltar que o acesso adequado ao saneamento básico é uma realidade complexa, não dependendo apenas de um único fator, como a situação econômica de um país (sendo, porém, um fator crucial), mas envolve também aspectos como política, infraestrutura, investimento adequado, monitoramento, conscientização e tecnologias inovadoras.

Em geral, países mais desenvolvidos não apresentam tanta carência nos serviços de saneamento básico quanto ao atendimento à população como os países em desenvolvimento, apresentando dessa forma uma população mais saudável (Heller, 1998). Rocha (2022) justifica que a boa saúde das pessoas é resultado de um ambiente também saudável.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) evidenciam que há diversas doenças que podem ser disseminadas em decorrência da poluição dos recursos hídricos. Isso se dá devido à disposição inadequada dos resíduos, tanto sólidos como líquidos, advindos de residências ou regiões com alta presença de atividades humanas ou industriais, causando a veiculação da poluição tanto em corpos superficiais como em corpos subterrâneos.

De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) (IBGE, 2022), que contou com 74,1 milhões de domicílios estimados, dos municípios localizados em áreas urbanas, 78% tinham acesso a esgotamento sanitário por meio da rede coletora. Em contrapartida, a situação das áreas rurais é mais crítica, contando com 9,4% de esgotamento sanitário por meio da rede coletora.

Castro, Taleires e Silveira (2019) menciona que as tecnologias comumente utilizadas ainda encontram dificuldades de implementação, principalmente nas áreas rurais, no entanto, como medida de saúde pública, é um ponto de atenção para conferir à população rural qualidade de vida. A garantia desses serviços contribui de forma significativa para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização Nacional das Nações Unidas (ONU), em especial o ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável de água e esgotamento sanitário para todas as pessoas.

Ressalta-se que se faz necessário um grande investimento para que os serviços de saneamento sejam implementados pois são obras de grande porte que geralmente apresentam retorno de médio a longo prazo e consequentemente favorecem as áreas urbanas, onde a demanda por serviços é maior por apresentar uma população superior e retorno financeiro a curto prazo se comparadas às áreas rurais (Castro; Taleires; Silveira, 2019).

De acordo com o Trata Brasil (2022), para que a quase universalização dos serviços de saneamento aconteça até no máximo 2040, são necessários investimentos na faixa de R\$ 667 bilhões. Considerando o ano de 2033, desde a implementação do Novo Marco em 2020, seriam necessários investimentos anuais R\$ 31,76 bilhões para o alcance das metas. É um cenário alarmante levando em conta que, em 2022, o investimento no setor de saneamento foi de aproximadamente R\$ 22,5 bilhões, revelando assim o desfalque de investimentos.

Sendo assim, investimentos bem direcionados são cruciais para que os serviços implementados funcionem de forma eficaz, e quando relacionados às tecnologias de tratamento de esgoto, se torna algo bem visível.

Existem diversas tecnologias de tratamento de esgoto, no entanto, sua aplicabilidade depende das condições geográficas, climáticas, ambientais, socioeconômicas e do nível de tratamento necessário para o esgoto, sendo o clima, especialmente, um fator crucial no planejamento de novas tecnologias.

3.2. Tecnologias de tratamento de esgoto em regiões tropicais

Destinar adequadamente os efluentes tratados é necessário para a mitigação de problemas ambientais e de saúde pública. Segundo a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece os padrões de qualidade ambiental para os corpos d'água e diretrizes para a classificação destes com base em seus usos preponderantes, os esgotos sanitários são definidos como “denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos” (BRASIL, 2011).

Von Sperling (2014) divide o esgoto sanitário em esgoto doméstico, águas de infiltração e esgoto industrial, cada um com suas particularidades. O esgoto doméstico é aquele proveniente de uma comunidade e possui em sua composição principalmente resíduos do corpo humano, como fezes e urina, e águas residuárias de atividades domésticas, tais como a lavagem de louças e roupas (Mara, 2003).

As águas de infiltração presentes no sistema de esgotamento sanitário são oriundas de poços de visita, tubos defeituosos, conexões e juntas (Von Sperling, 2014). Metcalf e Eddy (2015) dizem que o esgoto industrial é aquele formado por efluentes de processos industriais, sendo sua composição dependente do produto de fabricação. Ainda no aspecto de classificação,

os autores mencionam também a presença de águas pluviais no esgoto advindas do escoamento superficial de precipitações pluviais ou degelo em regiões onde há presença de neve.

O tratamento de esgoto é dividido em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. O nível de tratamento escolhido depende, portanto, de diversos fatores que compõem os estudos preliminares que viabilizarão a implantação da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (Von Sperling, 2014).

Quando há o tratamento preliminar seguido por tratamento primário do esgoto bruto, porém, as impurezas nele presentes não são reduzidas o bastante para atingir os parâmetros de lançamento ideais, necessita-se de tratamento posterior. Segundo o que apresentam Jordão e Pessoa (2011), tanto o grau como a eficiência exigida no tratamento dependem do corpo hídrico receptor, do uso da água a jusante do ponto de lançamento, da capacidade de autodepuração e da diluição do corpo hídrico receptor, das leis ambientais e em que o lançamento do esgoto irá impactar.

Dessa forma, entende-se que o que diferencia cada nível de tratamento é seu grau de remoção, seja de sólidos em suspensão ou carga orgânica, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Remoção de poluentes por nível de tratamento de esgoto

Nível	Remoção
Preliminar	Remoção de sólidos grosseiros; Remoção de gorduras; e Remoção de areia.
Primário	Sedimentação; Flotação; Sistemas anaeróbios (lagoa anaeróbia, tanque séptico, Tanque Imhoff, reator anaeróbio de fluxo ascendente); Digestão do lodo; e Secagem do lodo.
Secundário	Filtração biológica; Processos de lodos ativados; e Lagoas de estabilização aeróbias (facultativa, aerada).
Terciário	Processos de remoção de organismos patogênicos; Processos de remoção de nutrientes; e Processos de tratamento avançado (filtração final, absorção por carvão, membranas).

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2011).

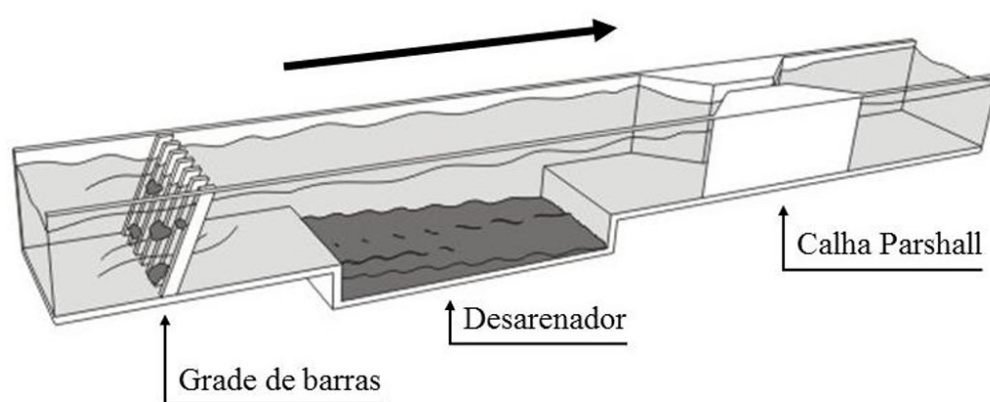
Jordão e Pessoa (2011) dividem o grau de remoção dos processos de tratamento em processos físicos, químicos e biológicos, onde:

- Físicos: englobam a separação e remoção de substâncias em suspensão no esgoto por meio de fenômenos físicos;
- Químicos: há o emprego de produtos químicos para a remoção das substâncias;
- Biológicos: se baseiam na ação de microrganismos presentes no esgoto.

O tratamento preliminar de esgoto é composto por diferentes etapas e serve como uma preparação inicial do esgoto bruto para o tratamento subsequente. Segundo Jordão e Pessoa (2011), em geral, há a utilização de grade de barras, podendo esta ser manual ou mecanizada, seguido da caixa de areia ou desarenador. Em alguns casos, há ainda a implementação de peneiras estáticas ou móveis que retêm sólidos mais finos.

Ainda nesse nível de tratamento, há a medição de vazão, sendo comum a implementação de calha *Parshall* ou por medidor ultrassônico. A Figura 1 demonstra uma configuração comumente utilizada do tratamento preliminar das Estações de Tratamento de Esgoto.

Figura 1 - Fases do tratamento preliminar do esgoto bruto



Fonte: Adaptado por Andrade (2016).

Já os níveis primários, secundários e terciários podem ser compostos por diversos tipos de tecnologia, no entanto, para assegurar a eficácia do tratamento, é crucial que o tipo de tecnologia utilizada esteja intimamente ligado à região de implementação, um fator determinante que terá influência tanto na quantidade quanto na qualidade dos serviços de saneamento (Heller; Von Sperling; Heller, 2009).

Von Sperling (2014) cita a temperatura como um fator que tem elevada influência na eficiência do sistema visto que facilita os processos de reação físicas, químicas e biológicas. Deste modo, assim como existem tecnologias de tratamento de esgotos mais eficientes em

regiões com climas frios, há aquelas mais indicadas para regiões com temperaturas elevadas, que é o caso de países com clima tropical como o Brasil. Como exemplo, pode-se citar as lagoas de estabilização e variantes.

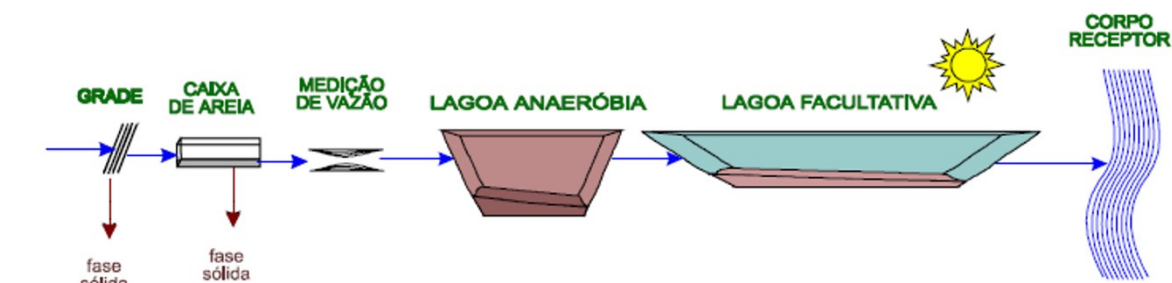
3.2.1. Lagoas de estabilização

A tecnologia de lagoas de estabilização é muito utilizada devido à sua operação ser mais simples em comparação com outras tecnologias, não necessitando de muitos equipamentos; sendo majoritariamente aplicada em países em desenvolvimento com clima quente (fator que favorece o processo de tratamento), além de países que apresentam maior disponibilidade de área para implementação destas, visto que exigem uma grande área (Von Sperling, 2017).

Anaeróbia, facultativa e de maturação são os três principais tipos de lagoas de estabilização, sendo que as duas primeiras têm como enfoque a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) enquanto a de maturação tem como objetivo a remoção de coliformes fecais (Mara, 2003). As lagoas anaeróbias são comumente observadas em tratamentos primários, e em adendo a isso, o fato da remoção da DBO nesse tipo de lagoa ser de 50% a 70%, necessita de um tratamento posterior (Von Sperling, 2017).

Segundo Mara (2003), as lagoas facultativas podem ser aplicadas para os tratamentos primário e secundário de esgotos, onde, no segundo caso, são combinadas com as lagoas anaeróbias (ver Figura 2). Usualmente, apresentam coloração verde escura pela presença de microalgas devido ao processo de fotossíntese.

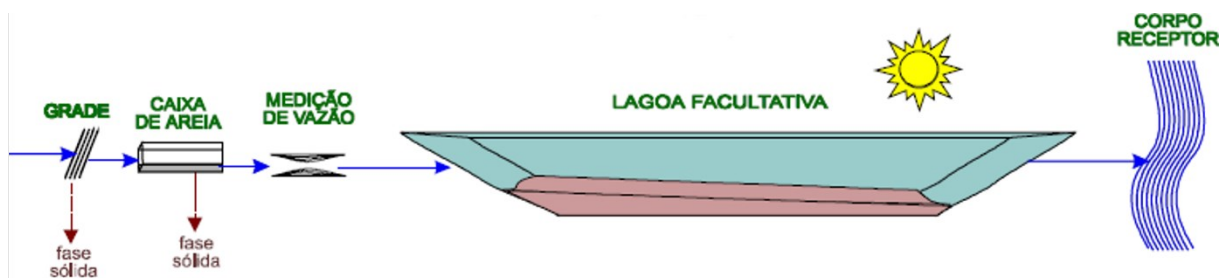
Figura 2 - Fluxograma de tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa única



Fonte: Von Sperling (2014).

A Figura 3 mostra o fluxograma de tratamento de esgoto por lagoa de estabilização por lagoa facultativa única.

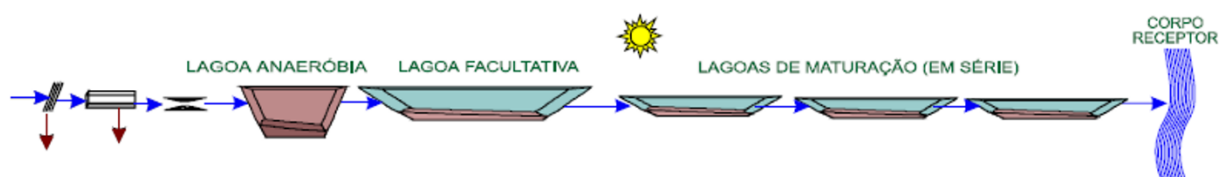
Figura 3 - Fluxograma de tratamento de esgoto com lagoa facultativa única



Fonte: Von Sperling (2014).

Há ainda as lagoas de maturação que, por sua vez, constituem um pós-tratamento (Figura 4), tendo como principal objetivo a remoção de organismos patogênicos, apresentando alta eficiência principalmente na remoção de coliformes fecais (Von Sperling, 2017).

Figura 4 - Fluxograma de tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia, lagoa facultativa única e lagoas de maturação



Fonte: Von Sperling (2014).

Além das variações mencionadas, existem outros sistemas como as lagoas aeradas, de decantação e de polimento (similares às de maturação) (Von Sperling, 2017), portanto, é notório a versatilidade desse tipo de tecnologia, visto que ela se adequa a diversas circunstâncias e apresenta custo relativamente baixo, o que acaba por elevar sua popularidade se comparada a outros tipos de aplicações.

3.2.2. Aspectos legais e de projetos para lagoas de estabilização

Para a implementação de um sistema de lagoas de estabilização para o tratamento de esgotos, é imprescindível a análise dos aspectos legais e de projeto. Enquanto, os aspectos legais englobam as regulamentações ambientais a serem seguidas, os aspectos de projeto são fundamentais para que o sistema funcione de forma adequada. Von Sperling (2017) argumenta que, apesar da operação desse tipo de tecnologia ser considerada simples, há uma série de procedimentos que envolvem a operação e manutenção que devem ser seguidos para que não aconteçam possíveis impactos negativos no funcionamento da ETE e no ambiente.

3.2.2.1. Regulamentações aplicáveis às lagoas de estabilização

A legislação brasileira estabelece diretrizes a serem seguidas para o gerenciamento adequado das águas residuárias em consequência da manutenção dos recursos hídricos disponíveis, visando a sustentabilidade ambiental, proteção da saúde pública e desenvolvimento socioeconômico do país. Mara (2003) pontua que é crucial entender qual será a finalidade do efluente tratado, seja o despejo em um corpo hídrico ou o reúso deste para atividades agrícolas, dado que isso determinará o design da planta da estação bem como a qualidade exigida pós-tratamento.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 que altera alguns padrões e complementa a Resolução CONAMA nº 357/2005 infere os critérios para o lançamento direto das águas residuárias em um corpo d'água:

“Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários

Art. 21. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) ausência de materiais flutuantes” (BRASIL, 2011, Art. 21).

A definição desses critérios contribui para a preservação dos ecossistemas aquáticos e reduz-se ainda o risco de doenças de veiculação hídrica, promovendo a conservação dos recursos naturais, tanto superficiais como subterrâneos.

Outra destinação é a utilização das águas residuárias resultantes do tratamento para reúso, sendo essa uma prática constantemente empregada em regiões que sofrem por problemas de escassez de água. Para a região Nordeste, uma das que mais sofre em decorrência disso, o reúso é uma alternativa relevante. O Art. 2º da Lei nº 11.332/2022 do estado do Rio Grande do Norte diz que:

“A utilização de água de reúso para fins não potáveis tem como fundamentos:

I - apresentar uma alternativa para a oferta de água, aliviando a demanda e reservando a água de melhor qualidade para usos mais nobres;

II - melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos superficiais e aquíferos, reduzindo os impactos ambientais, mediante o controle de despejos de poluentes, por meio do tratamento e do reúso das águas residuárias;

III - promover e ampliar as áreas irrigadas e recuperação de áreas degradadas ou improdutivas;

IV - assegurar o reúso de efluentes tratados como instrumento de gestão hídrica associado com as outras ferramentas para o atendimento sustentável dos usos múltiplos;

V - proporcionar a economia de insumos, promovendo o aumento de produção de alimentos para humanos e animais através da reciclagem de nutrientes de efluentes tratados para fins agropecuários e aquícolas, principalmente na região semiárida;

VI - incentivar a conservação e práticas de reúso” (RIO GRANDE DO NORTE, 2022, Art. 2º).

Segundo Ramos (2004), ações que minimizem os impactos provenientes da implantação das ETE são de extrema relevância para manter a qualidade dos recursos hídricos e disponibilidade futura, facilitando assim um desenvolvimento sustentável.

3.2.2.2. Planejamento e projeto de lagoas de estabilização

O planejamento para a instalação de um sistema de lagoas de estabilização é um processo muito importante, pois além da temperatura, há diversos outros fatores que contribuirão para o sucesso da operação. No entanto, Von Sperling (2017) diz que, em geral, o atendimento a todos esses fatores é uma realidade longínqua, devendo assim, priorizar aqueles mais relevantes para o cenário de estudo.

O terreno é, sem dúvidas, um fator fundamental no momento de escolher a localização de uma lagoa de estabilização, principalmente por esses sistemas exigirem uma grande área disponível e favorável à construção delas. Silva e Queiroz (2023) alertam que este é um ponto muito desafiador pois a alocação de uma lagoa de estabilização gera altos custos para implantação devido à área requerida, podendo ser um fator determinante na escolha da tecnologia.

Corroborando a isso, Chernicharo *et al.* (2018) contabilizou que cerca de 90% das tecnologias de tratamento de esgoto implementadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil compreendiam reatores UASB, lagoas de estabilização e lodos ativados, sendo que dessa porcentagem, estes representam cerca de 81% da capacidade de tratamento instalada. Os autores observaram que os sistemas de lagoa de estabilização eram empregados geralmente em instalações de menor porte, com capacidade de atendimento inferior a 10.000 habitantes, e tal escolha era ocasionada principalmente pela sua operação ser simples e pela maior

disponibilidade de área para sua implantação por serem alocadas em municípios interioranos.

Jordão e Pessoa (2011) classifica o terreno como um fator controlável, ou seja, pode ser gerenciado sem maiores complicações. Outros fatores (relacionados ao solo) que os autores consideram como controláveis dizem respeito à taxa de percolação do terreno, nível do lençol freático, características mecânicas e topográficas do solo e o fator econômico, sendo que o último está não só relacionado ao custo do terreno, como também a questões ambientais, sociais e de saúde pública.

Tendo em vista a existência de fatores controláveis, subteme-se que existem fatores que não há como controlar, sendo necessária a adaptação para que não impactem negativamente o processo. Um exemplo disso é o vento, um fenômeno meteorológico que tem ação sob a lagoa, mas não há como controlá-lo. Isso se torna preocupante caso a ação do vento seja mais significativa que o desejado, pois de acordo com Jordão e Pessoa (2011), apesar de necessário para o funcionamento adequado do sistema, o vento não deve apresentar intensidade alta, caso contrário, poderá vir a ocasionar a formação de ondas na lagoa e consequentemente a erosão dos diques que a envolvem.

Além disso, conhecendo a intensidade, o sistema deve ser alocado estrategicamente para evitar a dispersão de maus odores nas áreas circundantes. Em adendo a isso, Von Sperling (2017) menciona que “a dimensão mais longa da lagoa deve estar na direção dos ventos predominantes”, pois isso facilitaria o escoamento. Há ainda outros fatores que podem ser citados, como as precipitações pluviais, a temperatura do ar e a radiação solar.

Após a avaliação do local, como em qualquer tipo de obra, há os estudos preliminares, envolvendo as análises de impacto da implantação no ambiente e na população, além de outros levantamentos necessários.

O dimensionamento para as lagoas de estabilização ocorre de maneira análoga. Tendo isso em vista, é importante entender como ocorre o dimensionamento desses sistemas, de modo que estes atendam às necessidades de tratamento, contribuindo para uma operação eficiente. As equações para o dimensionamento de lagoas facultativas estão dispostas no Quadro 2.

Quadro 2 - Equações para dimensionamento de lagoas facultativas

Dados	Equação	Variável
Carga afluente de DBO_5 (kg/d)	$L = S_0 \times \text{Vazão afluente}$	L = carga afluente de DBO_5 (kg/d) S_0 = concentração de DBO total afluente (mg/l) Vazão afluente (m^3/d)
Adoção da taxa de aplicação superficial	- Regiões com inverno quente e elevada insolação: $L_s = 240$ a 350 - Regiões com inverno e insolação moderados: $L_s = 120$ a 240 - Regiões com inverno frio e baixa insolação: $L_s = 100$ a 180	L_s = taxa de aplicação superficial (kg DBO_5 /ha.d)
Cálculo da área requerida	$A = \frac{L}{L_s}$	A = área requerida (m^2) L = carga afluente de DBO_5 (kg/d) L_s = taxa de aplicação superficial (kg DBO_5 /ha.d)
Adoção de valor para profundidade	Entre 1,5 e 3,0 m, sendo a faixa de 1,5 a 2,0 m a mais usual	H = profundidade (m)
Cálculo do volume resultante	$V = A \times H$	V = volume resultante (m^3) A = área requerida (m^2) H = profundidade (m)
Cálculo do tempo de detenção resultante	$t = \frac{V}{Q}$	t = tempo de detenção (d) V = volume resultante (m^3) Q = vazão média afluente (m^3/d)
Adoção de um valor para o coeficiente de remoção de DBO (K)	Para mistura completa: - Lagoas primárias (recebendo esgoto bruto): $K (20^\circ C) = 0,30$ a $0,40 d^{-1}$ - Lagoas secundárias (recebendo efluente de uma lagoa ou reator): $K (20^\circ C) = 0,25$ a $0,32 d^{-1}$ Correção do valor de K: $K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$ Para fluxo disperso: $K = 0,091 + 2,05 \times 10^{-4} \cdot L_s$ $d = \frac{1}{\left(\frac{L}{B}\right)}$	K = coeficiente de remoção de DBO K_T = coeficiente de remoção da DBO em uma temperatura do líquido T qualquer (d^{-1}) K_{20} = coeficiente de remoção da DBO na temperatura do líquido de $20^\circ C$ (d^{-1}) θ = coeficiente de temperatura (-) d = número de dispersão (-) L = comprimento da lagoa (m) B = largura da lagoa (m)
Estimativa da DBO solúvel efluente	- Fluxo em pistão: $S = S_0 e^{-K \cdot t}$ - Mistura completa (1 célula): $S = \frac{S_0}{1 + K \cdot t}$ - Mistura completa (células iguais em série): $S = \frac{S_0}{(1 + K \frac{t}{n})^n}$ - Fluxo disperso: $S = S_0 \times \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}}$ $a = \sqrt{1 + 4K \cdot t \cdot d}$	S_0 = concentração de DBO total afluente (mg/l) S = concentração de DBO solúvel efluente (mg/l) K = coeficiente de remoção de DBO (d^{-1}) t = tempo de detenção total (d) n = número de lagoas em série (-) d = número de dispersão (adimensional)

Continua

Quadro 2 – Equações para dimensionamento de lagoas facultativas (continuação)

Dados	Equação	Variável
Estimativa da DBO particulada efluente	SS efluente = 60 a 100 mg/l Considera-se que 1 mg SS/l = 0,3 a 0,4 mgDBO ₅ /l	-
DBO total efluente (mg/l)	$DBO_{total} = DBO_{solúvel} + DBO_{particulada}$	-
Cálculo da eficiência na remoção da DBO (%)	$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$	E = eficiência na remoção da DBO (%) S ₀ = concentração de DBO total afluente (mg/l) S = concentração de DBO solúvel efluente (mg/l)
Dimensões da lagoa	L/B = 2 a 4	L = comprimento (m) B = largura (m)
Área total requerida para todo o sistema	A área total é da ordem de 25% a 33% superior à área útil requerida.	-
Acumulação de lodo	Acumulação anual = Acúmulo de lodo × população Acúmulo de lodo de 0,03 a 0,08 m ³ /hab.ano	-

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2017).

As lagoas de maturação visam melhorar a qualidade do efluente tratado na etapa anterior com foco na redução de organismos patogênicos (Jordão e Pessoa, 2011). O dimensionamento de lagoas de maturação, considerando que este receberá efluentes advindos de um sistema de lagoas facultativas acontece conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Equações para dimensionamento de lagoas de maturação

Dados	Equação	Variável
Volume das lagoas	$V = t \cdot Q$	V = volume das lagoas (m ³) t = tempo de detenção (d) Q = vazão afluente (m ³ /d)
Dimensões das lagoas	Relação L/B: • Em série: 1 a 3 m • Com chicanas: 6 a 12 m Profundidade: • Em série: 0,8 a 1,2 m • Com chicanas: 0,8 a 1,2 m	L = comprimento da lagoa (m) B = largura da lagoa (m)
Área requerida pela lagoa de maturação	Em torno de 25% superior à área líquida determinada.	-

Continua

Quadro 3 – Equações para dimensionamento de lagoas de maturação (continuação)

Dados	Equação	Variável
Nível populacional de coliformes no efluente final	- Fluxo disperso: Número de dispersão: $d = 1/\left(\frac{L}{B}\right)$ - Decaimento bacteriano: $K_b(\text{disperso}) = 0,542 \cdot H^{-1,259} ;$ $K_b = 0,58 \text{ d}^{-1}$ $K_{bT} = K_{b20} \cdot \theta^{(T-20)}$ - Nível populacional de coliformes efluentes da 1ª lagoa da série: $a = \sqrt{1 + 4K \cdot t \cdot d}$ $N = N_o \cdot \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1+a)^2 e^{-a/2d}}$ - Mistura completa: Decaimento bacteriano: $K_b = 0,54 \text{ d}^{-1}$	d = número de dispersão L = comprimento da lagoa (m) B = largura da lagoa (m) K _b = coeficiente de decaimento bacteriano (d ⁻¹) N = nível populacional efluente de coliformes (CF/100mL)
Eficiência de remoção	Eficiência de remoção global: $E = 1 - [(1 - E_1) \times (1 - E_2) \times \dots \times (1 - E_n)]$ Eficiência de remoção na 1ª lagoa da série: $E = \frac{N_o - N}{N_o} \times 100$ Eficiência da série (caso as lagoas apresentem as mesmas dimensões): $E = 1 - (1 - E_1)^n$ Nível populacional de coliformes no efluente final: $N = N_o \cdot (1 - E)$	E = eficiência de remoção global E ₁ = eficiência de remoção na lagoa 1 E ₂ = eficiência de remoção na lagoa 2 E ₃ = eficiência de remoção na lagoa n N = nível populacional efluente de coliformes (CF/100mL)

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2017).

Outros aspectos construtivos dizem respeito aos diques das lagoas, compostos por taludes internos e externos, os quais são construídos com as devidas inclinações, coroamentos, bordas livres, impermeabilização e proteção contra agentes externos. Além disso, o fundo das lagoas deve ser construído de modo a evitar a contaminação do lençol freático e a manutenção do nível da lagoa (Von Sperling, 2017).

3.2.3. Aplicações operacionais de lagoas de estabilização em regiões tropicais

Um processo de tratamento de esgoto eficiente e sustentável tem ligação direta com a execução adequada das práticas operacionais necessárias, práticas essas que dizem respeito tanto ao monitoramento quanto à manutenção das lagoas de estabilização, garantindo que o efluente seja tratado de modo que atenda a todos os parâmetros exigidos, a depender de sua destinação, antes que seja devolvido ao meio ambiente.

Conforme mencionado, o tratamento de esgoto pode ocorrer em diversos níveis e é de suma importância que o tipo de tratamento seja escolhido de forma que se adeque às

necessidades, bem como as etapas sejam conduzidas adequadamente, visto que nelas são removidos os resíduos indesejados, carga orgânica e organismos patogênicos. Tendo como foco manter a eficiência do sistema, é necessário que haja a constante manutenção deste. De acordo com Von Sperling (2017), mesmo que as lagoas de estabilização sejam consideradas um sistema simples de tratamento e que isso faça com que os procedimentos de operação e manutenção também sejam, tal fator não deve ser motivo de descaso para com os procedimentos.

Jordão e Pessoa (2011) inferem a necessidade de que haja uma avaliação de desempenho periódica, podendo esta ser de longo ou curto prazo, no período de um ano ou um mês, respectivamente, sendo analisados, a partir dela, dados provenientes do sistema de tratamento como um todo e, no caso de lagoas em série, cada uma das que realizam o tratamento, onde os dados em questão se referem aos parâmetros como cor, odor, temperatura do ar e do esgoto, pH, penetração da luz solar, sólidos sedimentáveis, intensidade dos ventos, vazão, dentre vários outros aspectos relacionados às características físicas, químicas e biológicas dos efluentes bruto e tratado.

Ao se ter conhecimento de parâmetros relacionados ao funcionamento das lagoas, é possível identificar possíveis falhas operacionais. Von Sperling (2017) cita que alguns dos principais problemas envolvendo lagoas de estabilização dizem respeito a maus odores, proliferação de insetos, crescimento de vegetais, entupimento de tubulações, espuma e flutuantes na superfície da lagoa que impedem a passagem da luz.

Mara (2003) menciona tarefas de manutenção que devem ser realizadas para evitar que as situações citadas aconteçam, são algumas delas: remoção de resíduos e partículas grosseiras no nível preliminar de tratamento, remoção das gramas dos taludes das lagoas, remoção de espuma e macrófitas flutuantes da superfície das lagoas facultativas e de maturação, sólidos acumulados nas entradas e saídas das lagoas e reparação de danos aos taludes.

Outro tópico bastante sensível é a remoção do lodo acumulado no que diz respeito às lagoas anaeróbias e facultativas primárias. Gonçalves (1999) expõe a importância da remoção desse material dando o exemplo das ETEs Valparaíso e Camburi, ambas localizadas no Espírito Santo, nas quais o lodo se acumulou de tal forma que os reatores necessitaram ser esvaziados por algumas semanas. Especificamente no primeiro caso, o talude da primeira lagoa precisou ser rompido para a remoção do lodo. Essa situação evidencia a problemática do acúmulo, visto que pode vir a gerar odores, bem como obstruir tubulações e atrapalhar os níveis de tratamento, atrapalhando a capacidade de tratamento das instalações e, conseqüentemente, afetar negativamente sua eficiência.

Jordão e Pessoa (2011) pontuam, ainda, que os taludes das lagoas devem receber vistorias que visam localizar infiltrações, erosões e imperfeições em suas geometrias, além disso, qualquer área desmatada devem ser mantidas sem vegetação, principalmente aquelas próximas às lagoas. Os dispositivos inerentes ao sistema, também, devem receber vistorias e limpeza, como é o caso dos equipamentos do nível preliminar, por exemplo, evitando a retenção de materiais indesejados. Todos esses cuidados objetivam a conservação do sistema, mantendo o processo e seu funcionamento normal.

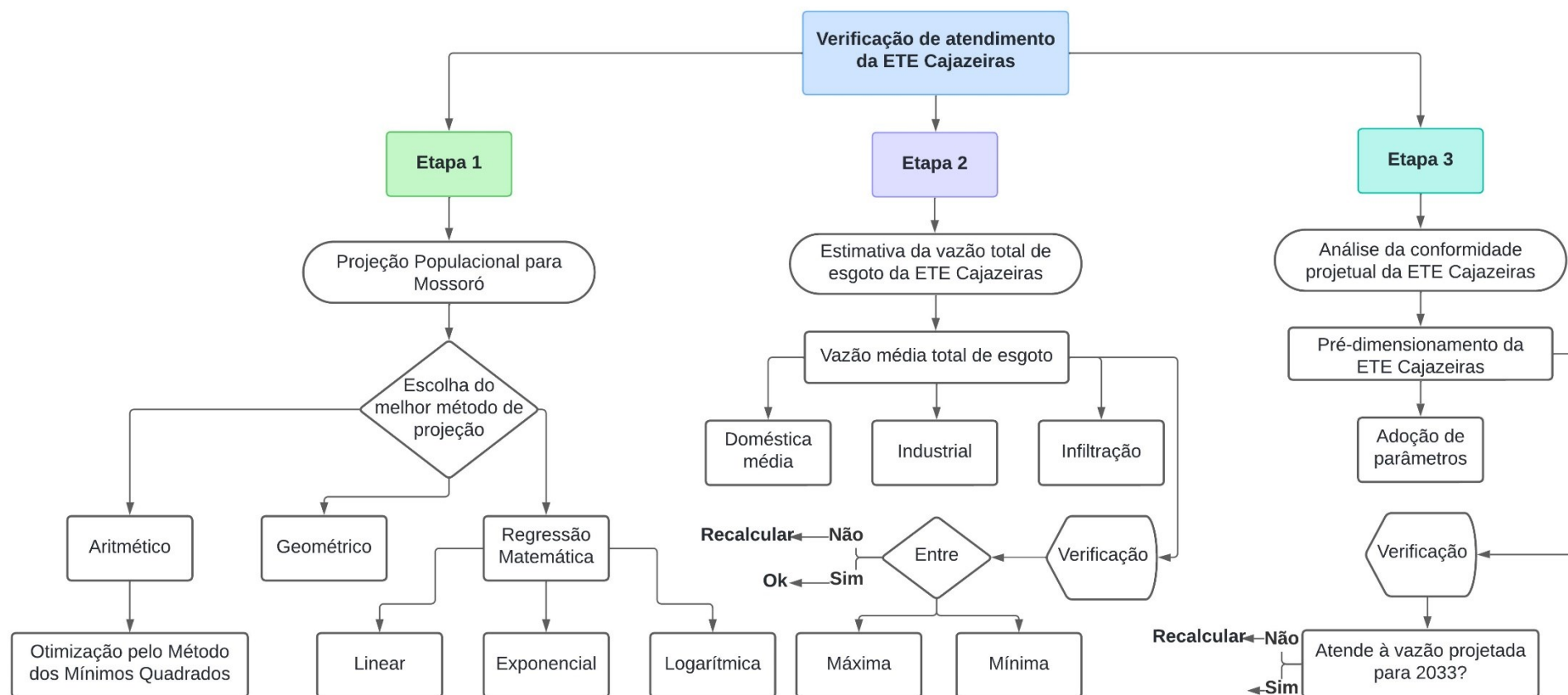
4 METODOLOGIA

4.1. Procedimentos metodológicos

As atividades desenvolvidas neste estudo foram embasadas em revisões bibliográficas e trabalhos que apresentaram objetivos em comum com a temática abordada. Foram utilizados dados reais e estimados com base na literatura e em dados históricos para a obtenção de uma análise mais próxima à realidade, especialmente no que diz respeito à projeção populacional (Etapa 1), estimativa da vazão de esgoto (Etapa 2) e pré-dimensionamento (Etapa 3) da ETE Cajazeiras frente aos cenários estudados.

Diante disso, a Figura 5 apresenta o fluxograma com as etapas de desenvolvimento metodológico desta pesquisa para a obtenção de cenários acerca das condições projetuais da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, localizada no município de Mossoró-RN.

Figura 5 - Fluxograma do procedimento metodológico



Fonte: Autora (2024).

4.2. Caracterização da área de inserção da pesquisa

A pesquisa foi realizada no município de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, pertencente à mesorregião do Oeste Potiguar e à microrregião homônima, estando situado a cerca de 278 km de Natal, capital do estado (PMM, 2021).

De acordo com o IBGE (2022), o município apresenta uma população de 264.577 habitantes e, ainda que não seja o município com maior população em todo o estado, é o maior em termos de extensão territorial, com 2.099,334 km² de área.

O município se encontra inserido na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró e é caracterizado por clima muito quente e semiárido, registrando temperatura média de 27,4 °C (IDEMA, 2008).

Mossoró tem em funcionamento atualmente três estações de esgoto, são elas: ETE Vingt Rosado, ETE Passagem de Pedras e ETE Cajazeiras (Figura 6), sendo a última o foco deste estudo. A Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) é responsável pela prestação de serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário do município através do Contrato de Concessão nº 001/2005, de julho de 2005 (MOSSORÓ; Start, 2019).

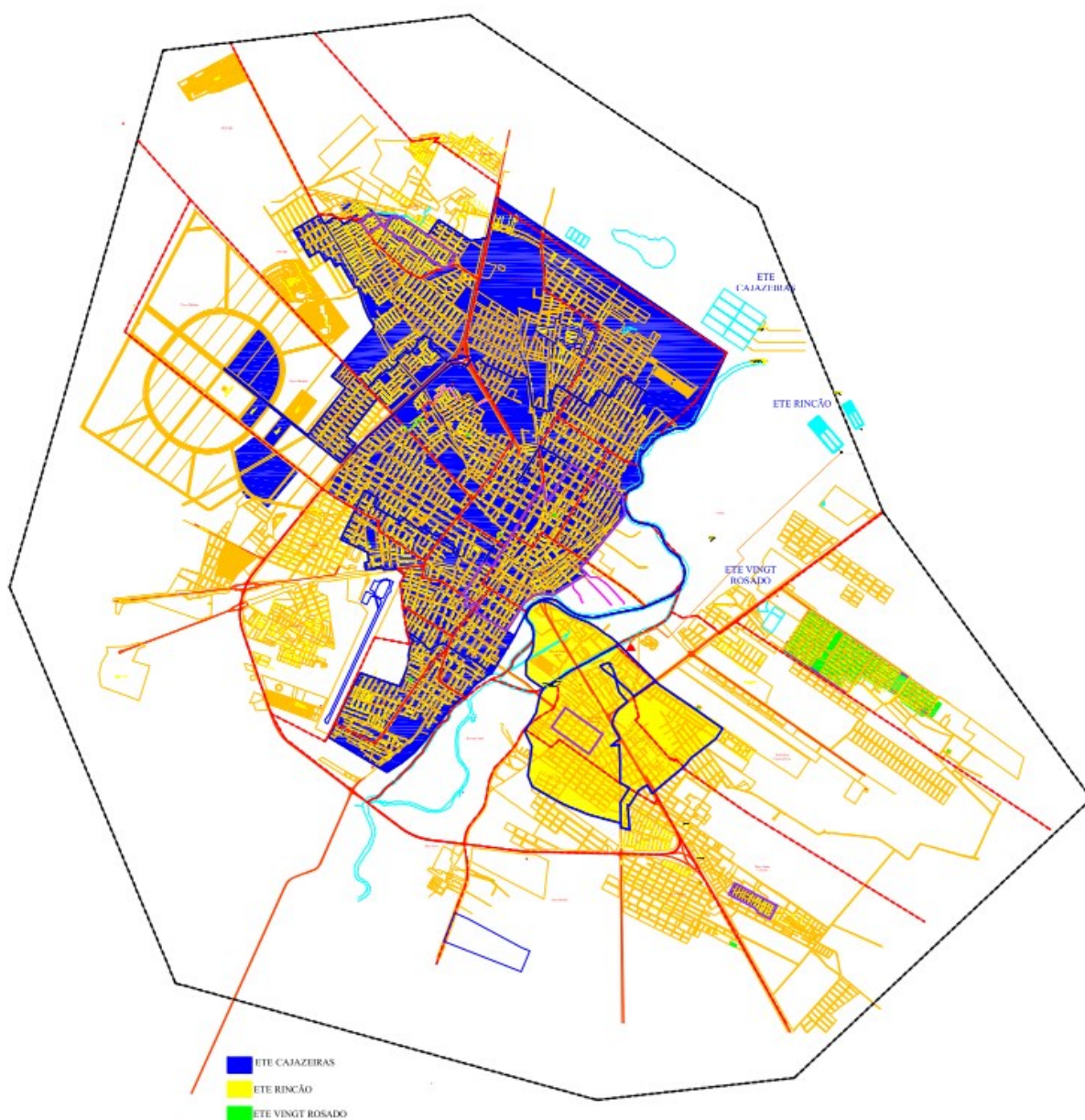
Figura 6 - Localização da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2024).

A ETE Cajazeiras se configura como a maior Estação de Tratamento de Esgoto de Mossoró, tratando cerca de 24,5% do esgoto do município em 2016 (ANA, 2020; CAERN, 2016). A ETE Cajazeiras é responsável por receber o esgoto advindo das bacias 01, 04, 05, 06 e 07 (Figura 7), que englobam os bairros Santa Delmira, Abolição I e II, Nova Betânia, Aeroporto, Doze Anos, Boa Vista, Centro, Alto da Conceição, Barrocas, Paredões, Bom Jardim, Conjunto Márcio Marinho e Santo Antônio, sendo sua destinação final o Rio Apodi-Mossoró (CAERN, 2023).

Figura 7 - Informação de atendimento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN



Fonte: CAERN (2023).

A Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras tem sua operação baseada na tecnologia de lagoas de estabilização, sendo composta por duas etapas de tratamento: preliminar e secundário. Para o tratamento preliminar, utiliza-se o processo de gradeamento, onde há a retenção de materiais de grandes dimensões e de partículas de areia, conforme Figura 8.

Figura 8 - Tratamento preliminar por gradeamento na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN



Fonte: Autora (2023).

Após o processo de remoção de sólidos mais grosseiros, o esgoto bruto é direcionado para a caixa de areia, etapa responsável por remover os sólidos sedimentáveis. A caixa de areia, assim como a etapa de gradeamento, faz parte do tratamento preliminar do esgoto bruto e pode ser observada na Figura 9.

Figura 9 - Tratamento preliminar por caixa de areia na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN



Fonte: Autora (2023).

Após o tratamento preliminar, há a presença da calha *Parshall* (Figura 10), dispositivo responsável pela medição da vazão de entrada de esgoto bruto na ETE.

Figura 10 - Medidor de vazão (Calha *Parshall*) na Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN

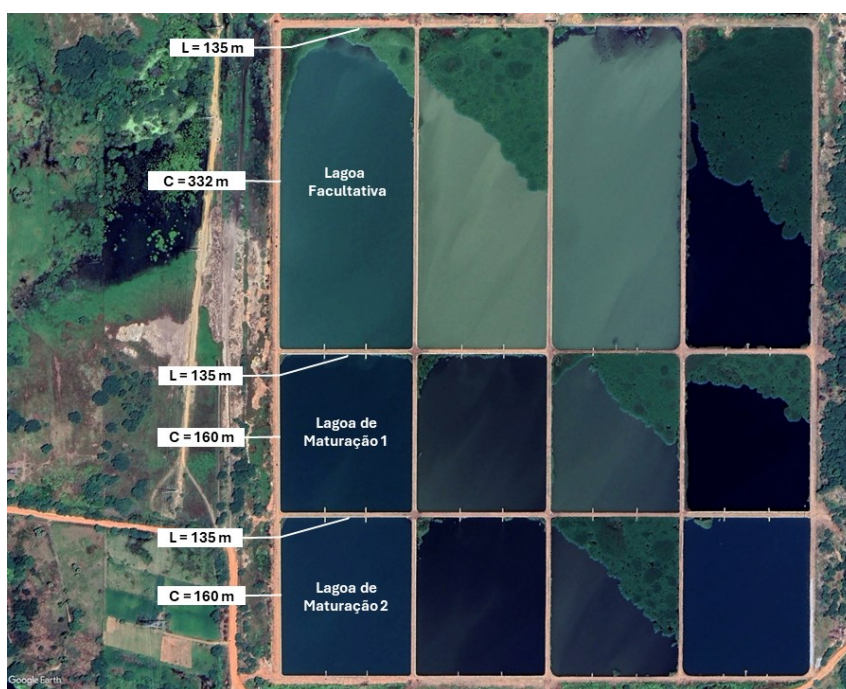


Fonte: Autora (2023).

O tratamento secundário consiste na configuração de quatro módulos que operam em paralelo, compostos por uma lagoa facultativa seguida por duas lagoas de maturação cada

(Figura 11) (Freitas; Rocha; Alves, 2017). Ressalta-se que, conforme Von Sperling (2017), na lagoa facultativa há a diminuição nos níveis de DBO solúvel e particulada do esgoto bruto, sendo a remoção do segundo um processo que requer mais tempo, enquanto nas lagoas de maturação em série o foco é a remoção de organismos patogênicos do esgoto após o tratamento secundário.

Figura 11 - Vista superior da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2024).

As lagoas facultativas apresentam profundidade de 2,0 m, enquanto as lagoas de maturação apresentam profundidade de 1,70 m (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018).

A ETE Cajazeiras foi implementada no município de Mossoró em meados dos anos 70 e teve a última ampliação da capacidade concluída no início de 2014, contando com 12 lagoas de estabilização em funcionamento (JUCERN; CAERN, 2014).

4.3. Estimativa de projeção populacional

A projeção populacional se deu a partir da utilização de dados populacionais dos censos dos últimos cinquenta anos, que abrangem os anos de 1970, 1980, 1991, 2000, 2010 e 2022 em conjunto com métodos de projeção populacional.

Considerou-se um horizonte de projeto que partiu do último dado censitário até 2033. A partir dessa projeção, foi realizada a estimativa de vazão de esgoto direcionada à ETE Cajazeiras. É importante ressaltar que essa estimativa se fez necessária devido à falta de informações oficiais fornecidas pela CAERN, prestadora responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em Mossoró-RN.

Para realizar a projeção da população para anos futuros, foram utilizados modelos matemáticos que se basearam em dados populacionais conhecidos. Estes incluem os métodos aritmético e geométrico. As equações para os métodos aritmético e geométrico estão demonstradas no Quadro 4.

Quadro 4 - Métodos de crescimento da projeção populacional

Método	Descrição	Taxa de crescimento	Equações
Aritmético	Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Método utilizado para estimativas de menor prazo.	$\frac{dP}{dt} = K_a$	$P_{fut} = P_2 + K_a (t - t_2)$
Geométrico	Crescimento populacional em função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo.	$\frac{dP}{dt} = K_g P$	$P_{fut} = P_2 e^{K_g(t - t_2)}$

Fonte: Adaptado de Heller e Pádua (2010).

Outra forma de projeção se deu por meio da otimização do método aritmético com a aplicação do método dos mínimos quadrados por meio da ferramenta *Solver* do *Microsoft Excel*. Para este trabalho, além dos métodos já mencionados, foram aplicadas as regressões matemáticas nas linhas de tendência linear, exponencial e logarítmica (Quadro 5), onde a curva que representará o crescimento será a que apresentará melhor ajuste com relação aos dados populacionais conhecidos.

Quadro 5 - Método de regressão da projeção populacional

Regressão Matemática	Variáveis básicas	Equações
Linear	$b = \frac{\Sigma(t - \bar{t})(P - \bar{P})}{\Sigma(t - \bar{t})^2}$ $a = \bar{P} - b\bar{t}$	$P_{fut} = a + bx$
Exponencial		$P_{fut} = ae^{bx}$
Logarítmica		$P_{fut} = b \ln(x) + a$

t = tempo; $\bar{t}$ = média da amostra do tempo; P = população; $\bar{P}$ = média da amostra da população; P_{fut} = população futura; a = coeficiente angular; b = coeficiente linear; x = ano desejado

Fonte: Adaptado da NBR 12211/1992 (2010).

4.4. Estimativa da vazão total de esgoto

Ao considerar a população determinada por meio da análise de métodos de projeção populacional, e ciente de que a ETE Cajazeiras não engloba toda a comunidade de Mossoró, mas apenas uma fração dela, procedeu-se ao cálculo da proporção da parcela da população que é atendida pela ETE, com a finalidade de se ter uma estimativa da vazão aproximada para o ano de 2033. O propósito da estimativa de vazão é avaliar, na etapa seguinte, se a ETE possui capacidade de suporte até o referido ano.

4.4.1. Cálculo da população atendida pela ETE Cajazeiras em Mossoró-RN

Para estimar a vazão total de esgoto, necessitou-se inicialmente ter conhecimento do percentual de esgoto gerado no município de Mossoró-RN que é destinado à ETE Cajazeiras e para isso, foi necessário estimar a parcela da população que é atendida por esta.

O método utilizado para as estimativas de população atendida baseou-se em três informações que, relacionadas entre si e com o auxílio de informações externas, resultaram no dado objetivado (população total atendida pela ETE Cajazeiras), foram elas: população total, índice de atendimento total de esgotamento sanitário e número de economias cadastradas de esgotamento sanitário.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019; CAERN, 2015), foi estimada a quantidade de economias cadastradas por região de Mossoró-RN, estando estas divididas em Norte, Sul, Leste e Oeste, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Informações de número de economias do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2015

Esgoto Mossoró	Central	Leste	Oeste	Sul	Total Mossoró
Economias cadastradas	16.555	11.870	3.870	9.045	41.340

Fonte: Adaptado de Mossoró; Start (2019); CAERN (2015).

É indicado acima que, no ano de 2015, em Mossoró havia 41.340 economias cadastradas no total. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015), a população atendida pelos serviços de esgotamento sanitário era de 129.456 habitantes, no entanto, em posse destes dados, necessitou-se conhecer a parcela da população atendida apenas pela ETE Cajazeiras para os anos de 2022 - que é o último ano com dados registrados - e em seguida para 2033.

De acordo com o SNIS (2022), o índice de atendimento total da população de Mossoró com serviços de esgotamento sanitário em 2022 era de 61,73% e com base nos dados históricos do SNIS no período de 2001 a 2022 (Tabela 2), foi obtido o índice de atendimento para 2033 por meio do método de regressão matemática.

Tabela 2 - Índice de atendimento total de esgoto de Mossoró-RN no período de 2001 a 2022

Ano	Índice de atendimento (%)
2001	18,93
2002	18,96
2003	18,93
2004	19,48
2005	22,93
2006	23,85
2007	25,83
2008	31,23
2009	34,31
2010	32,42
2011	34,92
2012	40,09
2013	38,83
2014	44,92
2015	44,92
2016	44,71
2017	43,15
2018	46,24
2019	49,72
2020	51,49
2021	51,47
2022	61,73

Fonte: SNIS (2022).

Além disso, para o caso de 2033, como se trata de um ano futuro, da mesma forma que para o índice de atendimento total, foi utilizado o método de regressão matemática para

encontrar a quantidade de economias com base nos dados da série histórica do SNIS no período de 1996 a 2022, conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Número de economias do esgotamento sanitário cadastradas em Mossoró-RN no período de 1996 a 2022

Ano	Nº de economias cadastradas
1996	6.953
1997	7.391
1998	7.600
1999	8.701
2000	9.411
2001	9.974
2002	10.294
2003	10.414
2004	10.759
2005	12.507
2006	13.758
2007	17.196
2008	21.777
2009	24.361
2010	25.742
2011	28.657
2012	33.286
2013	34.537
2014	40.244
2015	40.796
2016	40.571
2017	39.112
2018	42.889
2019	46.130
2020	48.006
2021	48.409
2022	50.412

Fonte: SNIS (2022).

Com a informação do índice de atendimento total de esgoto, número de economias do esgotamento sanitário cadastradas e a população conhecida, foi possível estimar o número de habitantes que é atendido por serviços de esgotamento sanitário com a aplicação do percentual de atendimento nos dados populacionais.

Em seguida, foi estimado o número de habitantes por economia cadastrada, e isso se deu por uma relação entre a quantidade de economias e a população atendida (Equação 1), visto que ambos são dados referentes a Mossoró-RN como um todo.

$$\text{Nº de hab. por economia} = \frac{\text{População atendida}}{\text{Qntd. de economias}} \quad (1)$$

Tendo conhecimento do número de habitantes por economia e do número de economias por região administrativa, estimou-se o número de habitantes atendidos em cada região utilizando a Equação 2:

$$\text{Nº de hab. por região} = \text{Qntd. de economias da região} \times \text{Nº de hab. por economia} \quad (2)$$

É importante frisar que para a análise projetual da Estação de Tratamento de Esgoto, foram estimados dados para 2022 e 2033, com base nos dados disponíveis de 2015, em que há, por exemplo, a separação de economias cadastradas por região administrativa, uma informação de extrema relevância visto que o Rio Apodi-Mossoró tem sua nascente localizada na Serra de Luís Gomes.

De acordo com o curso d'água, a ETE Cajazeiras está localizada na margem esquerda do rio, recebendo contribuição das bacias 1, 2, 3, 5, 6, 8 e 9 (Freitas; Rocha; Alves, 2017). Com isso, na Figura 7 (item 4.2), observa-se que os domicílios atendidos se encontram na margem esquerda e assim, para este estudo, foram consideradas apenas as economias localizadas nas regiões Central, Oeste e Sul, pois a região Leste abrange os bairros atendidos pela ETE Rincão e a ETE Vingt Rosado.

Para encontrar os dados para 2022 e 2033, foram extrapolados os dados referentes a 2015 até o ano desejado. Em primeiro lugar, buscou-se entender a contribuição percentual de cada região para com o número total de economias cadastradas. Com os percentuais calculados, foi aplicada a relação representada na Equação 3 para estimar o número de economias cadastradas por região administrativa, tanto para 2022 quanto para 2033, utilizando a distribuição de 2015 como base.

$$\text{Nº de economias (região)} = \% \text{ de economias (região)} \times \text{Nº total de economias} \quad (3)$$

4.4.1.1. Cálculo da vazão doméstica média

De acordo com Von Sperling (2014), a vazão doméstica de esgotos é aquela advinda de domicílios, atividades comerciais e institucionais. A Equação 4 apresentada por Von Sperling (2014) resulta na vazão doméstica média.

$$Qd_{méd} = \frac{Pop \cdot QPC \cdot R}{86400} \quad (4)$$

Onde:

$Qd_{méd}$ = vazão doméstica média de esgotos (L/s);

QPC = quota *per capita* de água (L/hab.d); e

R = coeficiente de retorno esgoto/água.

A quota ou consumo *per capita* de água foi determinada de acordo com a faixa da população da comunidade escolhida, pois a vazão doméstica é função do consumo de água (Von Sperling, 2014). As quotas *per capita* de água de acordo com as faixas de população são dadas pela Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo *per capita* de água

Porte da comunidade	Faixa da população (hab)	Consumo per capita (QPC) (L/hab.dia)
Povoado rural	< 5.000	90 - 140
Vila	5.000 - 10.000	100 - 160
Pequena localidade	10.000 - 50.000	110 - 180
Cidade média	50.000 - 250.000	120 - 220
Cidade grande	> 250.000	150 - 300

Fonte: Adaptado por Von Sperling (2014).

A princípio, realizou-se o cálculo da vazão doméstica para estimar a vazão advinda dos domicílios considerando a população de atendimento estimada para 2033 e o consumo *per capita* de água de 130 L/hab.dia. Esse valor foi adotado sabendo-se que o consumo *per capita* de água em Mossoró, para o ano de 2022, era de 125,90 L/hab.dia (SNIS, 2022). Contudo, vale destacar que o valor adotado é inferior ao consumo *per capita* de água considerado em projetos para uma cidade de porte grande, como é o caso de Mossoró (ver Tabela 4, item 4.4.1.1.).

4.4.1.2. Cálculo da vazão industrial

Para o cálculo da vazão industrial, tem-se a vazão industrial média, máxima e mínima, todavia, neste estudo não foi admitida a vazão industrial em virtude da não disponibilidade de dados no que diz respeito ao Distrito Industrial de Mossoró. Além disso, seria necessário

realizar um levantamento específico das indústrias em questão (caso haja contribuição de esgoto industrial para com a ETE), bem como dos tipos de produtos que fabricam, a fim de identificar adequadamente o impacto delas na vazão total de esgoto.

4.4.1.3. Cálculo da vazão de infiltração

A vazão de infiltração se refere à parcela de água infiltrada no sistema de esgotamento por presença de tubos defeituosos, conexões, juntas ou paredes de poços de visita. A quantidade de água infiltrada foi calculada pela Equação 5, relacionado à taxa de infiltração com extensão da rede (Von Sperling, 2014).

$$Q_{\text{inf}} = T_i \cdot L_{\text{rede}} \quad (5)$$

Onde:

Q_{inf} = vazão de infiltração (L/s);

T_i = Taxa de infiltração (L/s.km); e

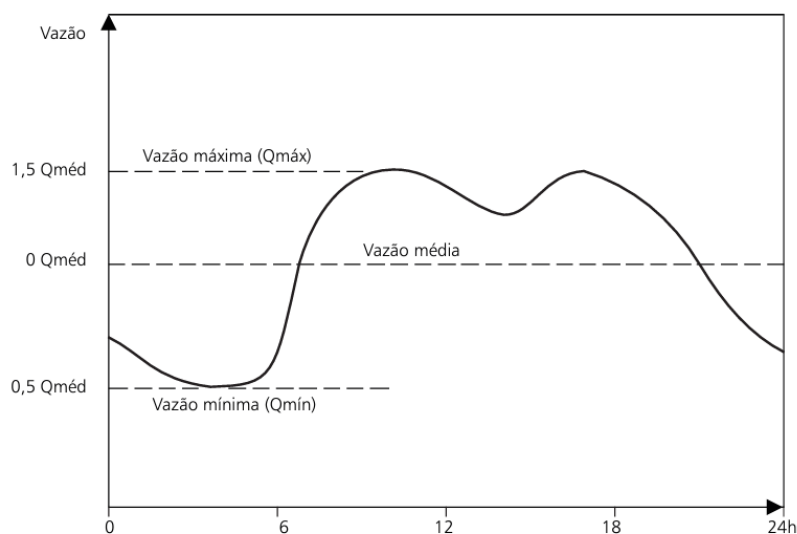
L_{rede} = Extensão da rede de esgoto (km).

A taxa de infiltração depende do nível de água do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizado, podendo estar entre 0,05 e 1,0 L/s.km (ABNT, 1986). Von Sperling (2014) menciona que usualmente os valores se encontram na ordem de 0,3 a 0,5 L/s.km.

4.4.1.4. Cálculo das vazões mínima e máxima

De acordo com Von Sperling (2014), as vazões mínimas e máximas se referem as variações de vazão, podendo ser classificadas como variações horárias, diárias e sazonais, sendo estas variações ao longo do dia, da semana e do ano, respectivamente, conforme Figura 12.

Figura 12 - Variação diária típica de vazão de esgotos sanitários



Fonte: Campos (1999).

As Equações 6 e 7 representam o cálculo das vazões mínima e máxima, respectivamente (Von Sperling, 2014).

$$Q_{\min} = (Qd_{\text{méd}} \cdot K_1 \cdot K_2) + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (6)$$

$$Q_{\max} = (Qd_{\text{méd}} \cdot K_3) + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (7)$$

Onde:

$Q_{\min}$ = vazão mínima (L/s);

$Q_{\max}$ = vazão máxima, em (L/s);

$Qd_{\text{méd}}$ = vazão doméstica média (L/s);

Q_{inf} = vazão de infiltração (L/s);

Q_{ind} = vazão de industrial (L/s);

K_1 = coeficiente do dia de maior consumo;

K_2 = coeficiente da hora de maior consumo; e

K_3 = coeficiente da hora de menor consumo.

Os valores para os coeficientes de variação de vazão média de água K_1 , K_2 e K_3 recorrentemente adotados são da ordem de 1,2, 1,5 e 0,5, respectivamente (Von Sperling, 2014).

4.4.1.5. Cálculo da vazão total

De acordo com Von Sperling (2014), o cálculo da vazão total de esgoto envolve a soma das vazões calculadas para as vazões doméstica, industrial e de infiltração. Esse procedimento resulta na obtenção das vazões totais média, máxima e mínima. Ao adotar a vazão total correspondente à população considerada, torna-se possível avaliar se a ETE atende de maneira satisfatória às condições futuras.

A vazão total é dada pelo somatório das vazões doméstica, industrial e de infiltração, dada pela Equação 8 (Von Sperling, 2014).

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{d}_{\text{méd}}} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (8)$$

Onde:

Q_{tot} = vazão total (L/s);

$Q_{\text{d}_{\text{méd}}}$ = vazão doméstica média (L/s);

Q_{inf} = vazão de infiltração (L/s); e

Q_{ind} = vazão industrial (L/s).

4.5. Análise das conformidades projetuais da Estação de Tratamento de Esgoto

Para verificar a situação projetual da ETE, foi desenvolvido o pré-dimensionamento da ETE Cajazeiras para avaliar a capacidade do projeto atual de acordo com a vazão estimada para 2033 por meio do programa ETEUFERSA com Certificado de Registro de Programa de Computador no INPI BR512023002763-4 (Figura 13), onde é possível realizar o pré-dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto.

Por meio desta ferramenta, foi realizada a análise das conformidades projetuais da ETE Cajazeiras de acordo com a vazão de esgoto em 2022, último ano de registro, comparada à vazão de esgoto estimada para 2033 através do seu dimensionamento, utilizando da inserção de dados de projeto no algoritmo desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023) para a análise de estações de tratamento de esgoto compostas por lagoas de estabilização, anaeróbias e de maturação.

Figura 13 - Painel de entrada de dados do programa ETEUFERSA

Painel de entrada de dados

População [Ⓢ] Vazão afluente [Ⓢ] DBO afluente [Ⓢ] Temperatura °C [Ⓢ] Taxa volumétrica [Ⓢ]

Taxa de acúmulo [Ⓢ] Quantidade de lagoas [Ⓢ] Proporção/1 [Ⓢ] K [Ⓢ] DQO [Ⓢ]

Adote profundidades em m para as lagoas de estabilização:

Facultativa [Ⓢ]

☒ Considere somente Facultativa? [Ⓢ]

☒ Deseja calcular Lagoa de Maturação?

Coliformes fecais [Ⓢ] Ovos de helmintos [Ⓢ] Lagoas em série [Ⓢ]

Profundidade útil [Ⓢ] Comprimento [Ⓢ] Largura [Ⓢ]

Tempo de detenção [Ⓢ] Eficiência típica de remoção de DBO [Ⓢ] Eficiência típica de remoção de ovos [Ⓢ]

Dimensionar

Fonte: ETEUFERSA (2023).

Esta análise é importante pois, com o contínuo crescimento populacional e diante do cenário de quase universalização do saneamento básico no Brasil almejado para 2033, faz-se necessário entender se a Estação de Tratamento está preparada para receber uma demanda maior.

O programa ETEUFERSA realiza o pré-dimensionamento de lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação, podendo ser adequada ao formato desejado. O sistema da ETE de estudo se baseia no tratamento por lagoa facultativa seguida por lagoas de maturação. Vale pontuar que o pré-dimensionamento realizado pelo programa é baseado nas equações e dados dispostos nos Quadros 2 e 3, e para realizar o pré-dimensionamento foram inseridos os dados de entrada expostos no Quadro 6, resultando nos dados de saída compilados em um relatório gerado pelo próprio programa.

Quadro 6 - Dados de entrada e saída do programa ETEUFERSA para pré-dimensionamento dos sistemas de lagoa facultativa e lagoa de maturação

Tipo de sistema	Dados de entrada	Dados de saída
Lagoa Facultativa	População; vazão afluente; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) afluente; Temperatura; Taxa volumétrica; Taxa de acúmulo; Quantidade de lagoas; Proporção/1; K; Demanda Química de Oxigênio (DQO), Taxa de aplicação superficial.	Carga afluente; Área; Área de cada lagoa; Volume; Tempo; KT; S; DBO5 Particulada; DBO efluente.
Lagoa de Maturação	Coliformes fecais; Ovos de helmintos; Lagoas em série; Profundidade útil; Comprimento; Largura; Tempo de detenção; Eficiência típica de remoção de DBO; Eficiência típica de remoção de ovos.	Remoção de coliformes; Volume das lagoas; Área superficial; Área superficial total; Número de dispersão; Coeficiente de decaimento bacteriano; Coeficiente de decaimento bacteriano para temperatura local; Concentração de coliformes efluentes; Eficiência das lagoas; Concentração de coliformes no efluente final; Eficiência de remoção global; Concentração de ovos no efluente do tratamento secundário; Eficiência de remoção global dos ovos; Eficiência global de remoção de helmintos; Unidades log removidas.

Fonte: Adaptado de Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023).

No Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PSMB) (MOSSORÓ; Start, 2019) são apresentadas informações de eficiência de remoção de parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), dados na Tabela 5.

Tabela 5 - Eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, em relação à remoção de DBO, DQO e coliformes termotolerantes

ETE Cajazeiras				
Ano	2012	2013	2014	Jan./2015
DBO (%)	74,0	86,5	88,7	99,8
DQO (%)	53,4	56,5	54,0	23,3
Coliformes termotolerantes (%)	99,99	99,99	99,99	99,99

Fonte: Adaptado de Mossoró; Start (2019); CAERN (2015).

Em complemento a isso, Von Sperling (2014) apresenta a Equação 9 que calcula a eficiência de remoção de um poluente no tratamento, e combinando a informação de eficiência de remoção dada na Tabela 5, foi possível estimar a concentração de DQO no esgoto bruto.

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

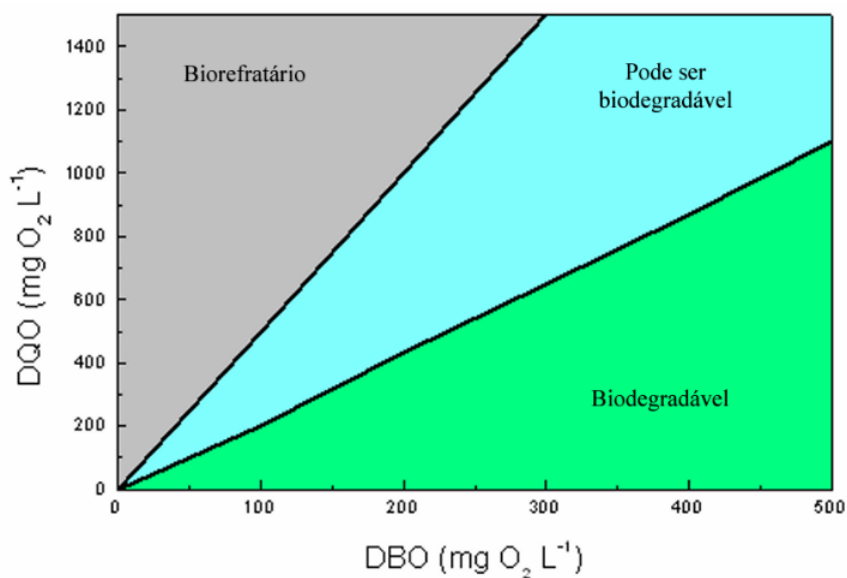
E = eficiência de remoção (%);

C_0 = concentração afluente do poluente (mg/L); e

C_e = concentração efluente do poluente (mg/L).

O cálculo da DBO se deu com base na estimativa de DQO. A relação DQO/DBO deve ser inferior a 2,5 para ser facilmente tratado, podendo sofrer variação de 1,7 a 2,4 para esgotos domésticos brutos (Jordão e Pessoa, 2011; Von Sperling, 2014; Jardim, 2004). Segundo Nunes (2001), é importante compreender a relação desses dois parâmetros relação, visto que é crucial para se conhecer o grau de biodegradabilidade do efluente (Figura 14).

Figura 14 - Valores de DQO e DBO indicativos de tratabilidade de um efluente



Fonte: Jardim (2004).

Adotando o valor da relação DQO/DBO e substituindo na Equação 10, foi possível encontrar o valor de DBO.

$$\frac{S_0 DQO}{S_0 DBO} < 2,5 \quad (10)$$

Onde:

S_0DQO = DQO afluente (mg/L); e

S_0DBO = DBO afluente (mg/L).

Vale salientar que a Equação 9 foi utilizada para estimar outros parâmetros como os níveis populacionais de coliformes fecais (também conhecidos como coliformes termotolerantes) e de ovos helmintos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

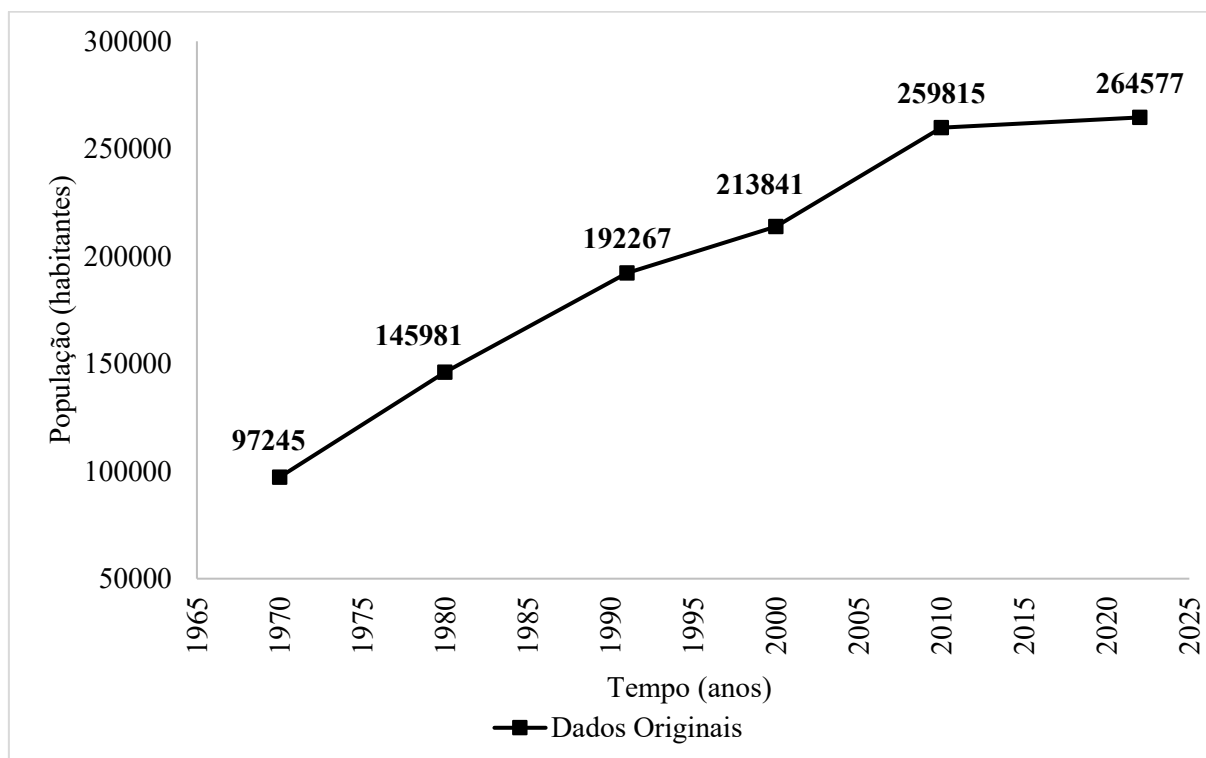
5.1. Projeção populacional

Para a implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto, é extremamente importante ter conhecimento da vazão de projeto a ser atendida, visto que isto irá definir as condições projetuais para que este atendimento aconteça por um determinado período, denominado horizonte de projeto. Também conhecido como alcance de projeto, o horizonte de projeto se trata do desenvolvimento de uma população em um certo período.

Neste trabalho, a estimativa do estudo populacional foi desenvolvida para um horizonte de projeto de 10 anos, período que compreendeu os anos de 2023 a 2033, de maneira a verificar se a ETE conseguirá se manter em operação com a configuração atual para a vazão de projeto estimada em 2033 levando em consideração suas dimensões. Para tal, foram utilizados dados reais na projeção da população do município de Mossoró-RN, considerando os dados censitários de 1970, 1980, 1991, 2000, 2010 e 2022 do IBGE.

Outro ponto importante é que o censo 2022 deveria na verdade ser o censo 2020, porém, a situação de pandemia e questões orçamentárias e logísticas ocasionaram o atraso deste. A Figura 15 demonstra o crescimento da população de acordo com os anos, utilizando dos dados censitários do IBGE.

Figura 15 - População censitária de Mossoró-RN no período de 1970 a 2022



Fonte: Adaptado do IBGE (2024).

A estimativa foi baseada em três métodos: aritmético, geométrico e regressão (linear, logarítmica e exponencial), conforme Figura 16. Dessa forma, foi possível projetar o crescimento para cada um destes métodos até o ano de 2033 e, com base nos resultados obtidos, foi selecionado o método que melhor se ajustou à situação.

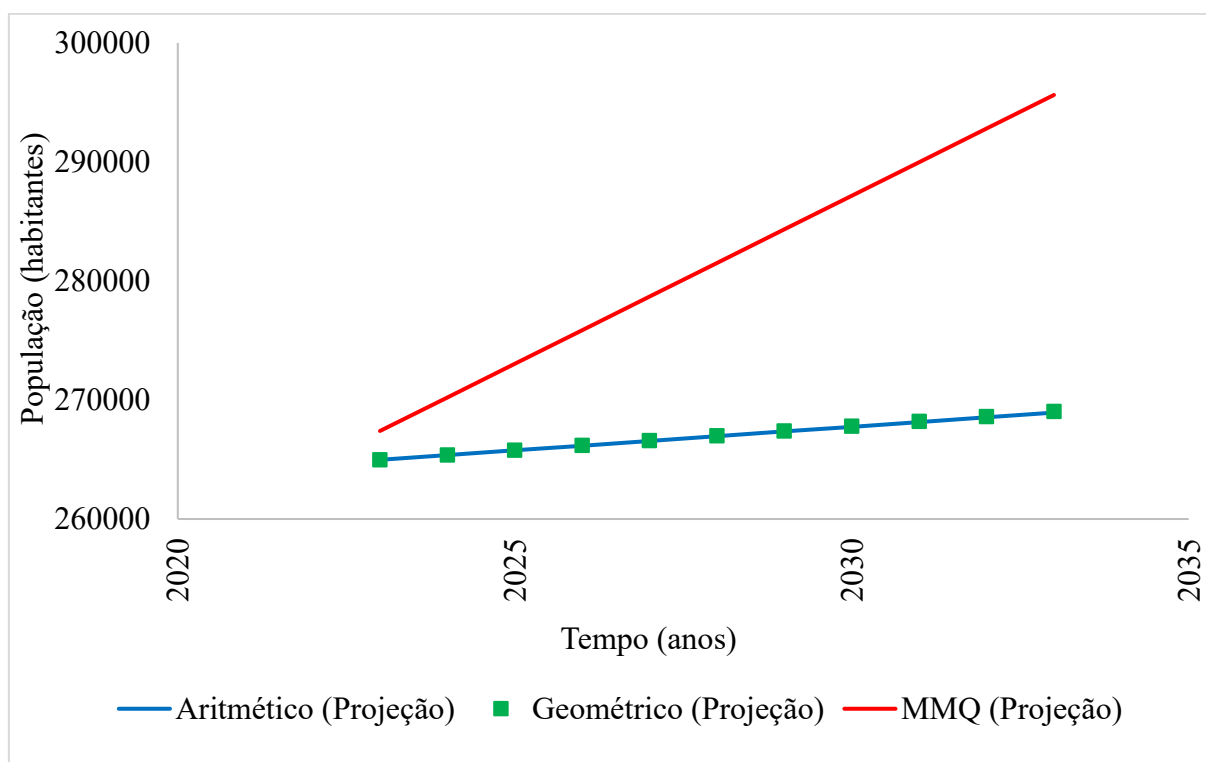
O método aritmético é uma abordagem direta de projeção que pressupõe que o crescimento da população futura se comportará de forma constante durante o período projetado. Para o cálculo, foram considerados os dois últimos anos de registro (2010 e 2022), resultando na população de 268.942 habitantes para 2033.

Em complemento à utilização do método aritmético, utilizou-se também do método dos mínimos quadrados (MMQ) com a finalidade de diminuir as somas quadráticas das diferenças entre os dados reais e os dados estimados, de modo a encontrar a reta de melhor ajuste para os dados reais. Tal método foi aplicado por meio do suplemento *Solver* do *Microsoft Excel*.

Na Figura 16 estão indicadas as estimativas obtidas pela otimização do método aritmético por meio do MMQ (de 2023 a 2033), utilizando os dados dos últimos dois anos com registros, ou seja, 2010 e 2022, resultando em uma população de 295.627 habitantes para 2033. Desta forma, no melhor ajuste do método aritmético, com a otimização da melhor reta, a taxa de crescimento populacional constante é de 2.882,72 hab/ano.

O método geométrico, por sua vez, presume que a taxa de crescimento da população se mantenha constante ao longo de períodos iguais. De maneira análoga ao método aritmético e o método aritmético otimizado pelo MMQ por meio da utilização do *Solver*, foram obtidas estimativas com base nos dados dos dois últimos anos censitários com registro (2010 e 2022), resultando em uma população de 269.019 habitantes para 2033.

Figura 16 - Projeções aritmética, geométrica e otimização da projeção aritmética pelo método dos mínimos quadrados da população de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033



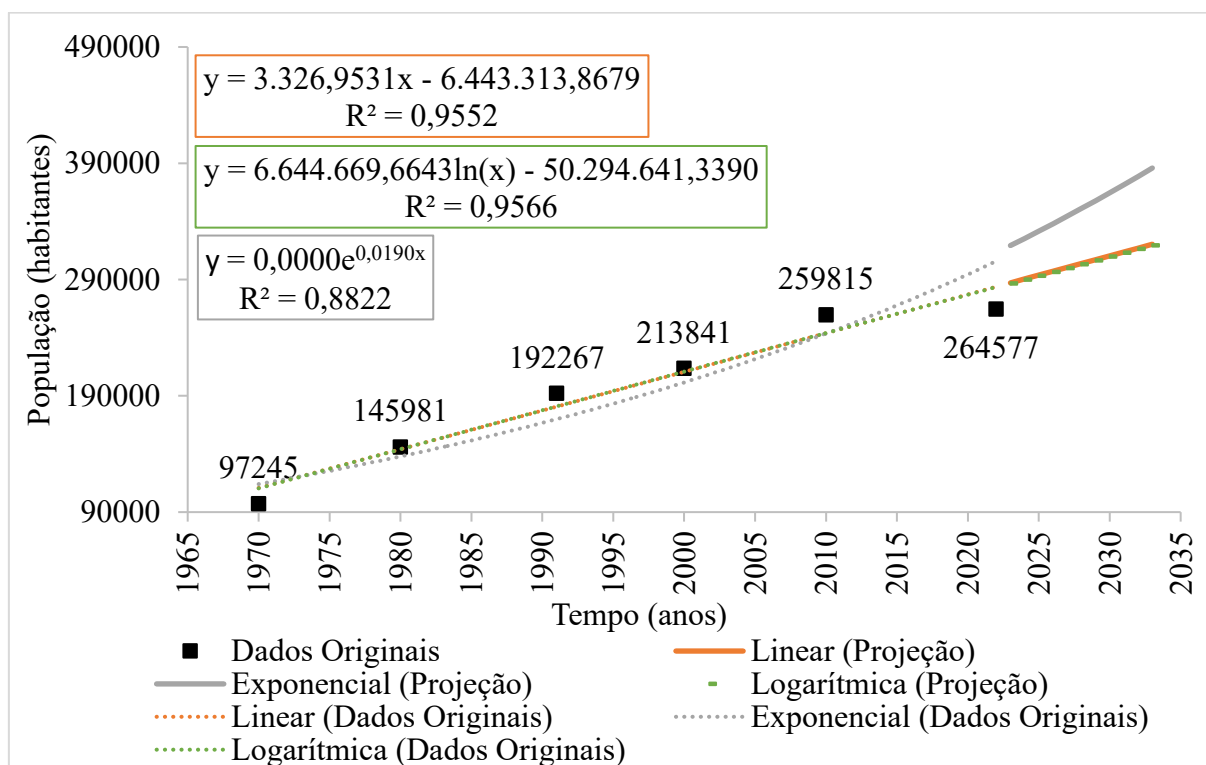
Fonte: Autora (2024).

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que os métodos aritmético e geométrico apresentaram resultados bem aproximados, no entanto, o método geométrico apresentou uma população maior em cerca de 77 habitantes quando comparado ao método aritmético. A diferença entre os dois foi relativamente pequena visto que ambos são utilizados em pequenos intervalos de tempo e o fato de que, para as projeções, foram utilizados os dois últimos dados originais (2010 e 2022), sendo que estes apresentam um espaçamento entre si de 12 anos bem como um crescimento retardado da população.

O método dos mínimos quadrados, que é uma otimização do método aritmético, resultou num valor ainda mais elevado, com cerca de ~25.000 habitantes a mais que os valores obtidos pelos métodos aritmético e geométrico.

Além dos métodos mencionados, foram calculadas pelo método de regressão as tendências das variáveis com base nos dados originais. Para o estudo em questão, foram aplicadas as tendências linear, exponencial e logarítmica. A Figura 17 apresenta as equações e o R^2 de cada tendência para 2033.

Figura 17 - Regressão matemática (linear, logarítmica e exponencial) da população de Mossoró-RN



Conforme a Figura 17, observa-se que as linhas de tendência linear e logarítmica foram as que mais se ajustaram aos dados originais. É possível ver isso não apenas por meio das linhas, como também pelos valores dos R^2 destas, de 0,9552 e 0,9566, respectivamente; e, com isso, conclui-se que ambos os modelos de regressão estão fortemente correlacionados com os dados originais.

Em contrapartida, a linha de tendência exponencial apresentou um crescimento que, comparada aos outros modelos, destoa de forma substancial do crescimento natural dos dados originais, portanto, a regressão exponencial não é o melhor método de representação.

Para a regressão logarítmica, os dados originais apresentam de fato um padrão logarítmico, no entanto, de acordo com o comportamento dos dados históricos, há variações significativas no crescimento, logo, a projeção obtida pela regressão logarítmica pode não

representar os dados da forma mais adequada, pois observam-se picos de crescimentos acelerado e retardado intercalados, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Crescimento da população de Mossoró-RN no intervalo entre os anos censitários

Anos	Crescimento (habitantes)
1970 a 1980	+48.736
1980 a 1991	+46.286
1991 a 2000	+21.574
2000 a 2010	+45.974
2010 a 2022	+4.762

Fonte: Autora (2024).

Pode-se observar a partir da Tabela 6 que, nos dois primeiros intervalos (1970 a 1980; 1980 a 1991), a população cresceu de forma acelerada. No entanto, no intervalo seguinte, que compreende os anos de 1991 a 2000, o crescimento é retardado, diminuindo pela metade. Já no intervalo de 2000 a 2010 há novamente um crescimento acelerado, seguido de um crescimento retardado para o intervalo de 2010 a 2022, demonstrando uma tendência logarítmica.

Tendo em vista o comportamento linear demonstrado na Figura 17, bem como o R^2 com forte correlação aos dados originais, e sabendo que a otimização do método aritmético pelo método dos mínimos quadrados procura fornecer de forma mais precisa a taxa média de crescimento da população, este método é o que melhor se adequa à tendência dos dados. As populações obtidas pelos métodos de projeção utilizados estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos pelos métodos de projeção populacional de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033

Tempo (anos)	Aritmético	Geométrico	MMQ	Linear	Exponencial	Logarítmico
2023	264.974	264.978	267.400	287.112	319.256	286.822
2024	265.371	265.379	270.222	290.439	325.367	290.106
2025	265.768	265.781	273.045	293.766	331.595	293.388
2026	266.164	266.184	275.868	297.093	337.943	296.669
2027	266.561	266.587	278.691	300.420	344.412	299.948
2028	266.958	266.991	281.513	303.747	351.005	303.225
2029	267.355	267.395	284.336	307.074	357.724	306.501
2030	267.752	267.800	287.159	310.401	364.571	309.775
2031	268.149	268.206	289.982	313.728	371.550	313.047
2032	268.545	268.612	292.804	317.055	378.663	316.318
2033	268.942	269.019	295.627	320.382	385.911	319.587

MMQ = método dos mínimos quadrados

Fonte: Autora (2024).

Vale ressaltar que a regressão logarítmica também se mostrou uma boa opção, no entanto, para este método, observa-se que o crescimento da população para o intervalo estudado (2023 a 2033) foi de ~55.000 habitantes, enquanto para a otimização do método aritmético pelo MMQ, no mesmo intervalo, o crescimento da população foi de ~31.000 habitantes.

Não se pode afirmar que a população irá apresentar um dos dois tipos de crescimento. Contudo, de acordo com a série histórica utilizada e a significativa diminuição na taxa de natalidade no Brasil desde a década de 70, o resultado obtido pelo método MMQ foi selecionado nesta pesquisa, visto que o crescimento foi relativamente menor que o obtido pela regressão logarítmica.

Dessa forma, a partir das projeções apresentadas na Tabela 7, de acordo com o melhor método de ajuste, pode-se afirmar que a estimativa da população total de Mossoró, no ano de 2033, será de 295.627 habitantes. Esse valor demonstra um crescimento de aproximadamente 11,74% se comparado à população de 264.577 habitantes em 2022, ano com o último dado de registro.

É importante comparar o valor encontrado com a projeção populacional realizada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019). Nesse documento, para 2033, considerando as zonas urbana e rural, estimou-se uma população de 345.005 habitantes, aproximadamente 16,70% a mais do que o projetado neste estudo.

Essa diferença entre as projeções pode ser explicada pois a tendência de crescimento da população para a época era diferente e foram utilizados para a projeção populacional apenas três dados originais, referentes aos censos de 1991, 2000 e 2010, podendo este ser um dos elos que ocasionou tal disparidade. Além disso, a população estimada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mossoró para o ano de 2022, de 321.366 habitantes (MOSSORÓ; Start, 2019), destoou de forma significativa quando comparada à população resultante do censo 2022, que era de 264.577 habitantes, aproximadamente 21,45% maior, o que sugere que a projeção não foi precisa.

5.2. Estimativa da vazão de esgoto

5.2.1. População de atendimento da ETE Cajazeiras

Tendo conhecimento que em 2015, cerca de 129.456 habitantes eram atendidos pelos serviços de esgotamento sanitário (SNIS, 2015), foi estimado o número de habitantes por

economia cadastrada do esgotamento sanitário (Equação 1, item 4.4.1.), resultando em 3 habitantes por economia cadastrada. Com base nesse valor e nos dados apresentados pela Tabela 1 (item 4.4.1.), foi calculada a estimativa do número de habitantes por região administrativa de Mossoró-RN em 2015, conforme apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2015

Região	Central	Leste	Oeste	Sul
Nº de habitantes	51.842	37.171	12.119	28.324

Fonte: Autora (2024).

Conforme mencionado na metodologia, a região Leste foi desconsiderada dos cálculos, visto que a mesma não contribui com vazão de esgoto à ETE Cajazeiras. Logo, para a ETE Cajazeiras, no ano de 2015, a população atendida era de 92.285 habitantes.

Em 2022, a população total de Mossoró era de 264.577 habitantes (IBGE, 2022). Fazendo a relação entre este dado e o índice de atendimento total de esgotamento sanitário para 2022, de 61,73%, foi estimada a população total de Mossoró atendida por serviços de esgotamento sanitário, resultando em 163.323 habitantes. Vale ressaltar que a série histórica do SNIS disponibiliza o dado de população total atendida bem como o índice de atendimento total para 2022, no entanto, o valor encontrado para a população total atendida neste estudo diferiu em cerca de 10 habitantes do apresentado pelo SNIS.

Sendo assim, fazendo uso da Equação 1 (item 4.4.1.), o número estimado de habitantes por economia cadastrada do esgotamento sanitário para 2022 foi de 3 habitantes. Tendo conhecimento que a população total de Mossoró atendida pelos serviços de esgotamento sanitário em 2022 era de 163.323 habitantes, fez-se necessário encontrar qual parcela deste valor é de fato atendida pela ETE Cajazeiras.

Para isso, com base nos dados apresentados na Tabela 1 (item 4.4.1.), foi realizada uma representação percentual da contribuição de cada região administrativa para com o total de economias cadastradas em 2015. Tal distribuição percentual foi importante para estimar a população por região administrativa tanto para 2022 quanto para 2033, visto que o último ano com informações disponíveis deste registro é 2015.

É importante ressaltar que essas porcentagens podem ter sofrido alterações, no entanto, como não se tem dados mais recentes disponíveis, o cálculo para os anos posteriores (2022 e 2033) foi baseado na distribuição percentual de 2015. A porcentagem de cada região administrativa para 2015 está representada na Tabela 9.

Tabela 9 - Representação percentual de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2015

Região	Central	Leste	Oeste	Sul	Total
Nº de economias cadastradas	16.555	11.870	3.870	9.045	41.340
% de economias cadastradas	40,05	28,71	9,36	21,88	100,00

Fonte: Autora (2024).

Segundo o SNIS (2022), o número de economias cadastradas do esgotamento sanitário era de 50.412 em 2022, logo, aplicando os percentuais das regiões administrativas da Tabela 9 neste valor (utilizando a Equação 3, item 4.4.1.), estimou-se o número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró por região administrativa em 2022, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Estimativa de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2022

Região	Central	Leste	Oeste	Sul	Total
Nº de economias cadastradas	20.188	14.475	4.719	11.030	54.412
% de economias cadastradas	40,05	28,71	9,36	21,88	100,00

Fonte: Autora (2024).

Da mesma forma que para 2015, conhecendo que o número estimado de habitantes por economia cadastrada do esgotamento sanitário para 2022 é de 3 habitantes, e tendo como base a estimativa do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário para 2022 por região administrativa (ver Tabela 10), tem-se o número de habitantes por região administrativa em 2022, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2022

Região	Central	Leste	Oeste	Sul
Nº de habitantes	65.404	46.895	15.289	35.734

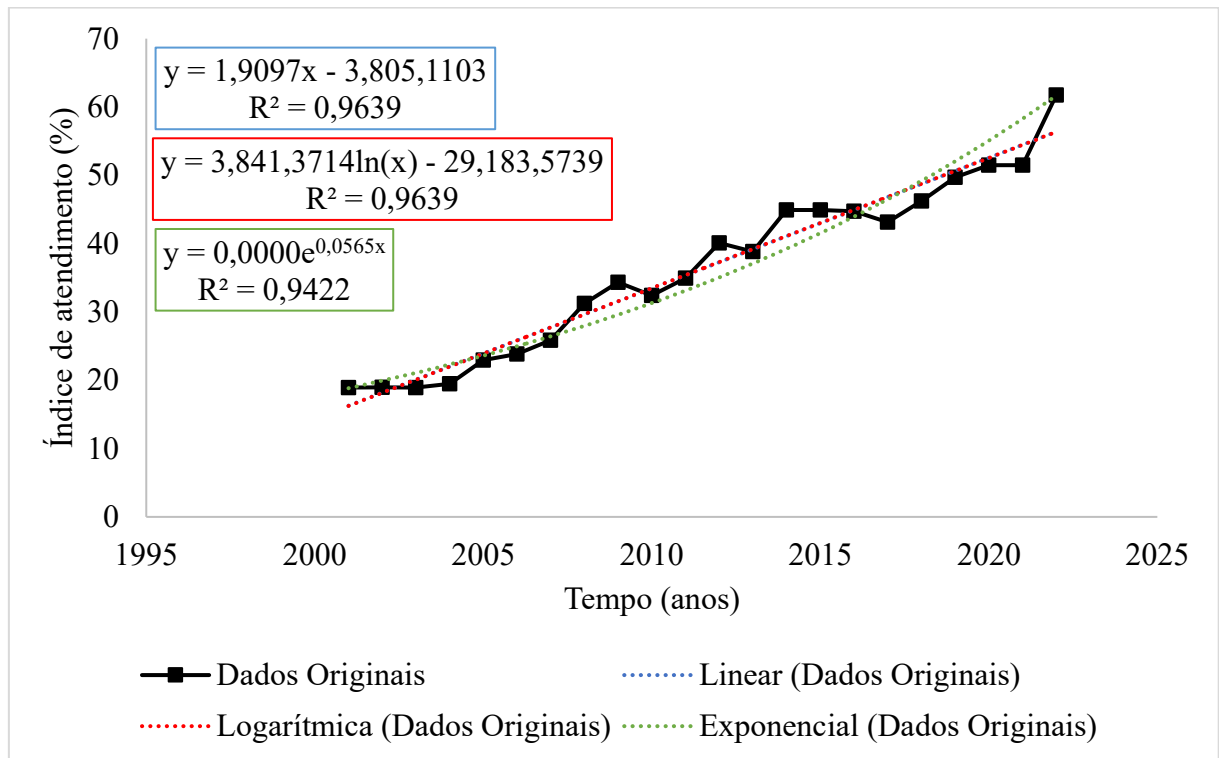
Fonte: Autora (2024).

Portanto, para o ano de 2022, concluiu-se que a população atendida pela ETE Cajazeiras era de 116.428 habitantes, considerando apenas as regiões administrativas Central, Oeste e Sul.

Para 2033, a população total de Mossoró considerada foi obtida por meio da projeção populacional pela otimização do método aritmético pelo método dos mínimos quadrados, resultando em 295.627 habitantes. Como se trata de um ano futuro, dados como índice de atendimento total de esgotamento sanitário e quantidade de economias cadastradas do esgotamento sanitário, também, foram projetados.

Tendo como base os dados presentes na Tabela 2 (item 4.4.1), para o índice de atendimento total, utilizou-se o método de regressão matemática nas tendências linear, exponencial e logarítmica, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Regressão do índice de atendimento total de esgoto de Mossoró-RN



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 18, observa-se que a regressão exponencial não é a melhor escolha, pois apesar de se adequar bem aos dados originais, apresenta o menor R^2 dentre as outras opções. Por outro lado, as tendências linear e logarítmica apresentaram o mesmo R^2 e, desse modo, optou-se por utilizar a regressão linear. A partir disso, foi realizada a projeção do índice de atendimento total de esgotamento sanitário de Mossoró considerando um crescimento linear até 2033, resultando em um índice de atendimento de 77,31%, conforme apresentado na Tabela 12.

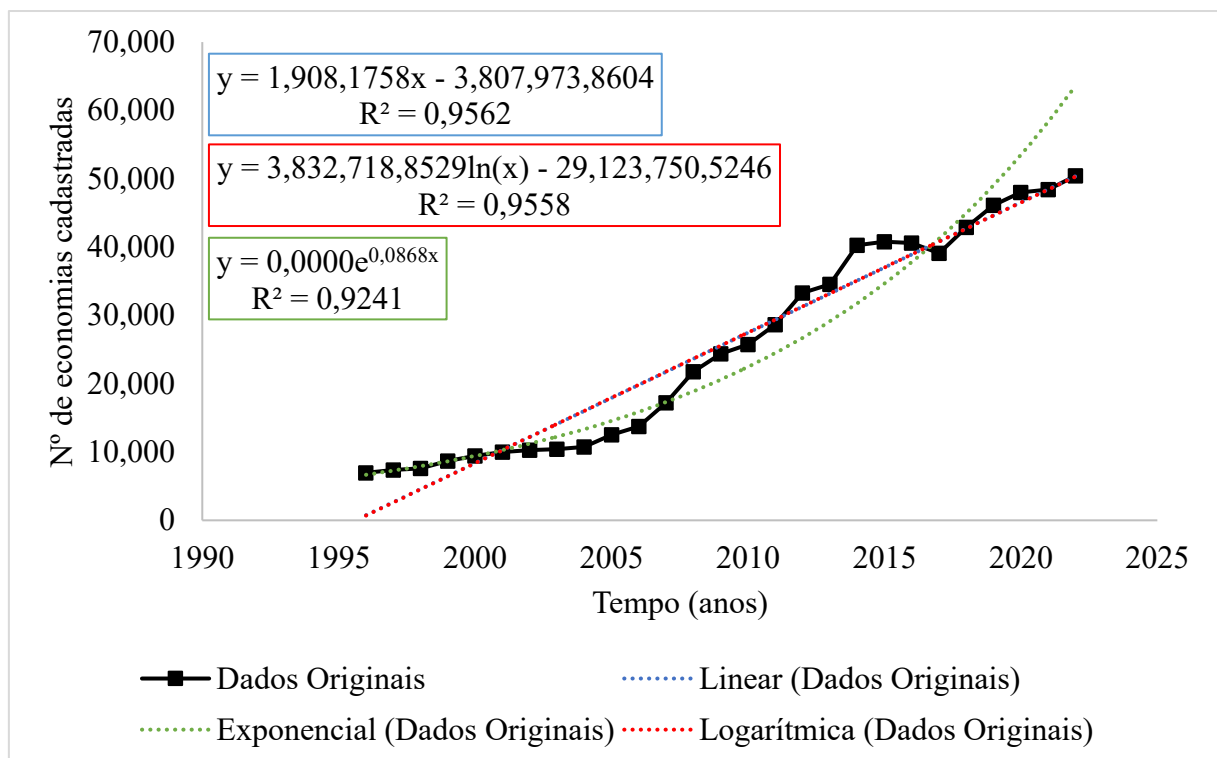
Tabela 12 - Regressão linear do índice de atendimento de esgoto de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033

Ano	Índice de atendimento (%)
2023	58,21
2024	60,12
2025	62,03
2026	63,94
2027	65,85
2028	67,76
2029	69,67
2030	71,58
2031	73,49
2032	75,40
2033	77,31

Fonte: Autora (2024).

Para o número de economias cadastradas do esgotamento sanitário em 2033, também se fez o uso do método de regressão matemática, tendo como base os dados apresentados na Tabela 3 (item 4.4.1), conforme Figura 19.

Figura 19 - Regressão matemática do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN



Fonte: Autora (2024).

A Figura 19 explicita que a regressão exponencial não é a que melhor representa os dados originais, pois apesar de se adequar bem aos dados originais, apresenta o menor R^2 . Para

este caso, a regressão linear se apresenta como melhor representação. Cabe destacar que, apesar da regressão logarítmica estar fortemente correlacionada aos dados originais, a tendência linear é a melhor opção, pois apresenta o maior R^2 .

A partir disso, foi feita a projeção por regressão linear, resultando em uma estimativa de 71.348 economias cadastradas em 2033, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Projeção do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN no período de 2023 a 2033

Ano	Nº de economias cadastradas
2023	52.266
2024	54.174
2025	56.082
2026	57.990
2027	59.898
2028	61.807
2029	63.715
2030	65.623
2031	67.531
2032	69.439
2033	71.348

Fonte: Autora (2024).

Esses dados possibilitaram o cálculo da população atendida pelos serviços de esgotamento sanitário em 2033. Sabendo que a população projetada para 2033 é de 295.627 habitantes e o índice de atendimento projetado é 77,31%, encontrou-se o valor de 228.549 habitantes atendidos. O número de habitantes por economia cadastrada também foi calculado utilizando a Equação 1 (item 4.4.1.), resultando em 3 habitantes para 2033.

Além disso, para extrapolar os valores por região de 2022 para 2033, foi aplicada a relação representada na Equação 3 (item 4.4.1.), onde o percentual de economias cadastradas por região em 2022 é dado na Tabela 14.

Tabela 14 - Estimativa do número de economias cadastradas do esgotamento sanitário de Mossoró-RN por região administrativa em 2033

Região	Central	Leste	Oeste	Sul	Total
Nº de economias cadastradas	28.572	20.486	6.679	15.611	71.348
% de economias cadastradas	40,05	28,71	9,36	21,88	100,00

Fonte: Autora (2024).

Para obter o número de habitantes por região em 2033, foi utilizado o mesmo método de extrapolação de dados com base nas porcentagens apresentadas nas Tabela 9 e 10, e no

número total de economias projetado para 2033 (ver Equação 2, item 4.4.1.), resultando nos valores apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Estimativa do número de habitantes de Mossoró-RN por região administrativa em 2033

Região	Central	Leste	Oeste	Sul
Nº de habitantes	91.525	65.624	21.395	50.006

Fonte: Autora (2024).

Dessa forma, somando o número de habitantes das regiões Central, Oeste e Sul, a estimativa de população total atendida pela ETE Cajazeiras é de 162.926 habitantes para 2033.

Os dados utilizados nas estimativas populacionais bem como os resultados estão expostos no Apêndice A.

5.2.2. Vazão média total de esgoto

Para o cálculo da vazão, como mencionado anteriormente, o consumo *per capita* adotado foi de 130 L/hab.dia. Este é um valor razoável quando se considera que os hábitos de consumo mudam com o tempo e, considerando o aumento da população, este valor pode aumentar. Vale ressaltar que, de acordo com a série histórica do SNIS dos últimos 10 anos, o consumo *per capita* de água para Mossoró apresenta aumentos e diminuições, porém, de 2021 para 2022, houve um aumento considerável de 18%, e para outros anos, a variação se apresentou menor.

Por fim, o coeficiente de retorno de esgoto/água considerado foi de 0,8, valor que, devido a não disponibilidade de dados oficiais, foi adotado de acordo com a NBR 9649 (ABNT, 1986). Desta forma, aplicando a Equação 4 (item 4.4.1.1.), obteve-se uma vazão doméstica média de 196,11 L/s.

Em seguida, realizou-se o cálculo da vazão de infiltração, que é dado pela Equação 5 (item 4.4.1.3.). Segundo o SNIS (2022), a extensão da rede coletora de esgoto em 2022 era de 254,59 km, no entanto, necessitou-se saber a parcela desse valor relativo à ETE Cajazeiras. Para isso, foi feita uma relação com a Tabela 9, considerando apenas as porcentagens relacionadas às regiões Central, Oeste e Sul, desconsiderando novamente a região Leste.

Desta forma, chegou-se num percentual de 71,29%, porcentagem representativa da ETE Cajazeiras que, aplicada à extensão total da rede coletora de esgoto em 2022, corresponde a 181,49 km de rede.

Para a taxa de infiltração, foi adotado o valor de 0,3 L/s.km, que se encontra no intervalo de 0,05 a 1,0 L/s.km definido pela NBR 9649 (ABNT, 1986), bem como no intervalo mencionado por Von Sperling (2014), de 0,3 a 0,5 L/s.km. A partir da taxa de infiltração e da extensão da rede obteve-se uma vazão de infiltração de 54,45 L/s.

Como supracitado, o cálculo da vazão industrial foi desconsiderado devido à falta de dados concretos, portanto, o cálculo da vazão total foi realizado utilizando a Equação 8 (item 4.4.1.5.) e considerando apenas a vazão doméstica média e a vazão de infiltração, atribuindo o valor de 0 à vazão industrial. Desta forma, obtém-se uma vazão média total de 250,56 L/s.

Em adendo a isso, foram calculadas ainda as vazões máxima e mínima totais. Realizando a substituição nas Equações 7 e 6 (item 4.4.1.4.) e fazendo uso dos parâmetros estabelecidos para tais (itens 4.4.1.1. e 4.4.1.4.), obteve-se as vazões máxima e mínima totais de 407,45 L/s e 152,50 L/s, respectivamente. Os valores calculados demonstram extrema valia, visto que a vazão média total deve se encontrar entre o intervalo determinado pela vazão máxima e a vazão mínima (Figura 12, item 4.4.1.4), validando, portanto, o valor de vazão média total obtido.

De acordo com o diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019), a vazão de esgoto recebida pela ETE Cajazeiras em 2019 era de 720 m³/h (ou seja, 200 L/s), o que corrobora com o valor estimado nesta pesquisa.

Foi calculada, também, a vazão de esgoto recebida pela ETE em 2022, utilizando-se dos mesmos parâmetros e equações, exceto pelo valor de população atendida pela ETE. Como estimado anteriormente, para 2022, a população atendida pela ETE é de 116.428 habitantes, resultando numa vazão média total de 194,59 L/s ou 700,52 m³/h.

E, por fim, o valor de vazão de esgoto estimado para 2033 foi de 250,56 L/s ou 902,02 m³/h. Deste modo, levando em conta a população projetada para 2033, é válido que a vazão seja maior que as vazões dos anos anteriores. Os valores calculados estão dispostos na Tabela 16.

Tabela 16 - Vazão total de entrada de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para os anos de 2019, 2022 e 2033

Ano	Vazão total de esgoto (m ³ /h)
2019	720
2022	700,52
2033	902,02

Fonte: Mossoró; Start, (2019); Autora (2024).

O valor de vazão obtido para 2033, quando comparado ao valor de vazão citado no Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019), e o valor estimado para 2022 indica que o aumento populacional influenciou no aumento do consumo de água e naturalmente o aumento na vazão de esgoto. No entanto, é importante entender que o crescimento populacional não é o único fator de influência. A conscientização e os hábitos dos habitantes devem ser explorados para um resultado ainda mais preciso.

Bertocchi e Silva (2023) corroboram a assertiva supracitada visto que, ao estudar uma população universitária do Paraná, concluíram que fatores como acesso à informação, peso da variável financeira, comportamento e influência social, preservação ambiental, condições climáticas e hábitos de consumo são essenciais para entender o comportamento de uma população relativo ao uso da água.

5.3. Verificação de conformidades projetuais da ETE Cajazeiras

5.3.1. Estimativa de parâmetros de dimensionamento para ETE

Para realizar a análise da situação projetual da ETE Cajazeiras, foram comparados para os anos de 2022 e 2033 dados estimados, adotados e reais (no caso de 2022). Essa comparação é justificada por 2022 ser o último ano de registro e 2033 ser o horizonte de projeto. Dos dados obtidos nos cálculos anteriores, foram utilizadas as vazões médias totais de esgoto de ambos os anos.

Visando essa análise, foram inseridos dados no programa ETEUFERSA, sendo que os valores de entrada exigidos pela aplicação para lagoa facultativa estão dispostos no Quadro 6 (item 4.5.). Os parâmetros adotados podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados de entrada para pré-dimensionamento da lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)

Dados	Ano	
Entrada	2022	2033
População (hab)	116.428	162.926
Vazão afluente (m³/dia)	4.203,12	5.412,12
DBO afluente (mg/L)	327,03	327,03
Temperatura (°C)	32	32
Taxa volumétrica (KgDBO/m³dia)	-	-

Continua

Tabela 17 – Dados de entrada para pré-dimensionamento da lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023) (continuação)

Tabela 1: Modelos e Dados (2022) (continuação)		
Dados	Ano	
Entrada	2022	2033
Taxa de acúmulo (m³/hab.ano)	0,03	0,03
Quantidade de lagoas	1	1
Proporção/1	2	2
(Largura/Comprimento)		
K (d)	0,33	0,33
DQO (mg/L)	784,88	784,88
Taxa de aplicação superficial		
(kgDBO/ha.d)	240	240
Profundidade (m)	2,00	2,00

DBO = demanda bioquímica de oxigênio; K = correção de coeficiente de DBO em 1/dia; DQO = demanda química de oxigênio.

Fonte: Autora (2024).

Dados como vazão e população foram estimados nas etapas anteriores, no entanto, para o dado de vazão afluente inserido, o valor estimado foi dividido por 4, considerando que o formato da ETE Cajazeiras é de 4 baterias de lagoas de estabilização e a vazão afluente se divide após o tratamento preliminar. Outros dados foram calculados e adotados por meio de registros disponíveis e equações da literatura, visto a não disponibilidade, para este estudo, de dados oficiais e recentes.

O valor para a DQO foi adotado de acordo com a eficiência de remoção deste parâmetro em 2015, apresentada na Tabela 5 (item 4.5.). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mossoró, a DQO no esgoto tratado em 2015 apresentou valor de 602 mg/L (MOSSORÓ; Start, 2019). Em posse de ambos os dados, foi utilizada a Equação 9 (item 4.5.), obtendo assim a concentração de DQO no esgoto bruto de 784,88 mg/L.

O valor de DQO calculado se encontra na faixa de 200 a 800 mg/L para DQO de esgotos domésticos, conforme abordado por Jordão e Pessoa (2011).

Vale ressaltar que os dados utilizados para o cálculo da DQO foram valores médios, além disso, a eficiência de remoção se mostrou consideravelmente baixa (Tabela 5, item 4.5.) quando relacionada aos dados disponíveis dos anos anteriores, podendo ter sido ocasionada por possíveis falhas no sistema ou manutenção, diminuindo a eficiência do tratamento.

A partir da DQO, o valor de DBO utilizado foi calculado considerando que o esgoto a ser tratado é biodegradável (Figura 14, item 4.5.), sendo mais adequado para lagoas de estabilização. Adotando o valor da relação DQO/DBO de 2,4 (Figura 14, item 4.5.) e substituindo na Equação 10 (item 4.5.), obteve-se um valor de DBO afluente de 327,03 mg/L.

O valor de DBO calculado se encontra na faixa de 100 a 400 mg/L para DBO de esgotos domésticos, conforme abordado por Jordão e Pessoa (2011). Para correção do coeficiente de remoção de DBO, representado por K, foi adotado o valor de $0,33 d^{-1}$.

A temperatura do esgoto no ambiente foi adotada com base no estudo de Araújo (2006), que estimou a temperatura do Rio Mossoró-Apodi em três pontos de medição, apresentando uma variação na faixa de 28 a 29,1 °C. Sabendo que este é o corpo hídrico receptor e que a temperatura ideal para que a atividade biológica aconteça é de 25 a 35 °C (Jordão; Pessoa, 2011), adotou-se a temperatura de 32 °C para o esgoto bruto, considerando que há uma leve diferença de temperatura entre este e o rio.

No programa ETEUFERSA, a taxa volumétrica é adotada apenas no cálculo de lagoas anaeróbias, o que não configura o tipo de lagoa deste estudo, logo, o valor adotado foi 0.

Para a taxa de acúmulo, Von Sperling (2017) cita a faixa de 0,03 a 0,10 m³/hab.ano, sendo valores mais próximos do limite inferior referentes a regiões de clima quente. Desta forma, estando o município de Mossoró-RN localizado em uma região com clima muito quente e semiárido, adotou-se o valor de 0,03 m³/hab.ano. Do mesmo modo, para a taxa de aplicação superficial foi utilizada o valor de 240 kgDBO5/ha.d, dentro da faixa de 240 a 350 KgDBO5ha.dia para regiões com inverno quente e elevada insolação.

Com relação ao aspecto construtivo, a lagoa facultativa da ETE Cajazeiras apresenta profundidade de 2,0 m. Foi considerada, também, a proporção de 2 entre largura e comprimento. A lagoa, no entanto, apresenta largura e comprimento de 133,80 m e 338,30 m, respectivamente (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018).

As dimensões das lagoas facultativas foram ainda verificadas via *Google Earth* (Figura 11, item 4.2.) se mostrando significativamente próximas ao apresentado anteriormente.

Do mesmo modo, foram calculados e adotados dados para a lagoa de maturação, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Dados de entrada para pré-dimensionamento das lagoas de maturação da Estação de Tratamento Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)

Dados de entrada		
Entrada	2022	2033
Coliformes fecais (CF/mL)	4.900.000	4.900.000
Ovos helmintos (ovos/L)	100	100

Continua

Tabela 18 – Dados de entrada para pré-dimensionamento da lagoa de maturação da Estação de Tratamento Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, no programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023) (continuação)

Dados de entrada		
Entrada	2022	2033
Lagoas em série	2	2
Profundidade útil (m)	1,70	1,70
Comprimento (m)	165,30	165,30
Largura (m)	132,50	132,50
Tempo de detenção (d)	5	5
Eficiência típica de remoção de DBO (%)	99,99	99,99
Eficiência típica de remoção de ovos (%)	99,97	99,97

CF = coliformes fecais; DBO = demanda bioquímica de oxigênio

Fonte: Autora (2024).

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB) (MOSSORÓ; Start, 2019), o nível populacional de coliformes fecais no esgoto tratado em 2015 era de 490 CF/mL. Em complemento a isso, de acordo com a Tabela 15, a remoção foi de 99,99%, portanto, fazendo o uso da Equação 9, tem-se o valor de 4.900.000 CF/mL.

Para ovos helmintos, segundo Von Sperling (2014), no esgoto bruto, a concentração de ovos helmintos se encontra na faixa de 10^1 a 10^3 ovos/L, logo, foi adotado o valor de 100 ovos/L.

Já para os aspectos construtivos, foram consideradas 2 lagoas de maturação em série, o que configura o sistema da ETE Cajazeiras (juntamente à lagoa facultativa). A profundidade útil, o comprimento e a largura são de aproximadamente 1,70 m, 132,50 m e 165,30 m (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018). Cabe destacar que o comprimento e a largura foram, também, verificados via *Google Earth* (Figura 11, item 4.2.), corroborando com estas dimensões.

Para a eficiência típica de remoção de DBO, foi adotada a porcentagem dada na Tabela 5 (item 4.5.), enquanto para a eficiência típica de remoção de ovos de helmintos foi adotado o valor de 99,97% (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018).

Por fim, o tempo de detenção hidráulico adotado foi de 5 dias, utilizado por Medeiros (2018). Vale salientar que vários dos parâmetros exigidos para o funcionamento da aplicação foram adotados com base na literatura e estudos devido à ausência de informações oficiais relacionadas ao projeto da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN.

5.3.2. Resultados do pré-dimensionamento

Os parâmetros obtidos por meio do item 5.3.1. foram inseridos no programa de Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023), resultando em dados de saída para cada um dos sistemas em um relatório para cada ano de estudo (2022 e 2033). A Tabela 19 apresenta os resultados para a lagoa facultativa.

Tabela 19 - Dados de saída para a lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, anos 2022 e 2033, por meio do programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)

Dados de saída		
Saída	2022	2033
Carga afluyente à lagoa facultativa (kgDBO/d)	1.374,55	1.769,92
Área requerida (ha)	5,7 ha	7,4
Área individual para cada lagoa facultativa (m ²)	57.000	74.000
Volume resultante da lagoa facultativa (m ³)	114.000	148.000
Tempo de detenção resultante (d)	27,12	27,35
Correção para temperatura de 23 °C (d ⁻¹)	0,59	0,59
Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	19	19
Estimativa da DBO particulada efluente (mgDBO5/L)	28	28
DBO total efluente (mg/L)	47	47

DBO = demanda bioquímica de oxigênio

Fonte: Autora (2024).

Analisando os dados de saída para a lagoa facultativa de ambos os anos, há diferenças notórias. Para o período de 10 anos que separam o marco temporal deste estudo, a carga afluyente teve um aumento de aproximadamente 28,7%. Além disso, a área requerida, a área individual para cada lagoa facultativa e o volume resultante da lagoa facultativa apresentaram aumento de cerca de 29,8%.

Por outro lado, observa-se que alguns dados não sofreram alterações, uma vez que alguns parâmetros foram aplicados de forma semelhante para ambos os anos (Tabela 17), visto que foram valores estimados. Os dados de saída que apresentaram diferenças de 2022 para 2033 expõem a influência da diferença populacional e a consequente diferença na vazão afluyente de esgoto nos resultados.

Como mencionado, a ETE Cajazeiras consiste em um sistema com quatro baterias formadas por uma lagoa facultativa seguida de duas lagoas de maturação, logo, o pré-dimensionamento resultante para a lagoa de maturação está ilustrado na Tabela 20.

Tabela 20 - Dados de saída para as lagoas de maturação da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida em Mossoró-RN, anos 2022 e 2033, por meio do programa desenvolvido por Ribeiro, Medeiros e Guedes (2023)

Dados de saída		
Saída	2022	2033
Remoção de coliformes (CF/100mL)	490	490
Volume das lagoas (m ³)	10.507,8	13.530,3
Área superficial (m ²)	6.181	7.959
Área superficial total (m ²)	12.362	15.918
Número de dispersão	0,80	0,80
Coefficiente de decaimento bacteriano (d ⁻¹)	0,28	0,28
Coefficiente de decaimento bacteriano para temperatura local (d ⁻¹)	0,63	0,63
Nível populacional de coliformes efluentes (CF/100mL)	0	0
Eficiência das lagoas (%)	100	100
Nível populacional de coliformes no efluente final	0	0
Eficiência de remoção global (%)	100	100
Nível populacional de ovos no efluente pós-tratamento secundário (ovos/L)	0,03	0,03
Eficiência de remoção global dos ovos (%)	100	100
Eficiência global de remoção de helmintos (%)	99,99	99,99
Unidades log removidas	4.1	4.1

CF = coliformes fecais

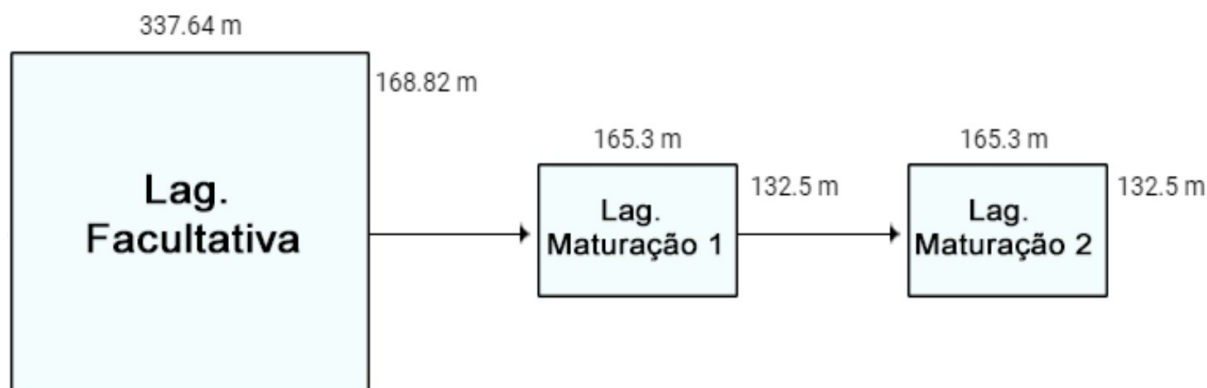
Fonte: Autora (2024).

Assim como os resultados obtidos para a lagoa facultativa, alguns dos dados de saída para a lagoa de maturação apresentaram diferenças, como foi o caso do volume das lagoas. Foi observado um aumento de 28,75% no volume, de 28,76% na área superficial e de 28,76% na área superficial total, no período de 10 anos; enquanto os outros dados obtidos se mostraram iguais para ambos os anos.

Este aumento pode ser relacionado ao crescimento populacional projetado de 2022 para 2033 e o consequente aumento da vazão. Em contrapartida, do mesmo modo que para a lagoa facultativa alguns dados obtidos foram iguais mesmo com a diferença de anos, para as lagoas de maturação não foi diferente, visto que também foram utilizados dados iguais para ambos os anos.

O programa ETEUFERSA, além de um resumo do pré-dimensionamento, disponibiliza o *layout* da ETE de acordo com os dados inseridos. Com isso, é possível entender a situação projetual da ETE Cajazeiras frente a um cenário recente e um cenário futuro com uma população maior. Na Figura 20 é apresentado o *layout* gerado para o ano de 2022.

Figura 20 - *Layout* do pré-dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para 2022



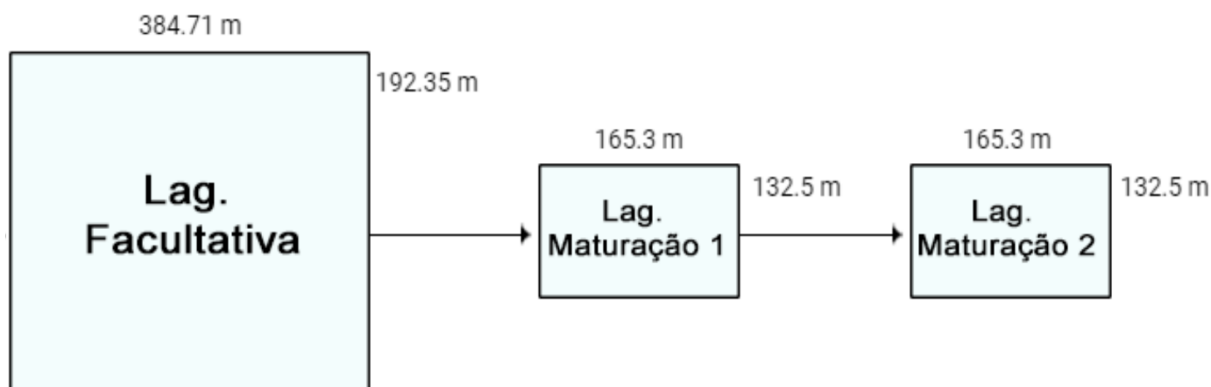
Fonte: Autora (2024).

Como citado, as lagoas de maturação da ETE Cajazeiras apresentam aproximadamente 165,30 m de comprimento e 132,50 m de largura (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018). Com os dados inseridos e com as dimensões reais das lagoas, a eficiência de remoção se manteve em 100%, o que demonstra um bom cenário com um sistema de lagoas de maturação eficiente.

As lagoas facultativas da ETE Cajazeiras apresentam 338,30 m de comprimento e 133,80 m de largura (CAERN, 2008 apud Medeiros, 2018) e ao observar a Figura 20, a lagoa facultativa dimensionada para 2022 apresenta largura estimada superior à largura real. Este é um forte indicativo de que, na época, a ETE Cajazeiras estaria operando em seu limite há algum tempo, visto que além da largura real ter sido ultrapassada, o comprimento estimado se apresentava muito próximo ao comprimento real.

O ano de 2033 é importante devido às metas de quase universalização propostas pela atualização do Marco Legal do Saneamento Básico, logo, é crucial verificar a compatibilidade da ETE em atender à população para esse ano, analisando a necessidade de expansão das instalações e evitando um possível colapso do sistema. Na Figura 21 é apresentado o *layout* gerado para o ano de 2033, tendo em vista o índice de atendimento de 77,31% estimado.

Figura 21 - *Layout* do pré-dimensionamento da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras, inserida no município de Mossoró-RN, para 2033



Fonte: Autora (2024).

As dimensões obtidas para as lagoas de maturação se mostraram iguais no *layout* gerado para ambos os anos, visto que dados como largura e comprimento foram adotados na entrada de dados no programa ETEUFERSA (Tabela 18), conforme solicitado pelo mesmo, e para isso, utilizou-se das dimensões reais, de acordo com dados da CAERN (2008 apud Medeiros, 2018).

Com a inserção destes e dos demais dados, a eficiência de remoção se manteve em 100%. Para a lagoa facultativa, ambas as dimensões se mostraram superiores às dimensões reais, o que indica que a ETE Cajazeiras, com as dimensões de projeto atuais, seria incapaz de atender a demanda estimada para 2033.

Todo os dados de entrada e de saída, bem como os *layouts* gerados pelo programa ETEUFERSA estão expostos nos Apêndices B e C.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto no trabalho e com a interpretação dos resultados obtidos pelas análises, fez-se possível estimar a situação atual e futura da Estação de Tratamento de Esgoto Cajazeiras no que diz respeito às conformidades de projeto.

A estimativa de população para 2033 indicou um crescimento de cerca de 11,72% do último dado histórico de população registrado em 2022. Quando se compara a estimativa obtida neste estudo com a população estimada para 2033 pelo Plano Municipal de Saneamento Básico de Mossoró (PMSB), há uma diferença significativa.

Para a estimativa do PMSB foram utilizados apenas três dados históricos podendo este fato estar relacionado à disparidade das projeções encontradas neste estudo para com a estimada pelo plano. Além disso, há ainda os fatores relacionados ao comportamento da população, logo, a estimativa deste estudo, por utilizar uma maior variabilidade de dados, incluindo mais recentes, pode implicar em um resultado mais preciso.

Vale ressaltar que, como observado anteriormente, de acordo com a série histórica, a população de Mossoró apresenta picos de crescimento acelerado intercalados com crescimento retardado, e com o passar dos anos, a população tem de fato crescido a um ritmo mais lento, porém, atrelado a isso, há o aumento no número de economias de esgotamento sanitário e consequentemente a vazão de esgoto deve aumentar, devendo ser avaliada a necessidade de ampliação da ETE para que as metas de universalização sejam alcançadas.

A respeito da estimativa de vazão média de esgoto total para 2033, verificou-se que há coerência no aumento da vazão, pois o cálculo levou em conta a população estimada para o mesmo ano. Além disso, o valor obtido se mostrou superior ao valor de vazão indicado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mossoró para 2019 e ao valor estimado neste estudo para 2022. Em adendo a isso, a vazão média total de esgoto se encontra entre as vazões máxima e mínima totais, validando dessa forma o valor encontrado.

No que diz respeito à conformidade projetual da ETE Cajazeiras para 2033 quanto à população futura e consequente aumento na vazão de esgoto, concluiu-se que não é possível atender a demanda futura estimada, levando em consideração as condições de contorno definidas neste estudo, visto que as dimensões atuais da Estação de Tratamento de Esgoto se mostraram inferiores ao dimensionado pelo programa ETEUFERSA.

Torna-se relevante entender que para atingir a meta de quase universalização para o esgotamento sanitário no que diz respeito ao aumento do índice de atendimento, são necessários

investimentos direcionados e constantes visto que o crescimento deste parâmetro não é linear, sendo dependente destes esforços.

Diante desse cenário, é preocupante o fato de que o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Mossoró tenha sido elaborado há 5 anos e não tenha sido atualizado até então, podendo tornar invisíveis necessidades relacionadas aos serviços de saneamento que possam vir a aparecer ao decorrer dos anos, dificultando dessa forma a gestão. Deste modo, é de suma importância que haja a atualização do PMSB, pois além de ser um instrumento importante para que haja um direcionamento estratégico quanto ao alcance das metas de atendimento, é um documento que fornece características importantes acerca da infraestrutura existente, da população e dos desafios a serem enfrentados para a melhoria dos serviços de saneamento básico.

O programa utilizado na etapa do pré-dimensionamento da ETE Cajazeiras foi eficiente, visto sua praticidade, exigindo apenas a inserção dos dados estimados e adotados, e com isso, gerando resultados como relatórios e *layouts* de forma ágil e prática.

Sugere-se ainda um estudo sobre o Distrito Industrial de Mossoró e sua contribuição para com a ETE Cajazeiras (se houver), visto que não se tem muitas informações acerca de tal e isto poderia viabilizar resultados mais precisos.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere-se a análise considerando a eficiência da ETE Cajazeiras como um todo, relacionando as conformidades projetuais e o monitoramento quanto aos padrões de lançamento exigidos, de modo a avaliar seu estado de funcionamento.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas - ANA. **Atlas Esgotos:** Atualização da Base de Dados de Estações de Tratamento de Esgotos no Brasil. Brasília: ANA, 2020. 44 p.: il. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>. Acesso em: 02 dez. 2023.
- Agência Nacional de Águas – ANA. **Atlas Esgotos:** Sistema Existente da ETE Cajazeiras. Brasília, ANA, 2020. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Rio_Grande_do_Norte/Sistema_Atual/Mossoró.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.
- ANDRADE, V. S. **Sistema computacional para pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgotos domésticos para municípios de pequeno e médio porte.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-Ver%C3%B4nica-Silveira-de-Andrade-Assinado.pdf>.
- ARAÚJO, V. S.; ARAUJO, A. L. C.; SANTOS, J. P. **Avaliação da qualidade das águas do rio Mossoró - RN.** In: I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica (CONNEPI), Natal, Rio Grande do Norte, 2006. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/428>.
- Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Norte. **Lei nº 11.332, de 30 de dezembro de 2022.** Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Rio Grande do Norte. Disponível em: <http://www.al.rn.gov.br/storage/legislacao/2023/xyly141mlwrywqdfisurxdpdlcmh.pdf>. Acesso em: 23 set. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:** Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011. 53 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211:** Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992. 14 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:** Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986. 7 p.
- BERTOCCHI, M.; DA SILVA, E. Comportamentos de consumo sustentável de água apresentados por estudantes universitários da UNIOESTE/Cascavel. **Revista Fisio&Terapia**, v. 28, p. 1-25, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10078010>.
- BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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. 2005.

CAERN. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Ofício - **CAERN nº 2582/2023/CAERN - GBO/CAERN - DO/CAERN - PR-CAERN.** Mensagem recebida por: mjosicleide@ufersa.edu.br em 13 dez. 2023.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. il.

CASTRO, L. A.; TALEIRES, F. C. S. S.; SILVEIRA, S. S. Índice de desenvolvimento humano em municípios que possuem sistema integrado de saneamento rural: Uma análise comparativa. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 1, p. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232020261.24452018>.

CHERNICHARO, C.A.L.; RIBEIRO, T.B.; GARCIA, G.B.; LERMONTOV, A.; PLATZER, C.J.; POSSETTI, G.R.C.; ROSSETO, M.A.L.L.R. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**, v. 66, p. 5-19, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2018.028>.

CNN. **Brasil volta ao grupo das 10 maiores economias do mundo após alta do PIB** Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-volta-ao-grupo-das-10-maiores-economias-do-mundo-apos-alta-do-pib/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

ETEUFERSA – **Estação de Tratamento de Esgoto Universidade Federal Rural do Semi-Árido.** Disponível em: <https://eteufersa.vercel.app/>.

FERREIRA, J. G., GOMES, M. F. B., DANTAS, M. W. de A. Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 07, p. 65449-65468, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-019>.

FREITAS, F. J. F.; ROCHA, V. A. G. M.; ALVES, E. B. P. **Situação do esgotamento sanitário no município de Mossoró/RN.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. Ciência e tecnologia da água: inovação e oportunidades para o desenvolvimento sustentável, 2017. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP023109.pdf>.

GONÇALVES, R. F.; COSTA, A. N. da; KROHLING, B.; RODRIGUES, C. R.; TELES, C. R.; NASCIMENTO, C. G. do; PASSAMANI, F. R. F.; OLIVEIRA, F. F. de; LIMA, M. R. P. **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/gerenciamento_lodo_de_lagoas.pdf. Acesso em: 01 jan. 2024.

HELLER, L. **Concepção de instalações para o abastecimento de água**. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2. ed. 2010.

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, p. 73-84, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-81231998000200007>.

HELLER, P. G. B.; VON SPERLING, M.; HELLER, L. **Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, p. 109-118, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/BnPQcqYDPhD4NchxDK5B5hB/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 28 de out. 2023.

Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD 2022**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102004>. Acesso em: 18 out. 2023.

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente - IDEMA. **Perfil do seu município** (2008) - Mossoró/RN. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=PASTAC&TARG=875&ACT=&PAGE=2&PARM=&LBL=>. Acesso em: 01 dez. 2023.

JARDIM, W.F.; CANELA, M.C. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos**. São Paulo, Campinas. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de Química, Laboratório Ambiental. 2004, 10 p. Disponível em: <https://goo.gl/3a61e8>. Acesso em: 02 jan. 2024.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. São Paulo: Editora ABES, 2011. 969 p.

JUCERN. **Caern conclui obra que amplia capacidade da ETE Cajazeiras em Mossoró**. Data de publicação: 27 jan. 2014. Disponível em: <http://www.jucern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=19003&ACT=null&>. Acesso em: 06 jan. 2024.

MAHAPATRA, S.; SAMAL, K.; DASH, R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: A review on factors, modelling and cost analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 308, p. 114668, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>.

MARA, D. D. **Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries**. Londres: Earthscan, 2003. 310 p.

MARTINS, A. B. C.; ROCHA, J. P.; SANTANA, C. G. Análise dos impactos causados pelo lançamento de efluentes domésticos não tratados e sua relação com a capacidade de autodepuração de um corpo hídrico. Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável - **Revista CEDS**, v. 9, 2018. Disponível em: http://sou.undb.edu.br/ceds/revista?utm_source=direto.

MEDEIROS, F.C.A. **Viabilidade do reuso de efluente de lagoa de estabilização na irrigação de canteiros urbanos em Mossoró/RN**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Multidisciplinar de Caraúbas, Universidade Federal do Semi Árido, Campus Caraúbas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/39d6c9d9-dc5c-4324-b369-8e61a7a57b4e>. Acesso em: 02 set. 2023.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. McGraw Hill Brasil, 2015. 2008 p.

MOSSORÓ. **Plano municipal de saneamento básico – Mossoró, Rio Grande do Norte, 2019**. Disponível em: <https://prefeiturademossoro.com.br/paginas/plano-municipal-de-saneamento-basico-de-mossororn>. Acesso em: 23 de dez. 2023.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3 ed. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo Ltda, 2001. 298p.

ONU. OMS: **Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**. Data de publicação: 20 nov. 2014. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/55290-oms-para-cada-d%C3%B3lar-investido-em-%C3%A1gua-e-saneamento-economiza-se-43-d%C3%B3lares-em-sa%C3%BAde-global>. Acesso em: 09 jan. 2024.

PAGANINI, W.S.; BOCCHIGLIERI, M. M. O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública. **Revista USP**, v. 1, p. 45-60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.i128p45-60>.

Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/plano-nacional-de-saneamento-basico-plansab>. Acesso em: 06 jan. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MOSSORÓ - PMM. Disponível em: <https://www.prefeiturademossoro.com.br/>. Acesso em: 05 nov. 2023.

RAMOS, A.G. **Sistema de Gestão ambiental em estações de tratamento de esgoto**. O caso da ETE Remédios (Salesópolis/SP). 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, 2004.

RAMOS, S. M. C. S. F.; PINTO, F. R.; MORAIS, J. S. D.; SALES, V. C. Saneamento básico no Nordeste: metas, desafios e investimentos. **Revista Ciência Geográfica**, v. XXVI, p. 155-180, 2022.

RIBEIRO, F. D.; DE MEDEIROS, A. G.; GUEDES, M. J. F. Ferramenta computacional aplicada ao pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgoto por sistema australiano. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 05, p. 15712–15728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-085>.

ROCHA, V. M. L. Os impactos da ausência de saneamento básico no direito à saúde da população brasileira: uma análise do direito ao meio ambiente saudável e o direito à saúde. **Revista de Direito e Liberdade**, v. 24, p. 251-282, 2022. Disponível em: <https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/171842>.

SANTOS, M. A. Águas e Saneamento Básico: apontamentos sobre a evolução futura no Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v.43, n.143, p.209-230, jul./dez., 2022. Disponível em: <https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/1252>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SILVA, Á. F.; QUEIROZ, S. C. B. Análise sobre tecnologias de tratamento de esgoto para as cidades do estado do Tocantins. **Revista Fisio&Terapia**, 27(127), 62, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10040562>.

Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento - SNIS. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Esgotamento Sanitário – 2022**. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>. Acesso em: 20 nov. 2023.

The World Health Organization and United Nations Children's Fund WHO/UNICEF. **JMP Global Database - Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene**. Downloads index. Disponível em: <https://washdata.org/data/downloads#WLD>. Acesso em: 23 dez. 2023.

TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/>. Acesso em: 21 out. 2023.

TRATA BRASIL. **Universalização do saneamento básico pode gerar mais de R\$ 1,4 tri em benefícios socioeconômicos para o Brasil em menos de 20 anos**. 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Press-Release-_ITB-Beneficios-Economicos-com-a-Expansao-do-Saneamento.pdf. Acesso em: 21 out. 2023.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **A Água**. São Carlos: Editora Scienza, 2020. 130 p. Disponível em: https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2020/08/novo_A_AGUA.pdf. Acesso em: 07 out. 2023.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Vol. 1. 4ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 452 p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização.** Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 3. 3ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2017. 196p.

APÊNDICE A – ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO ATENDIDA PELA ETE CAJAZEIRAS EM 2015, 2022 E 2033

2015					
ECONOMIAS	CENTRAL	LESTE	OESTE	SUL	TOTAL DE ECONOMIAS
%	40,05%	28,71%	9,36%	21,88%	100,00%
População	-				
Índice de atendimento	-				
Quantidade de economias (Mossoró; Start, 2019; CAERN, 2015)	41340				
RESULTADOS					
População total atendida (SNIS, 2015)	129456				
Habitantes por economia	3				
Considerando apenas as regiões central, oeste e sul:					
Central	51842				
Oeste	12119				
Sul	28324				
População atendida pela ETE Cajazeiras	92285				

2022					
ECONOMIAS	CENTRAL	LESTE	OESTE	SUL	TOTAL DE ECONOMIAS
%	40,05%	28,71%	9,36%	21,88%	100,00%
População (IBGE)	264577				
Índice de atendimento (SNIS, 2022)	61,73%				
Quantidade de economias	50412				
RESULTADOS					
População total atendida	163323				
Pessoas por economia	3				
Considerando apenas as regiões central, oeste e sul:					
Central	65404				
Oeste	15289				
Sul	35734				
População atendida pela ETE Cajazeiras	116428				

2033					
ECONOMIAS	CENTRAL	LESTE	OESTE	SUL	TOTAL DE ECONOMIAS
%	40,05%	28,71%	9,36%	21,88%	100,00%
População (Projetado)	295627				
Índice de atendimento (Projetado)	77,31%				
Quantidade de economias (Projetado)	71348				
RESULTADOS					
População total atendida	228549				
Pessoas por economia	3				
Considerando apenas as regiões central, oeste e sul:					
Central	91525				
Oeste	21395				
Sul	50006				
População atendida pela ETE Cajazeiras	162926				

APÊNDICE B – RELATÓRIO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO (2022)

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por lagoa facultativa (sistema australiano)

Dados de entrada

Populacao: 116428
 Vazão afluente: 4203.12
 DBO afluente: 327.03
 Temperatura: 32
 Taxa volumétrica: 2
 Taxa de acúmulo: 0.03
 Quantidade de lagoas: 1
 Proporção/l: 2
 K: 0.33
 Profundidade Facultativa: 2

 DQO fornecido: 784.88

Lagoa Facultativa

Carga afluente à lagoa facultativa = 1374.5463335999998 kgDBO/d
 Área requerida = 5.7 ha (5.700 m²)
 Área individual para cada lagoa facultativa = 57000.0 m²
 volume resultante da lagoa facultativa = 114.000 m³
 Tempo de detenção Resultante = 27.12 m³/ano
 Correção para a temperatura de 23°C = 0.59 cm/ano
 Estimativa da DBO solúvel efluente = 19 mg/l
 Estimativa da DBO particulada efluente = 28 mgDBO
 DBO total efluente = 47.23434540221585 mg/l

Lagoa de maturação

Dados de entrada

Coliformes fecais = 4900000
 Ovos de helmintos = 100
 Lagoas em série = 2
 Profundidade útil = 1.7
 Comprimento = 165.3
 Largura = 132.5
 Tempo de detenção = 5
 Eficiência típica de remoção de DBO = 99.99
 Eficiência típica de remoção de ovos = 99.97

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para
uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por
lagoa facultativa (sistema australiano)

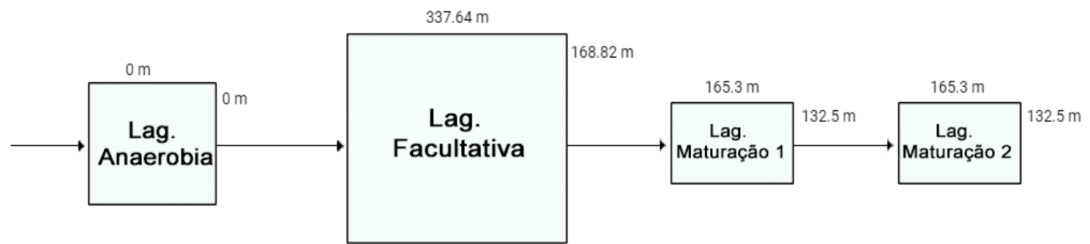
Resultado da lagoa de maturação

Remoção de coliformes = 490 CF/100 ml
Volume das lagoas = 10507.8 m³
Área superficial = 6181 m²
Área superficial total = 12362 m²
Número de dispersão = 0.8015728977616455
Coeficiente de decaimento bacteriano = 0.28 d⁻¹
Coeficiente de decaimento bacteriano = 0.63 d⁻¹
Concentração de coliformes efluentes = 0 CF/100 ml
Eficiência das lagoas = 100 %
Concentração de coliformes no efluente final = 0
A eficiência de remoção global = 100 %
Concentração efluente pós tratamento secundário = 0.0299999999999996696 ovos/L
Eficiência de remoção global dos ovos = 100 %
Eficiência global de remoção de helmintos = 99.992 %
Unidades log removidas = 4.1 unidades log removidas

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para
uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por
lagoa facultativa (sistema australiano)

Layout



APÊNDICE C – RELATÓRIO DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO (2033)

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por lagoa facultativa (sistema australiano)

Dados de entrada

Populacao: 162926
Vazão afluente: 5412.12
DBO afluente: 327.03
Temperatura: 32
Taxa volumétrica: 1
Taxa de acúmulo: 0.03
Quantidade de lagoas: 1
Proporção/l: 2
K: 0.33
Profundidade Facultativa: 2

DQO fornecido: 784.88

Lagoa Facultativa

Carga afluente à lagoa facultativa = 1769.9256035999997 kgDBO/d
Área requerida = 7.4 ha (7.400 m²)
Área individual para cada ladoa facultativa = 74000.0 m²
volume resultante da lagoa facultativa = 148.000 m³
Tempo de detenção Resultante = 27.35 m³/ano
Correção para a temperatura de 23°C = 0.59 cm/ano
Estimativa da DBO solúvel efluente = 19 mg/l
Estimativa da DBO particulada efluente = 28 mgDBO
DBO total efluente = 47.08643524595361 mg/l

Lagoa de maturação

Dados de entrada

Coliformes fecais = 4900000
Ovos de helmintos = 100
Lagoas em série = 2
Profundidade útil = 1.7
Comprimento = 165.3
Largura = 132.5
Tempo de detenção = 5
Eficiência típica de remoção de DBO = 99.99
Eficiência típica de remoção de ovos = 99.97

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para
uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por
lagoa facultativa (sistema australiano)

Resultado da lagoa de maturação

Remoção de coliformes = 490 CF/100 ml
Volume das lagoas = 13530.3 m³
Área superficial = 7959 m²
Área superficial total = 15918 m²
Número de dispersão = 0.8015728977616455
Coeficiente de decaimento bacteriano = 0.28 d⁻¹
Coeficiente de decaimento bacteriano = 0.63 d⁻¹
Concentração de coliformes efluentes = 0 CF/100 ml
Eficiência das lagoas = 100 %
Concentração de coliformes no efluente final = 0
A eficiência de remoção global = 100 %
Concentração efluente pós tratamento secundário = 0.0299999999999996696 ovos/L
Eficiência de remoção global dos ovos = 100 %
Eficiência global de remoção de helmintos = 99.992 %
Unidades log removidas = 4.1 unidades log removidas

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO
SEMI-ÁRIDO - UFERSA

Este programa é destinado à realização do pré-dimensionamento para
uma estação de tratamento de esgoto do tipo anaeróbia seguida por
lagoa facultativa (sistema australiano)

Layout

