

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCOS VINÍCIUS QUIRINO MARTINS

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O
MUNICÍPIO DE CRISTALÂNDIA - TO**

**PALMAS
2022**

MARCOS VINÍCIUS QUIRINO MARTINS

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O
MUNICÍPIO DE CRISTALÂNDIA - TO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro
Civil do Instituto Federal do Tocantins, Campus
Palmas.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

M379d Martins, Marcos Vinícius Quirino
 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE
 ESGOTO PARA O MUNICÍPIO DE CRISTALÂNDIA - TO / Marcos
 Vinícius Quirino Martins. – Palmas, TO, 2022.
 67 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

1. Tratamento de efluentes. 2. Lagoa de maturação. 3. Lagoa
anaeróbia. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCOS VINÍCIUS QUIRINO MARTINS

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA A CIDADE DE CRISTALÂNDIA - TO

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como exigência
à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 04/04/2022

BANCA AVALIADORA



Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador



Pedro Henrique de Almeida Coelho
Engenheiro Civil



Profa. Me. Elaine da Cunha Silva Paz
Me. Tecnologia Ambiental

RESUMO

MARTINS, M. V. Q. **Dimensionamento de sistema de tratamento de esgoto para a cidade de Cristalândia – TO**. 2022. 66p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

A escassez e mal uso dos recursos naturais é uma realidade global, em especial com relação à água. Devido ao crescimento populacional constante e, consequentemente, maior produção de resíduos, faz-se necessário a busca por métodos eficazes e viáveis para o tratamento de efluentes. O saneamento básico impacta diretamente na saúde e qualidade de vida da população, por esse motivo é necessário o investimento satisfatório em sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário. O presente trabalho teve como objetivo dimensionar um sistema de tratamento de esgoto eficiente e viável para a cidade de Cristalândia - TO. Cada tipo de tratamento possui vantagens e desvantagens, implantação e operação diferentes. Foi proposto duas opções de tratamentos de águas residuárias a serem dimensionadas: lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação (Sistema 1) e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação (Sistema 2), com a finalidade de comparação para ser definido qual o sistema mais viável para a região. Tendo em vista os resultados obtidos, foi constatado que o sistema mais adequado é o Sistema 2, devido os seguintes fatores:

- Menor área total necessária para implementação do sistema: enquanto o Sistema 1 consome 15.772,38 m² de área para as lagoas, o Sistema 2 necessita apenas de 5.694,37 m². Área 63,89% menor, reduzindo custos e impactos para a região.
- Menor volume: o volume total das lagoas no Sistema 2 é de 21.947,52 m³, 46,72% menor que no Sistema 1 que possui um volume total de 41.196,76 m³, reduzindo o custo com movimentação de terra e simplificando a implementação do sistema.
- Maior eficiência: a eficiência na remoção de DBO no Sistema 2 é de 84,93% enquanto no Sistema 1 é de 79,66%.

Palavras-chave: Esgoto. Efluente. ETE's. Lagoa Facultativa. Lagoa de Maturação. Lagoa Anaeróbia.

ABSTRACT

MARTINS, M. V. Q. **Dimensioning of sewage treatment system for the city of Cristalândia – TO.** 2022. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2022.

The scarcity and misuse of natural resources is a global reality, especially in relation to water. Due to the constant population growth and, consequently, greater waste production, it is necessary to search for effective and viable methods for the treatment of effluents. Basic sanitation directly impacts the health and quality of life of the population, for this reason, satisfactory investment in sanitary sewage collection and treatment systems is necessary. The present work aimed to design an efficient and viable sewage treatment system for the city of Cristalândia - TO. Each type of treatment has different advantages and disadvantages, implantation and operation. Two options for wastewater treatment were proposed to be dimensioned: facultative pond followed by maturation pond (System 1) and anaerobic pond followed by facultative pond and maturation pond (System 2), with the purpose of comparison to define which most viable system for the region. In view of the results obtained, it was found that the most appropriate system is System 2, due to the following factors:

- Smaller total area needed to implement the system: while System 1 consumes 15,772.38 m² of area for the ponds, System 2 only needs 5,694.37 m². 63.89% smaller area, reducing costs and impacts for the region.
- Lower volume: the total volume of ponds in System 2 is 21,947.52 m³, 46.72% less than in System 1, which has a total volume of 41,196.76 m³, reducing the cost of moving earth and simplifying implementation of the system.
- Greater efficiency: the efficiency in removing BOD in System 2 is 84.93% while in System 1 it is 79.66%.

Keywords: Sewer. Effluent. ETE's. Facultative Lagoon. Maturation Ponds. Anaerobic Lagoon.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões – 2008	16
Gráfico 2 - Gráfico do crescimento populacional do município de Cristalândia-TO	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características físicas dos esgotos domésticos	26
Quadro 2 - Características químicas dos esgotos domésticos	27
Quadro 3 - Características biológicas dos esgotos domésticos	30
Quadro 4 - Principais sistemas secundários de tratamento de esgoto	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2008	18
Tabela 2 - Caracterização de amostra de esgoto bruto do município de Taguatinga – Tocantins	42
Tabela 3 Taxas de aplicação volumétricas admissíveis para projetos de lagoas anaeróbias em função da temperatura local	45
Tabela 4 - Dados de entrada para cálculo da projeção da população	46
Tabela 5 - Resultados da projeção populacional	48
Tabela 6 - Dimensionamento de Lagoa facultativa primária	49
Tabela 7 - Resultados do dimensionamento das Lagoas Facultativas Primárias	51
Tabela 8 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série	52
Tabela 9 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de Maturação	53
Tabela 10 - Resultados do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	54
Tabela 11 - Dimensionamento de Lagoas Anaeróbias para o Sistema 2	56
Tabela 12 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Anaeróbias Primárias para o Sistema 2	57
Tabela 13 - Dimensionamento de Lagos Facultativas para o Sistema 2	57
Tabela 14 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Facultativas Secundárias para o Sistema 2	59
Tabela 15 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2	59
Tabela 16 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2	60
Tabela 17 - Resultados do dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação	61

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Percentual de coleta de esgoto, por grandes regiões do Brasil – 2019	17
Figura 2 - Esquema funcional da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Norte	21
Figura 3 - Percentual de inserção dos municípios na bacia hidrográfica do Rio Formoso	22
Figura 4 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Formoso e das sedes municipais inseridas em seus limites(A) e sub-bacias(B)	23
Figura 5 - Mapa da bacia hidrográfica do Rio Formoso no estado de Tocantins	24
Figura 6 - Imagem Aérea do Município de Cristalândia – TO	25
Figura 7 - Sistema Viário do Município de Cristalândia – TO	25
Figura 8 - Medidor eletrônico de DBO	31
Figura 9 - Eutrofização de corpo hídrico	32
Figura 10 - Esquema de um tratamento preliminar	33
Figura 11 - Decantador Primário - Planta	34
Figura 12 - Processo de flotação físico-química	34
Figura 13 - Esquema do Reator - UASB	38
Figura 14 - Funcionamento da Lagoa Facultativa	39
Figura 15 - Lagoas Facultativa primária e secundária, respectivamente	39
Figura 16 - Fluxograma de lagoas de estabilização e lagoas de maturação	41
Figura 17 - Modelo esquemático do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	55
Figura 18 - Modelo esquemático do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA DE PESQUISA	13
3 JUSTIFICATIVA	14
4 OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo Geral	15
4.2 Objetivos Específicos	15
5 REVISÃO DE LITERATURA	16
5.1 Números do saneamento básico no Brasil	16
5.2 Números do saneamento básico no Estado do Tocantins	19
5.3 Caracterização das bacias hidrográficas do estado do Tocantins	21
5.4 Caracterização das bacias hidrográficas do Rio Formoso	21
5.5 Caracterização do município de Cristalândia - TO	24
5.6 Caracterização das águas residuárias	26
5.7 Tipos de sistemas empregados no tratamento das águas residuárias	32
5.7.1 Tratamento Preliminar	33
5.7.2 Tratamento Primário	33
5.7.3 Tratamento Secundário	35
5.7.4 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)	37
5.7.5 Lagoa Facultativa	38
5.7.6 Tratamento Terciário	39
5.7.7 Lagoa de Maturação	39
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
6.1 Caracterização da pesquisa	41
6.2 Caracterização do efluente	41
6.3 Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias	42
6.3.1 Cálculo da População de Projeto	42
6.3.2 Cálculo da vazão doméstica média (Qd méd)	43
6.3.3 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	43
6.3.3.1 Determinação da taxa de aplicação superficial da Lagoa Facultativa (LS)	44
6.3.3.2 Outros Parâmetros de Projeto para a Lagoa Facultativa	44
6.3.3.3 Parâmetros de Projeto para a de Maturação	44

6.3.4 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação	44
6.3.4.1 Determinação da taxa de aplicação volumétrica da Lagoa Anaeróbia (Lv)	45
7 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO	45
7.1 Parâmetros Técnicos	45
7.1.1 Período de projeto	45
7.1.2 Projeção populacional para o município de Cristalândia - TO	46
7.1.3 População de projeto	48
7.2 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	48
7.2.1 Resultados do Sistema 1	53
7.3 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa de Facultativa e Lagoa de Maturação	55
7.3.1 Resultados do Sistema 2	60
8 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Os anos de 2020 e 2021 foram atípicos para a humanidade. A descoberta de um vírus letal, resistente aos tratamentos convencionais e altamente transmissível obrigaram a população mundial a repensar suas práticas de relacionamento e higiene pessoal. Logo, faz-se imprescindível discutir a importância do tratamento de águas residuárias em uma escala global, tendo em vista que este recurso natural, além de escasso, tem o potencial de transmitir doenças contagiosas em larga escala. O saneamento básico está associado à qualidade de vida e desenvolvimento de uma região. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) para cada dólar investido em água e saneamento, são economizados 4,3 dólares em custos de saúde pública.

O contato direto com esgoto e o consumo de água sem tratamento estão diretamente relacionados com taxas de mortalidade infantil, baixos índices de qualidade de vida e gastos excessivos com saúde pública. Além disso, o lançamento inadequado de efluentes no ambiente sem o devido tratamento pode causar contaminação do solo e bacias hídricas, trazendo malefícios para seres humanos, fauna e flora da região, causando impactos ambientais irreparáveis.

Para assegurar a disponibilidade de água potável para futuras gerações, existem diversas leis para gerir o uso dos recursos hídricos da forma adequada, como a Lei nº. 11.445/2007 da Constituição Federal que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

A OMS calcula que 2,2 bilhões de pessoas não tem acesso à água tratada em todo o mundo, e 4,2 bilhões de pessoas não têm serviço de saneamento básico. No ano de 2015, por ocasião da Cúpula das Nações Unidas a ONU propôs dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), entre eles, o sexto objetivo propõe: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos até o ano de 2030.

Assim, este trabalho propõe uma solução viável e eficiente para o tratamento de esgoto a ser implementado em Cristalândia – TO, contribuindo no desenvolvimento socioambiental da região, trazendo melhoria na qualidade de vida e saúde da população do município e regiões próximas que compartilham recursos hídricos.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

O tratamento de águas residuárias é um dos principais problemas no saneamento básico de diversos municípios brasileiros, e seu lançamento inadequado em corpos hídricos causa poluição, proliferação de doenças e até morte de vários seres vivos.

Desta forma, qual sistema de tratamento de esgoto, com baixo custo de implementação e operação, tem maior eficiência para atender a demanda do município de Cristalândia – TO?

3 JUSTIFICATIVA

Devido à notória necessidade do tratamento de águas residuárias, é de grande importância definir um sistema de tratamento de esgoto eficiente, de fácil implementação, operação e manutenção, economicamente viável para o município de Cristalândia - TO.

4 OBJETIVOS

Neste capítulo são descritos os objetivos gerais e específicos da pesquisa em questão.

4.1 Objetivo Geral

Propor um sistema de tratamento de esgoto eficiente para atender o município de Cristalândia – TO.

4.2 Objetivos Específicos

- a) Dimensionar um sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação;
- b) Dimensionar um sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação;

5 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, são abordados dados referentes ao saneamento básico em âmbito nacional e estadual, assim como critérios de caracterização das águas residuárias e métodos de tratamento.

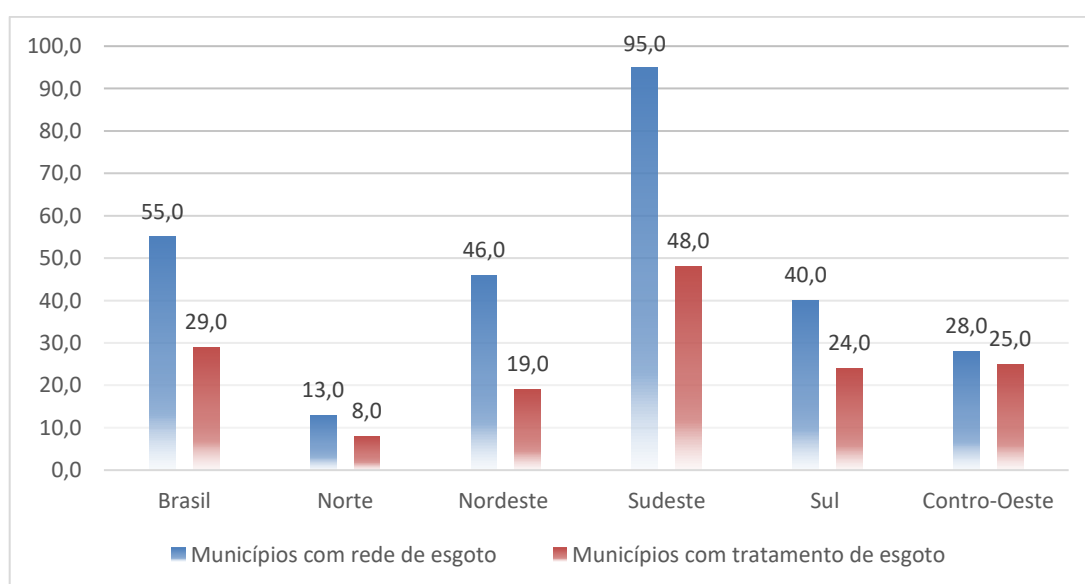
5.1 Números do saneamento básico no Brasil

Há no Brasil 5570 municípios e, ao analisarmos estatísticas sobre a rede coletora de esgoto, percebe-se a desigualdade existente na distribuição deste serviço no território brasileiro. (IBGE, 2021)

Em 2008, apenas 3069 municípios possuíam rede coletora de esgoto, do total de 5564 à época, enquanto o tratamento – que é feito em apenas 1 587 municípios – era ainda mais raro. Em números relativos, 55% dos municípios brasileiros possuíam acesso à rede de esgoto, ao passo que, 29% tratavam o esgoto coletado. (IBGE, 2011)

No gráfico 1 a seguir, é possível observar o percentual de municípios que ofertam estes serviços essenciais à população, segundo o IBGE no ano de 2008.

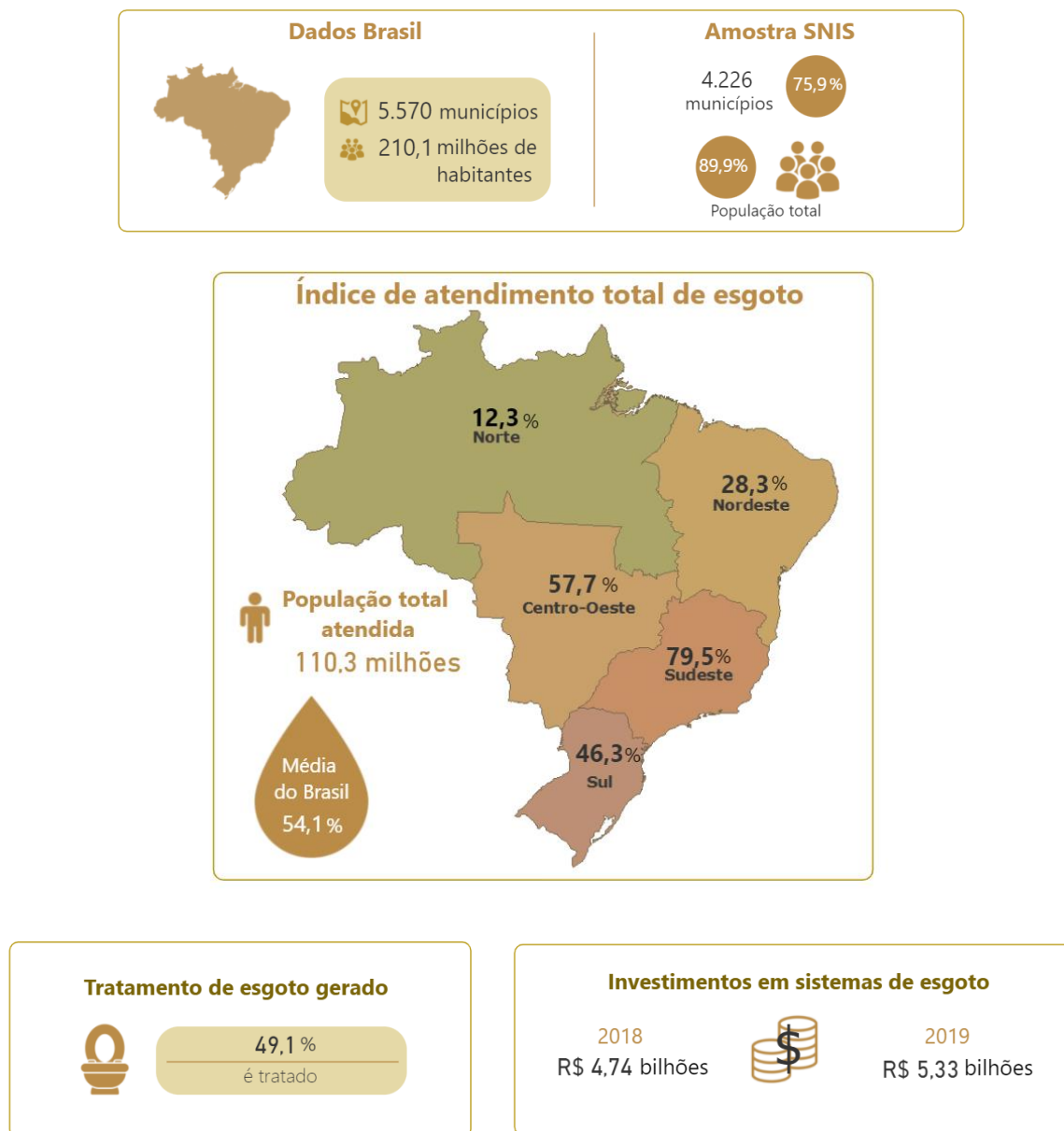
Gráfico 1 - Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões - 2008



Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Na Figura 1 abaixo, é possível observar o percentual da população que é atendida pelo serviço de coleta de esgoto em cada grande região, segundo o SNIS em 2019.

Figura 1 - Percentual de coleta de esgoto, por grandes regiões do Brasil – 2019



Fonte: SNIS, Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento 2019.

É perceptível que, mesmo com dados mais atuais, não houveram mudanças significativas no sistema de coleta e tratamento de efluentes em território nacional. As regiões Norte e Nordeste são as mais afetadas pela ausência do serviço de coleta de esgoto, contrastando com a região Sudeste, que por sua vez, possui a maior

cobertura, mas ainda assim, possuindo números ruins comparado aos países mais desenvolvidos.

Além das diferenças inter-regionais, é importante observar as variações intra-regionais, conforme observado na Tabela 1. Na Região Nordeste, por exemplo, a baixa média regional de municípios que tratam o esgoto é bastante influenciada pelo pequeno percentual apresentado pelo Estado do Piauí, onde apenas 2% dos municípios que coletam também fazem o tratamento do esgoto. A melhor situação nesta região aparece no Ceará onde em um total de 184 municípios, em 2008, 70% destes municípios possuíam rede coletora e, destes, 49% tratavam os dejetos.

Na região Sul, os três estados que compõem a região apresentaram taxas de municípios com rede de coleta bastante próximas: Paraná (42%), Rio Grande do Sul (41%) e Santa Catarina (35%). Entretanto, apenas no estado do Paraná uma maior importância é dada ao tratamento de esgoto, visto que dentre os seus 168 municípios coletores, 164 tratam o esgoto.

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2008

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Municípios		
	Total	Percentual (%)	
		Com coleta de esgoto	Com tratamento de esgoto
Brasil	5564	55	29
Norte	449	13	8
Rondônia	52	10	4
Acre	22	27	18
Amazonas	62	18	5
Roraima	15	40	13
Pará	143	6	4
Amapá	16	31	13
Tocantins	139	13	11
Nordeste	1793	46	19
Maranhão	217	6	1
Piauí	223	4	2
Ceará	184	70	49

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Municípios		
	Total	Percentual (%)	
		Com coleta de esgoto	Com tratamento de esgoto
Rio Grande do Norte	167	35	23
Paraíba	223	73	20
Pernambuco	185	88	28
Alagoas	102	41	17
Sergipe	75	35	9
Bahia	417	51	20
Sudeste	1 668	95	48
Minas Gerais	853	92	23
Espírito Santo	78	97	69
Rio de Janeiro	92	92	59
São Paulo	645	100	78
Sul	1 188	40	24
Paraná	399	42	41
Santa Catarina	293	35	16
Rio Grande do Sul	496	41	15
Centro-Oeste	466	28	25
Mato Grosso do Sul	78	45	44
Mato Grosso	141	19	16
Goiás	246	28	24
Distrito Federal	1	100	100

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Com base nos dados, é perceptível o quão extenso é o caminho que o Brasil ainda tem a percorrer com relação ao desenvolvimento de políticas públicas que estimulem o investimento e adoção em métodos de tratamento, elevando a qualidade de vida da população.

5.2 Números do saneamento básico no Estado do Tocantins

O estado Tocantins foi estabelecido a partir do desmembramento do estado de Goiás em 1988 e oficializado um ano após, por isso é considerado como a mais jovem unidade de federação do território nacional. Sua população atual estimada, segundo IBGE, é de 1,6 milhão de habitantes, sendo a capital, Palmas, o município mais populoso. Integra o bioma do cerrado e possui clima predominantemente tropical. Na economia, têm destaque a pecuária bovina e o cultivo de soja. Apesar da recente criação do estado, o Tocantins possui um dos piores índices nacionais no que se refere à cobertura da rede de esgoto.

Um estudo levantado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), apontou que 70% dos tocantinenses vivem sem os serviços de saneamento básico. Dos 139 municípios tocantinenses, apenas 13% possuem coleta de esgoto e 11% possuem tratamento de esgoto, conforme observado na Tabela 1.

O órgão responsável pela fiscalização e regulação das atividades relacionadas ao saneamento básico no Estado do Tocantins, é a Agência Tocantinense de Saneamento (ATS). Já a empresa responsável pelo abastecimento de água e tratamento de esgoto no estado é a BRK Ambiental, empresa criada no ano de 2017 que detém os ativos de saneamento após comprar junto à empresa Odebrecht.

A BRK Ambiental trata 100% do esgoto coletado nos 47 municípios atendidos no Tocantins. Para isso, conta com 22 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que tratam em média 16,8 milhões de litros de esgoto ao mês, captados em 2.272 quilômetros de rede coletora.

Palmas, capital do Tocantins, figura entre as cidades brasileiras com melhor índice de tratamento de esgoto, atendendo a mais de 90% de sua população com o serviço de coleta de esgoto e tratando 100% do esgoto coletado.

A cidade possui a mais moderna Estação de Tratamento de Esgoto do Norte do Brasil, a ETE Norte (Figura 2), e foi a primeira capital da região a conseguir a universalização do serviço. Esta ETE é capaz de tratar cerca de 830 mil litros de esgoto por hora.

Ainda assim, é notória a deficiência de cobertura de coleta e tratamento de esgoto que há no estado do Tocantins, evidenciando assim, a necessidade de uma política pública que visa ampliar a infraestrutura relativa ao saneamento no estado tocantinense e conscientização do público-alvo com relação à regularização da coleta

residencial e, conseqüentemente, o devido funcionamento de todo o sistema de coleta.

Figura 2 – Esquema funcional da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Norte



Fonte: BRK (2021).

5.3 Caracterização das bacias hidrográficas do estado do Tocantins

A Região Hidrográfica Tocantins – Araguaia é considerada a maior bacia hidrográfica inteiramente brasileira, corresponde a 10,8% do território brasileiro e abrange seis estados: Goiás, Pará, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins e o Distrito Federal.

O Rio Tocantins é o segundo maior curso d'água brasileiro, com 2.400km, ficando atrás somente do Rio São Francisco com aproximadamente 2.800km de extensão (ANA).

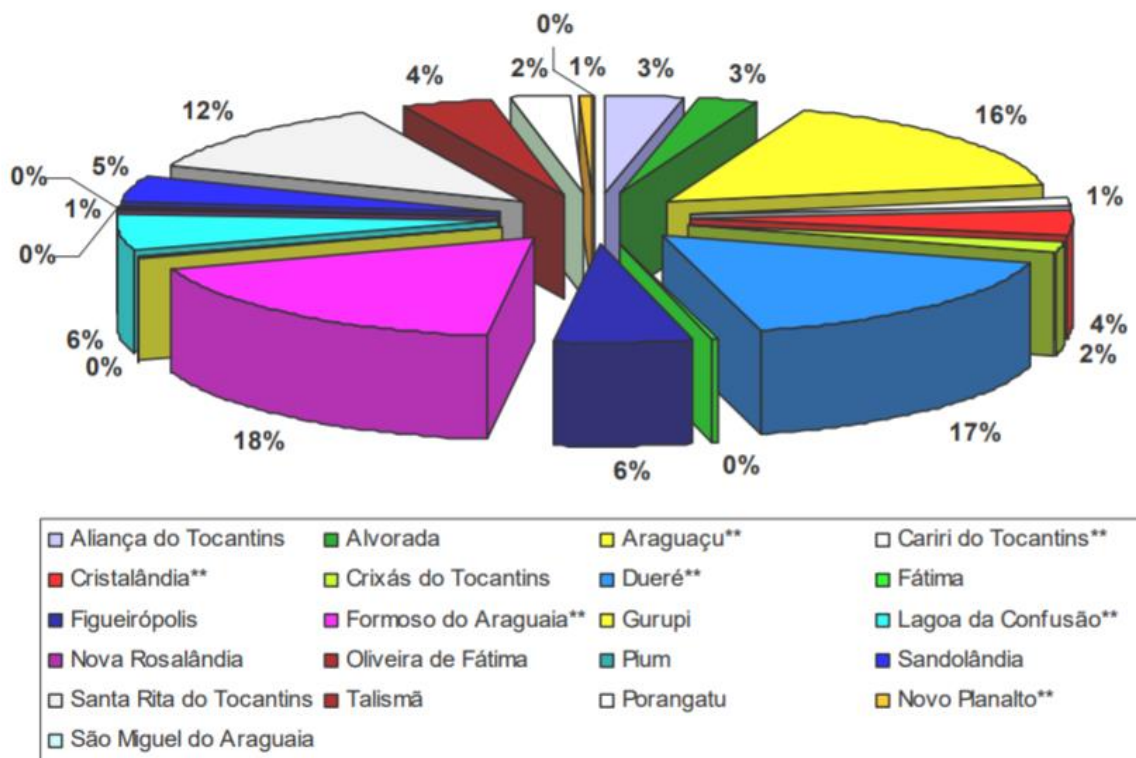
O Tocantins possui atualmente cinco Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), sendo eles: Comitê de Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso; Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda, Comitê da Bacia Hidrográfica Manuel Alves da Natividade, Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Santo Antônio e Santa Tereza e Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Palma.

5.4 Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Formoso

A bacia do rio Formoso (Figura 4 e Figura 5) pertence à Região Hidrográfica do Araguaia-Tocantins e apresenta uma área de drenagem de 21.328,57 Km², cerca de 7% da área total do Estado do Tocantins e 5,6% da bacia do rio Araguaia. Situa-se na região sudoeste do Estado (Figura 3), conforme o Plano da Bacia Hidrográfica do rio Formoso (PBHRF, 2007).

A bacia do rio Formoso abrange parte do território de 21 (vinte e um) municípios, que apresentam percentuais distintos (Figura 3) de inserção no domínio físico de cada sub-bacia e, deste total, 7 (sete) tem sede municipal nela inserida. Porém foi adotado no plano, para fins de análise, que a bacia contempla apenas 15 municípios. A participação goiana (Porangatu, Novo Planalto e São Miguel) foi desconsiderada por ser muito pequena (menos de 3%). Além destes, 3 municípios do estado do Tocantins (Fátima, Oliveira de Fátima e Pium) apenas tangenciam o divisor de bacia e possuem área inexpressiva dentro da mesma (cerca de 0,02%) e, por isso, também foram desconsiderados.

Figura 3 – Percentual de inserção dos municípios na bacia hidrográfica do Rio Formoso

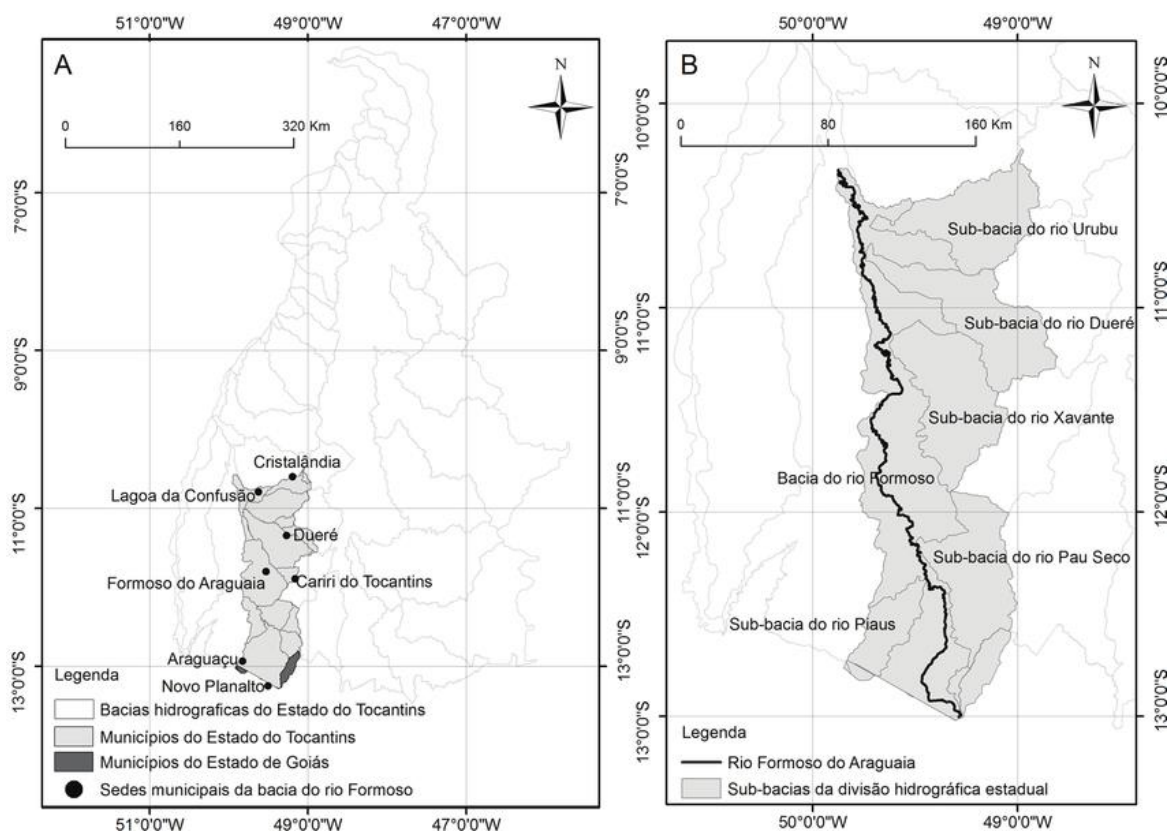


Fonte: PBHRF (2007).

A população dos 15 (quinze) municípios que abrangem a bacia, totaliza um contingente de 146.549 pessoas, em que 121.672 residem no meio urbano e 24.877, na área rural (IBGE, 2000) e, segundo estimativa populacional do IBGE, no ano de 2005, possuía um contingente populacional de 157.232 habitantes.

A densidade populacional da região é de 7,3 hab/km² em média, acima da média estadual de 4,5 hab/km². O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região encontram-se entre médio e alto, com exceção de Alvorada e Gurupi, que apresentaram decréscimo no índice de renda no período 1991-2000.

Figura 4 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Formoso e das sedes municipais inseridas em seus limites(A) e sub-bacias(B)

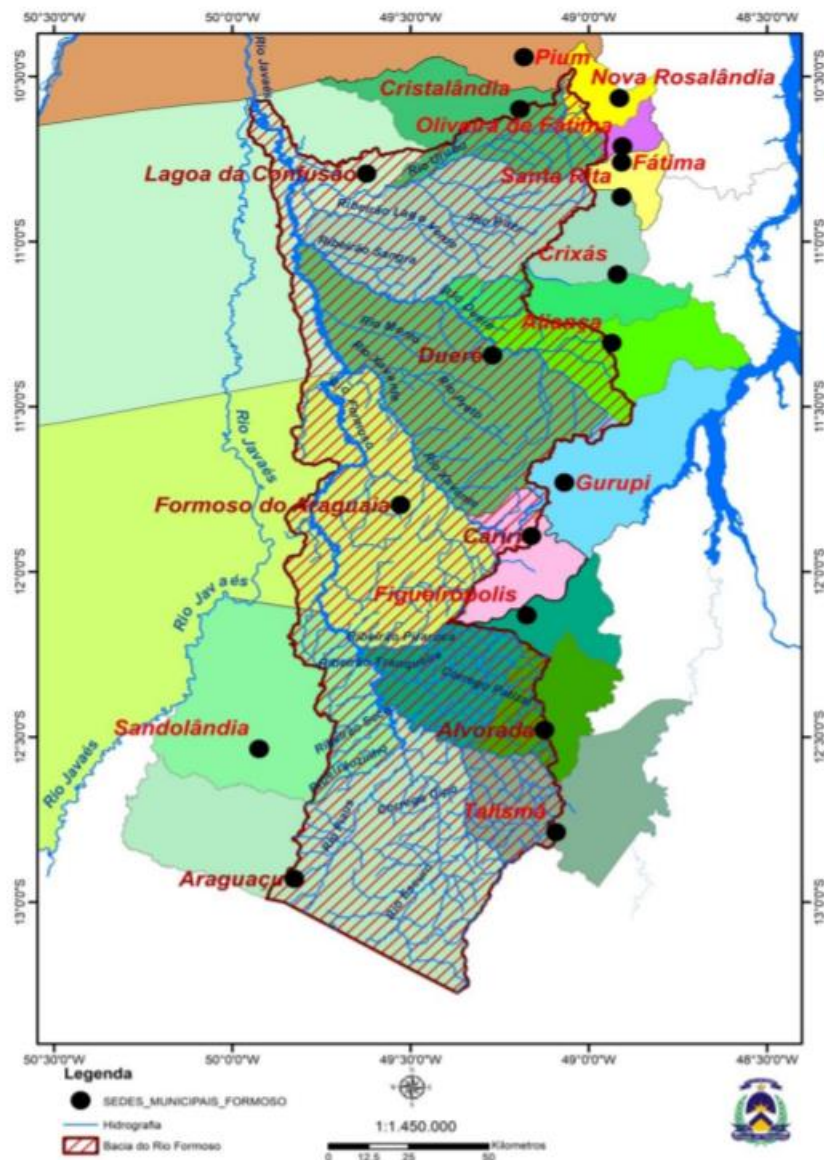


Fonte: PFB – Pesquisa Florestal Brasileira, 2015.

De acordo com levantamento realizado pela Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública do Estado do Tocantins (SEPLAN) para o ano de 2007 (Tocantins, 2012), em relação aos usos do solo e cobertura vegetal, 43,51% da área é destinada às práticas agropecuárias, 2,11% ao cultivo de culturas temporárias, 41,9% da cobertura vegetal encontra-se ocupada por fitofisionomias do Cerrado, principalmente Cerrado Sentido Restrito e Parque Cerrado, 11,29%

por mata ciliar ou mata de galeria e o restante da área se divide em outros usos como praias e área urbanizada.

Figura 5 - Mapa da bacia hidrográfica do Rio Formoso no estado de Tocantins



Fonte: SEPLAN, 2012.

5.5 Caracterização do município Cristalândia – TO

Com uma população estimada em 7.268 habitantes (IBGE, 2021) a cidade de Cristalândia – TO (Figura 6 e Figura 7) possui uma densidade demográfica de 3,91 hab./km², é a 46ª cidade em população do Estado do Tocantins. Seu Produto Interno Bruto (PIB) é de R\$ 15.058,58 (IBGE, 2018) e seu Índice de Desenvolvimento Humano

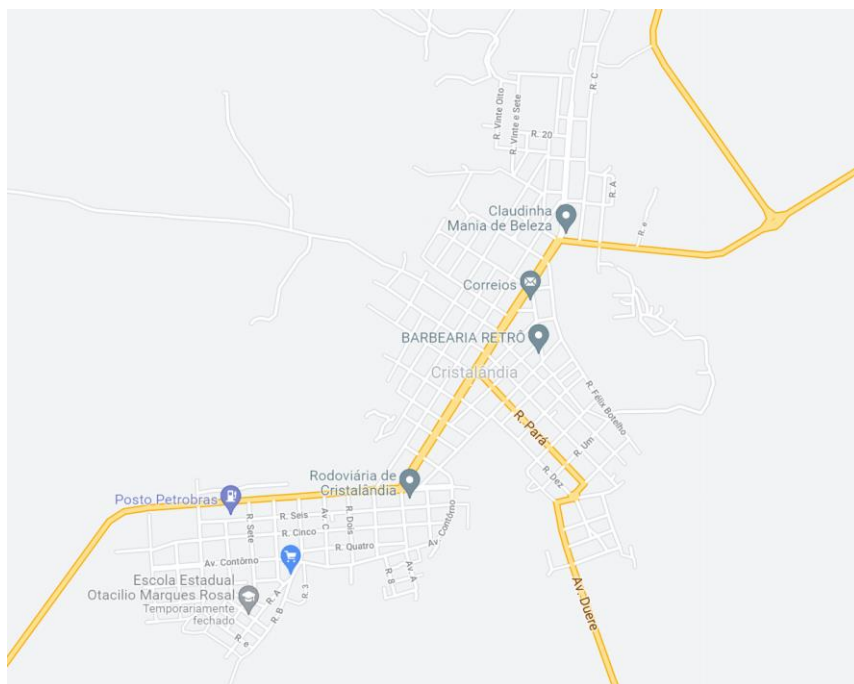
0,673. O município é localizado na região sudoeste do Estado do Tocantins, nas coordenadas 10°36'01" S e 49°11'35" O. Possui uma área territorial de 1.848,231 km² e pertence ao bioma Cerrado.

Figura 6 - Imagem Aérea do Município de Cristalândia – TO



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 7 - Sistema Viário do Município de Cristalândia – TO



Fonte: Google Maps, 2021.

5.6 Caracterização das Águas Residuárias

De acordo com o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), o aumento do consumo de água, devido ao ciclo das atividades humanas, provenientes da expansão demográfica e desenvolvimento tecnológico, a água incorpora diversas substâncias que alteram suas características, mesmo permanecendo em estado líquido, passam a se chamar águas servidas ou esgoto.

A NBR 7229/1993 define o esgoto sanitário como a água residuária composta de esgoto doméstico, despejo industrial admissível a tratamento conjunto com esgoto doméstico e água de infiltração. Segundo a NBR 9648/1986 o esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Os esgotos são classificados em dois grupos, de acordo com a origem, são os esgotos domésticos e esgotos industriais.

Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), os esgotos domésticos são divididos da seguinte forma, águas negras, proveniente de instalações sanitárias, contendo fezes e urina e águas cinzas, proveniente de banhos, lavagens e demais usos domésticos.

Os esgotos domésticos possuem 99,9% de água aproximadamente, e 0,1% é composto de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e a presença de micro-organismos. Devido a esta fração de 0,1%, existe a necessidade de tratar os esgotos (VON SPERLING, 1996).

Segundo SPERLING (1996), devem ser determinados parâmetros para definir a qualidade do esgoto, traduzindo o potencial poluidor das águas residuárias, dividindo os parâmetros em três categorias: físicos (Quadro 1), químicos (Quadro 2) e biológicos (Quadro 3).

Quadro 1 - Características físicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
Temperatura	· Influência na atividade microbiana
	· Influência na solubilidade dos gases
	· Influência na viscosidade do líquido

Parâmetro	Descrição
Cor	· Esgoto fresco: ligeiramente cinza · Esgoto séptico: cinza escuro ou preto
Odor	· Esgoto fresco: odor oleoso · Esgoto séptico: odor fétido · Despejos industriais: odores característicos
Turbidez	· Grande variedade de sólidos em suspensão · Esgotos frescos ou concentrados: maior turbidez

Fonte: VON SPERLING, 1996

Quadro 2 - Características químicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
SÓLIDOS TOTAIS	Orgânicos e inorgânicos: suspenso e dissolvidos; sedimentáveis
Em suspensão	· Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis · Fixos · Voláteis
Dissolvidos	· Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis · Fixos · Voláteis
Sedimentáveis	· Componentes minerais inertes dos sólidos em suspensão · Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão · Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimentam em 1 hora no cone Imhoff.
MATÉRIA ORGÂNICA	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos: proteínas, carboidratos e lipídios.
Determinação Indireta	
Parâmetro	Descrição

· DBO₅ · DQO · DQOu	· Demanda Bioquímica de Oxigênio. Medida a 5 dias, 20° C. Está associada a fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. Medida do oxigênio consumido após cinco dias pelos microrganismos na estabilização bioquímica da matéria orgânica. · Demanda Química de Oxigênio. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas. · Demanda Última de Oxigênio. Representa o consumo total de oxigênio, ao final de vários dias, requeridos pelos microrganismos para a estabilização bioquímica.
Determinação Direta · COT	· Carbono Orgânico Total. É uma medida direta da matéria orgânica carbonácea. É determinado através da conversão do carbono orgânico a gás carbônico.
NITROGÊNIO TOTAL · Nitrogênio orgânico · Amônia	O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e a amônia compreendem o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) · Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. · Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico
Parâmetro	Descrição

· Nitrito	· Estágio intermediário da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.
· Nitrato	· Produto final da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.
FÓSFORO	O fósforo total existe na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente indispensável no tratamento biológico
· Fósforo orgânico	· Combinado a matéria orgânica
· Fósforo inorgânico	· Ortofosfato e polifosfatos.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto. Uma solução é neutra em pH 7. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH). Devido a presença de bicarbonatos, carbonatos e íon hidroxila(OH ⁻).
Cloretos	Proveniente da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e graxas	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos. Nos esgotos domésticos, as fontes de óleos e gorduras utilizados nas comidas.

Fonte: VON SPERLING, 1996

Quadro 3 - Características biológicas dos esgotos domésticos

Parâmetro	Descrição
-----------	-----------

Bactérias	· Organismos protistas unicelulares · Apresentam-se em várias formas e tamanhos · São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica · Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Fungos	· Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos · Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica · Podem crescer em condição de baixo pH.
Protozoários	· Organismos unicelulares sem parede celular · A maioria é aeróbia ou facultativa · Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos · São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos · Alguns são patogênicos
Vírus	· Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica · Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
Helmintos	· Animais superiores · Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças

Fonte: VON SPERLING, 1996

Um dos principais fatores que contribuem para a poluição dos corpos hídricos é o consumo de oxigênio dissolvido (OD) pelos microrganismos, que em seus processos metabólicos, degradam a matéria orgânica, consumindo oxigênio disponível, tornando o ambiente inabitável para várias espécies aquáticas (RECESA, 2008).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), conhecido também como Demanda Biológica de Oxigênio, é a quantidade de oxigênio consumida por

microrganismos presentes em uma amostra de um efluente como, por exemplo, o esgoto doméstico e o industrial (FUSATI, 2021). Este é o principal parâmetro utilizado para medir o nível de poluição das águas, uma vez que esses microrganismos (bactérias aeróbias, por exemplo) realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático por meio de processos oxidativos, sobretudo pela respiração. Novos compostos são transformados a partir dos compostos orgânicos juntamente com o gás oxigênio por meio da catalisação de reações de oxidação desses microrganismos. Faz-se a análise da amostra no quinto dia, sob uma temperatura constante de 20°C, expressando a análise por DBO5. Dessa forma, quanto maior o DBO, maior a poluição orgânica do efluente.

O DBO também é utilizado para dimensionar e indicar a eficiência das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE). Ao se comparar o valor de DBO (Figura 8) do esgoto bruto e do efluente final é possível verificar se a matéria orgânica está sendo consumida e se o descarte não vai causar nenhum desequilíbrio.

Figura 8 – Medidor eletrônico de DBO



Fonte: Labstore, 2021.

A redução do oxigênio dissolvido (OD) traz como uma das principais consequências a eutrofização (Figura 9) do corpo hídrico, principalmente onde há águas paradas, como lagos e represas. Esse fenômeno ocorre quando há um crescimento acentuado de algas pelo excesso de nutrientes, como nitrogênio e fósforo

presentes em esgotos domésticos, causando a morte de peixes e outros organismos aeróbios, inutilizando o corpo hídrico para recreação e abastecimento de água (RECESA, 2008).

Figura 9 - Eutrofização de corpo hídrico



Fonte: Tiloom, 2021.

5.7 Tipos de sistemas empregados no tratamento das águas residuárias

Conforme o crescimento das cidades, há uma ampliação na demanda por coleta e tratamento das águas residuárias. Existem diversos tipos de sistemas de tratamento, com particularidades e diferentes custos de implementação. Estes sistemas devem ser adaptados para as condições econômicas e físicas da região atendida, garantindo a eficiência, o custo e equilíbrio ecológico do mesmo.

A Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) através da NBR 12209 (1992, p.2), define Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 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.

Caracteriza-se uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como um conjunto de instalações destinadas à depuração das águas residuárias, previamente do seu reuso ou lançamento em corpos hídricos (FUNASA, 2015).

5.7.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar consiste na etapa a qual se submete o esgoto com o objetivo de remover sólidos grosseiros, gorduras e areia. Nessa etapa, os mecanismos básicos de remoção são de ordem física. Além disso, inclui-se também uma unidade destinada à medição da vazão de esgoto que chega à estação de tratamento.

Na figura 10 abaixo, é possível ver as etapas de um sistema de tratamento preliminar.

Figura 10 - Esquema de um tratamento preliminar



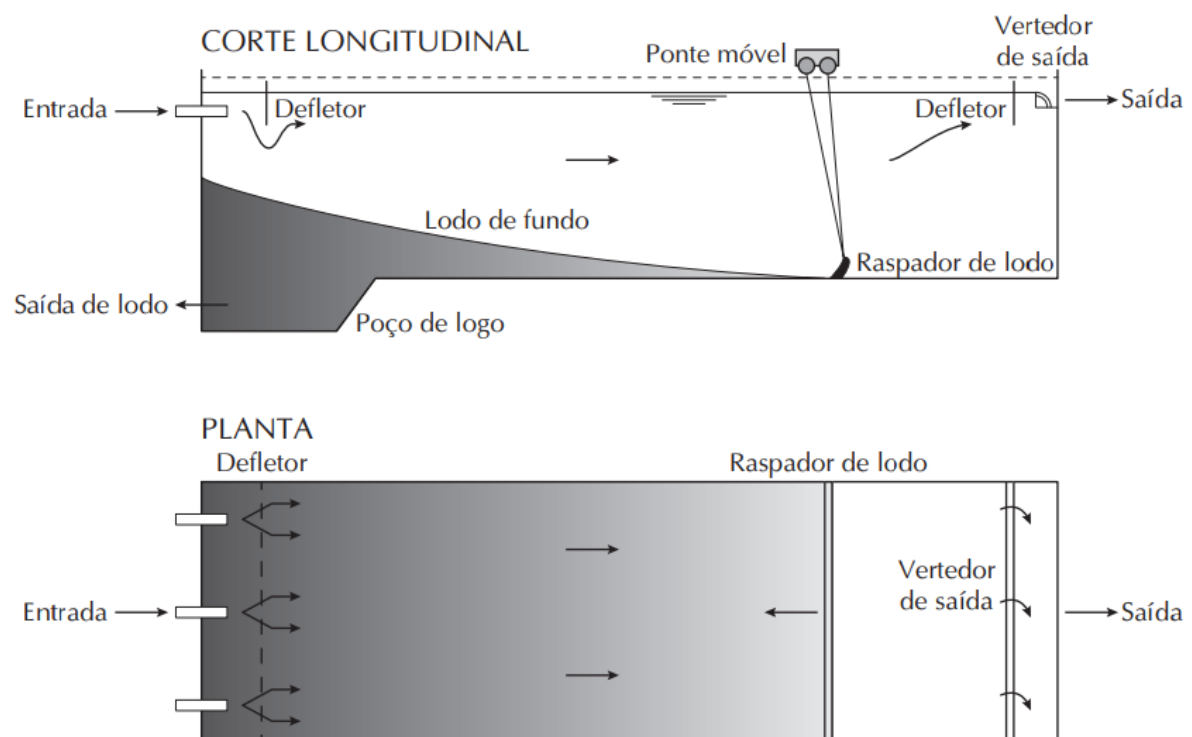
Fonte: Adaptado de Jordão e Volschan Jr. (2009)

5.7.2 Tratamento Primário

O tratamento primário dos esgotos objetiva principalmente remover sólidos em suspensão, sedimentáveis e sólidos flutuantes. Grande parte dos sólidos em suspensão sedimentados é de natureza orgânica, resultando assim, na redução da carga orgânica afluyente ao tratamento secundário. Nesta etapa, é removido cerca de 40 a 70% dos sólidos em suspensão, e entre 25 a 40% na DBO e coliformes. (FUNASA, 2015).

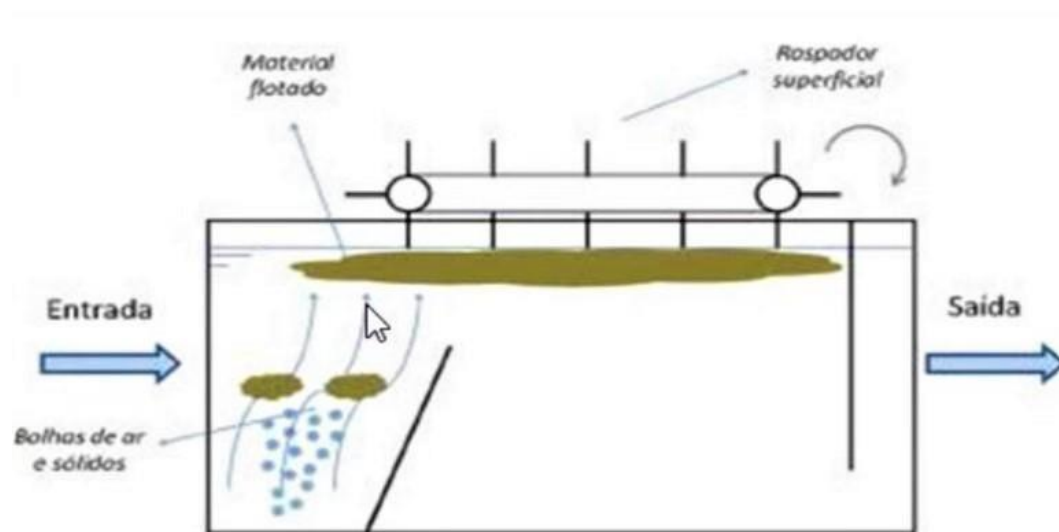
Os principais sistemas de tratamento primário são: Decantador (Figura 11) Flotador Simples (Figura 12); Precipitador Químico; Tanque Séptico; Tanque Imhoff.

Figura 11 - Decantador Primário - Planta



Fonte: FUNASA (2015).

Figura 12 – Processo de flotação físico-química



Fonte: Adaptado de EQMA Engenharia e Consultoria (2013).

5.7.3 Tratamento Secundário

A eficiência de remoção de DBO no tratamento primário, mesmo quando utilizado o reator UASB, não atinge valores suficientes para garantir a saída do

efluente em normalidade com o que exige a RESOLUÇÃO CONAMA 430 (2011) e/ou as legislações estaduais para este fim. A decomposição biológica do material orgânico requer a manutenção de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e outros e, em condições aeróbias, de oxigênio (VON SPERLING, 2005).

Com o objetivo de remoção de sólidos, matéria orgânica, microrganismos e nutrientes, o tratamento secundário é mais eficiente. A eliminação de DBO e coliformes alcança percentuais entre 60 a 99% e nos nutrientes entre 10 a 50% dependendo da tecnologia empregada (FUNASA, 2015).

Os principais sistemas de tratamento secundários são: Lodo Ativado, Lagoas de Estabilização, Reatores Anaeróbicos com alta eficiência, Filtros Biológicos, etc. Tais sistemas estão caracterizados no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Principais sistemas secundários de tratamento de esgoto

Sistema	Descrição
Lagoas de Estabilização	
Lagoa Facultativa	Os esgotos fluem continuamente em lagoas especialmente construídas para o tratamento de águas residuárias. O líquido permanece na lagoa por vários dias. A DBO solúvel e a DBO finamente particulada são estabilizadas aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo convertida anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa Anaeróbia – Lagoa Facultativa	A DBO é em torno de 50 a 65% removida (convertida a líquidos e gases) na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
Lagoa Aerada Facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.
Sistema	Descrição

Lagoa Aerada de Mistura Completa – Lagoa Decantação	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção de DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.
Lagoa de Maturação	O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é bastante elevada
SISTEMAS ANAERÓBIOS	
Filtro Anaeróbio	A DBO é convertida anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no reator. O tanque trabalha submerso, e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa, e o lodo já sai estabilizado.
Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)	A sigla UASB advém de <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>. A DBO é convertida anaerobiamente por bactérias dispersas no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida nas zonas de sedimentação e de coleta de gás. A zona de sedimentação permite a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa) ao sistema, aumentando a sua concentração no reator. Entre os gases formados inclui-se o metano. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa, e o lodo já sai adensado e estabilizado.
Reator anaeróbio – pós tratamento	Os reatores UASB usualmente não produzem um efluente que se adeque à maior parte dos padrões de lançamento. Por este motivo, frequentemente é necessária a incorporação de um pós-tratamento, que pode ser biológico (aeróbio ou anaeróbio) ou físico-químico (com adição de coagulantes). Praticamente todos os processos de tratamento de esgotos podem ser usados como pós-tratamento dos efluentes do reator UASB. A eficiência global do sistema é usualmente similar à que seria alcançada se o processo de pós-tratamento fosse aplicado ao esgoto bruto. No entanto, os requisitos de área, volume e energia, bem como a produção de lodo, são bem menores.
Sistema	Descrição

LODOS ATIVADOS	A etapa biológica compreende duas unidades: o reator biológico (tanque de aeração) e o decantador secundário. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentadas no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida. Este lodo removido necessita uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.
-----------------------	--

Fonte: VON SPERLING, 1996 - adaptado.

5.7.4 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)

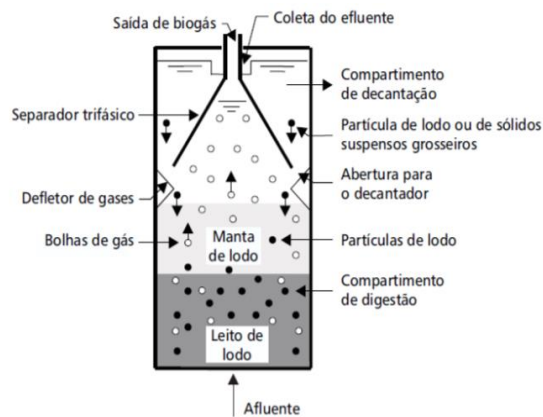
Nesse reator (Figura 8), o esgoto é distribuído pelo fundo, atravessando-o num fluxo ascendente, devendo passar por um manto de lodo (zona na qual ocorre a digestão), sendo, portanto, chamados de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou, em português, Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo.

Segundo VON SPERLING (1996), existem diversas vantagens neste sistema, entre elas a baixa produção de lodo, alta eficiência na remoção de DBO, pequena área para implementação, baixos custos de implementação e operação, consumo de energia reduzido, além da produção de gás combustível (metano).

Os elementos fundamentais para o projeto de um reator UASB são: o sistema de distribuição do esgoto afluente, o separador de fases (líquido-sólido-gás) e o dispositivo de coleta do efluente (METCALF e EDDY INC., 2003).

As desvantagens desse sistema são, a insatisfatória remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos, possibilidade de maus odores, usualmente necessita pós-tratamento.

Figura 13 - Esquema do Reator - UASB



Fonte: CAMPOS, 1999.

5.7.5 Lagoa Facultativa

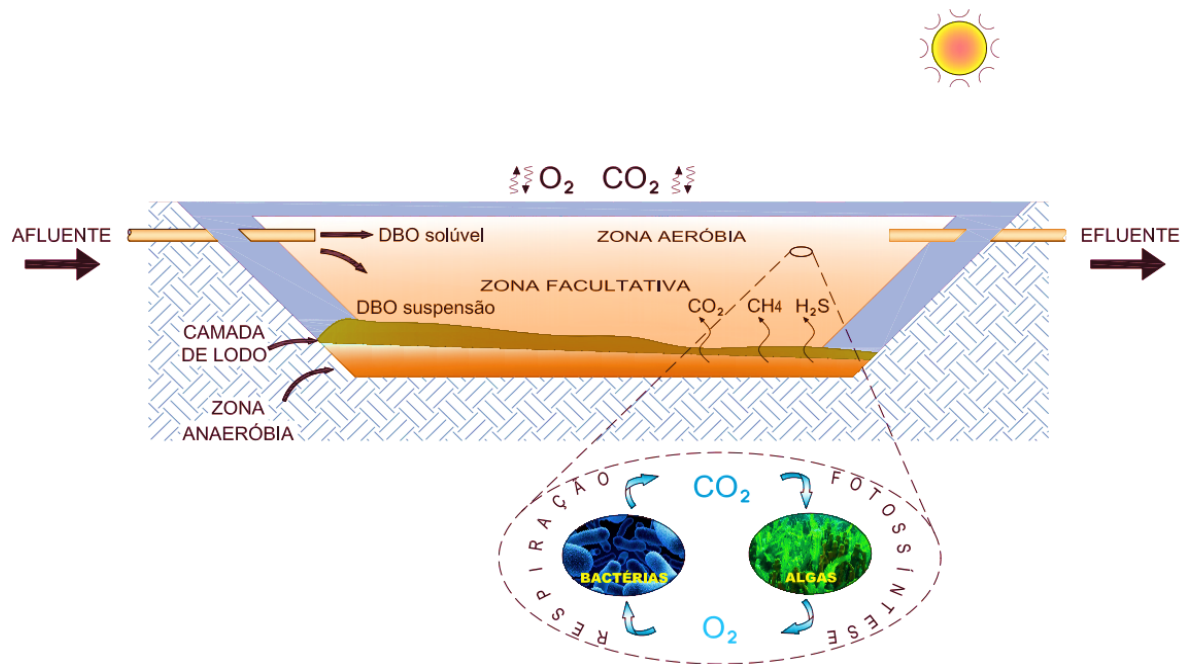
Pode constituir um sistema secundário (Figura 14) como também poderá ser implantada como pós-tratamento (Figura 15), especialmente para lagoas anaeróbias e reatores UASB. O funcionamento ocorre de forma simples e dependendo apenas de fenômenos naturais, em que o esgoto, por vários dias faz o percurso de entrada e saída da Lagoa Facultativa, que é construído por meio de escavação e aterro, diretamente no solo, com eficiência e economia.

Os sólidos inorgânicos e a matéria orgânica em suspensão se sedimentam, constituindo o lodo de fundo que sofre decomposição, sendo convertido em gás carbônico, água, metano, minerais sólidos e solúveis, permanecendo apenas a fração inerte na camada de fundo. A matéria orgânica dissolvida e aquela finamente particulada, permanecem dispersas na massa líquida e sua decomposição ocorre por ação de bactérias facultativas (aeróbias e anaeróbias) que sobrevivem tanto na presença como na ausência de oxigênio. Os minerais solúveis são sintetizados transformando-se em algas.

É recomendado o uso das seguintes dimensões: profundidade entre 1,0 a 2,0 m, com geometria em formato retangular com uma relação largura/comprimento mínima de 1:3, preferencialmente acima de 1:5 nas lagoas facultativas secundárias. A eficiência esperada na lagoa facultativa situa-se entre 70 a 85 % (FUNASA, 2015).

Apesar da necessidade elevada de área para implementação e necessidade de remoção de algas regularmente, este sistema apresenta diversas vantagens, como a alta eficiência de remoção de DBO, implementação simples e operação de baixo custo, sem a necessidade de equipamentos mecânicos.

Figura 14 - Funcionamento da Lagoa Facultativa



Fonte: Adaptado de FUNASA, 2015.

Figura 15 - Lagoas Facultativa primária e secundária, respectivamente.



Fonte: Adaptado de Lógica Ambiental, 2016.

5.7.6 Tratamento Terciário

O tratamento terciário de efluentes consiste na aplicação de processos físico-químicos ou biológicos para a retirada de poluentes específicos que não foram retirados nas etapas anteriores. Alguns desses poluentes específicos podem ser matéria orgânica, compostos não biodegradáveis, nutrientes, metais pesados, entre outros.

Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), o nível de tratamento terciário pode ser obtido por meio da combinação de processos secundários, para otimizar a redução complementar de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos.

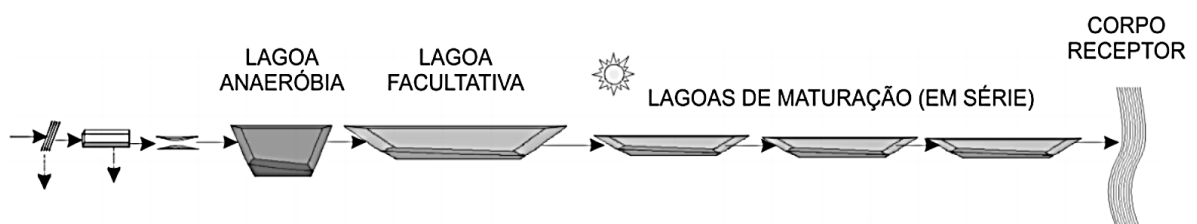
5.7.7 Lagoa de Maturação

As lagoas de maturação (Figura 16) são usadas em estações de tratamentos de esgotos (ETE) principalmente para remoção de organismos patogênicos e de nutrientes. O efeito bactericida nestas lagoas deve-se a vários fatores naturais, incluindo sedimentação, radiação solar ultravioleta, altos valores de temperaturas e de pH, predadores, toxinas liberadas por alguns microrganismos (WHO, 1987).

São lagoas de menores profundidades, onde a penetração da radiação solar ultravioleta e as condições ambientais desfavoráveis causam uma elevada mortalidade dos patogênicos. As lagoas de maturação não necessitam de produtos químicos ou energia, mas requerem grandes áreas. Devido à sua grande simplicidade e baixos custos, são os sistemas mais recomendáveis (desde que haja área disponível). (VON SPERLING, 1996)

Assim como as lagoas facultativas, requer uma grande área para implementação, porém com elevada eficiência na remoção de patogênicos e boa eficiência na remoção de nutrientes, além de baixa profundidade do sistema.

Figura 16 - Fluxograma de lagoas de estabilização e lagoas de maturação



Fonte: Von Sperling (2005).

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são abordados os critérios e a metodologia utilizada para o dimensionamento do sistema de tratamento proposto.

6.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é do tipo aplicada e explicativa, sendo definidos dois tópicos a serem contemplados no desenvolver das atividades práticas: (a) cálculo da estimativa de população de projeto e (b) dimensionamento de sistema de tratamento de águas residuárias para o local da pesquisa. São apresentadas a seguir todas as metodologias usadas na concretização dos objetivos dessa pesquisa.

6.2 Caracterização do efluente

Durante a etapa de dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) é necessária a determinação das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária a ser tratada de forma preliminar. Dadas as semelhanças geográficas e socioeconômicas, foram utilizados dados de amostra de efluentes do município de Taguatinga – TO (VELOSO, 2020).

Tabela 2 - Caracterização de amostra de esgoto bruto do município de Taguatinga - Tocantins

PARÂMETRO ANALÍTICO	RESULTADOS
Temperatura (°C)	25
pH (-)	7,1

DBO (mg/L)	310
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	153
Sólidos Totais (mg/L)	710
Sólidos Fixos (mg/L)	235
Sólidos Voláteis (mg/L)	475
Alcalinidade (mgCaCO_3/L)	241
Cloretos (mg/L)	74
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	31
Ortofosfato solúvel (mgP/L)	3,4
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	$1,0 \times 10^6$

Fonte: VELOSO (2020).

6.3 Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias

Nessa etapa do projeto foram realizados 02 dimensionamentos como propostas para o tratamento das águas residuárias da cidade de Cristalândia (TO), a saber: (a) lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação e (b) lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação.

6.3.1 Cálculo da População de Projeto

Segundo Von Sperling (2005), o período de projeto de uma ETE deve ser relativamente curto, em torno de 20 anos. Nesse trabalho será adotado um período de projeto igual a 20 anos, cuja data final de operação será em 2041. Foram observados valores de crescimento populacional do Município de Cristalândia em 04 diferentes censos populacionais realizados pelo IBGE. De posse desses dados, é realizado, com o auxílio do software Excel, o gráfico de crescimento populacional, com a geração da linha de tendência, que por interpolação dos dados fornecidos, será possível obter a população futura de projeto.

6.3.2 Cálculo da vazão doméstica média (Qd méd)

De acordo com Von Sperling (2005), usualmente a vazão doméstica é composta por esgotos oriundos de domicílios, bem como atividades comerciais e industriais, sendo estas duas últimas com valores não significativos.

O cálculo da vazão doméstica média é dado pela Equação 1, apresentada por Von Sperling (2005).

$$Qd\ med = \frac{Pop \times QPC \times R}{86400} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Pop = população (hab)

Qd méd = vazão doméstica média de esgotos, em L/s;

QPC = quota per capta de água, em L/hab.d;

R = Coeficiente de retorno.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), considera-se o consumo per capta como sendo 150 L/hab.dia (valor utilizado no cálculo de vazões de abastecimento de água em localidades de pequeno porte). O coeficiente de retorno (R) será adotado segundo Von Sperling (2005), como sendo R = 0,8.

6.3.3 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

O sistema 1 é composto de uma série de Lagoa Facultativa e de Maturação. Nessa seção são descritos os procedimentos adotados no dimensionamento desse sistema.

6.3.3.1 Determinação da taxa de aplicação superficial da Lagoa Facultativa (LS)

Segundo Von Sperling (2002), existem diversas equações empíricas disponíveis internacionalmente, que correlacionam a taxa de aplicação superficial (LS)

e a temperatura local da construção da lagoa facultativa. Nessa pesquisa será empregada a correlação proposta por Mara (1997) (Equação 2).

$$L_s = 350 [1,107 - (0,002 \times T_{min})]^{(T_{min}-25)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

L_s = taxa de aplicação superficial (kgDBO5/ha.d)

T_{min} = temperatura média do ar no mês mais frio do ano (°C)

6.3.3.2 Parâmetros de Projeto para a Lagoa Facultativa

Foram adotados, seguindo as recomendações de Mara (1997), os seguintes parâmetros de projeto para a lagoa facultativa: (a) profundidade = 1,8 m, (b) tempo de detenção hidráulica = 40 dias e (c) relação comprimento/largura = 3.

6.3.3.3 Parâmetros de Projeto para a Lagoa de Maturação

Foram adotados, seguindo as recomendações de Von Sperling (2005), os seguintes parâmetros de projeto para a lagoa de maturação: (a) profundidade = 1,0 m, (b) tempo de detenção hidráulica = 12 dias, (c) relação comprimento/largura = 3,0.

O coeficiente de decaimento bacteriano nessa lagoa será calculado através da Equação 3, seguindo recomendações de Von Sperling (2005).

$$Kb = 0,542H^{-1,259} \quad \text{Equação 3}$$

6.3.4 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

O sistema 2 é composto de uma série de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa e de Maturação. Nessa seção são descritos os procedimentos adotados no dimensionamento desse sistema. Os procedimentos adotados nos dimensionamentos das Lagoas Facultativa e de Maturação são os mesmos empregados no dimensionamento do Sistema 1.

6.3.4.1 Determinação da taxa de aplicação volumétrica da Lagoa Anaeróbia (Lv)

A taxa de aplicação volumétrica (Lv), principal parâmetro de projeto das lagoas, é função propõe a relação entre as taxas de aplicação volumétricas e a temperatura, conforme apresentada na Tabela 7.

Tabela 3 - Taxas de aplicação volumétricas admissíveis para projetos de lagoas anaeróbias em função da temperatura local

Temperatura média do ar no mês mais frio (°C)	Taxa de aplicação volumétrica admissível (Lv) (kgDBO/m ³ .dia)
10 a 20	$0,02T - 0,10$
20 a 25	$0,01T + 0,10$
> 25	0,35

Fonte: Von Sperling (2005)

7 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO

7.1 Parâmetros técnicos

7.1.1 Período de projeto

Considerando as diretrizes nacionais para o saneamento básico, definidas na Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007) e Decreto nº 7.217 de 21 de junho de 2010 (Brasil, 2010), os planos nacionais e regionais para o saneamento básico devem ser projetados e revisados sempre com horizonte de vinte anos.

Considerando o período de projeto para o município de Cristalândia - TO de vinte anos e sendo 2021 como o ano inicial, define-se o termino do horizonte de projeto no ano de 2041.

Período de Projeto	Ano Inicial	Ano Final
20 anos	2021	2041

Tabela 4 – Dados de entrada para cálculo da projeção da população

Dados de entrada		
Ano	População	Fonte
1991	10973	IBGE (1991)
2000	7318	IBGE (2000)
2010	7234	IBGE (2010)

Fonte: Autor (2022).

7.1.2 Projeção populacional para o município de Cristalândia – TO

Dois métodos foram utilizados para determinar a estimativa populacional do município para os próximos vinte anos, levando em consideração o perfil populacional do município de Cristalândia – TO, dados do censo do IBGE 2010 e projeção do IBGE para a população do município em 2020.

Hipótese 01: Método Aritmético

$$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_1}$$

Onde:

P_t = população estimada no ano t (adotado: 2041);

P_0 = população de referência inicial;

K_a = coeficiente da curva;

T_2 = população de referência 2.

t = ano final, determinado em período de projeto.

t_0 = ano de referência.

Dados utilizados:

P_0 (2010) = 7.318 hab. (IBGE, 2010);

K_a = -8,4;

T_2 (2020) = 7.234 hab. (IBGE, 2020);

t = 2041;

t_0 = 2010;

Hipótese 02: Método Geométrico

$$P_t = P_0 \times (1 + i)^{(t-t_0)}$$

Onde:

P_t = população estimada no ano t (adotado: 2041);

P_0 = população de referência inicial, (adotado: 2010);

i = taxa de crescimento geométrico;

t = ano final, determinado em período de projeto: 2041;

t_0 = ano de referência: 2010;

$$i = e^{Kg} - 1$$

$$Kg = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_1}$$

Dados utilizados:

$P_{0(2010)} = 7.318$ hab. (IBGE, 2010);

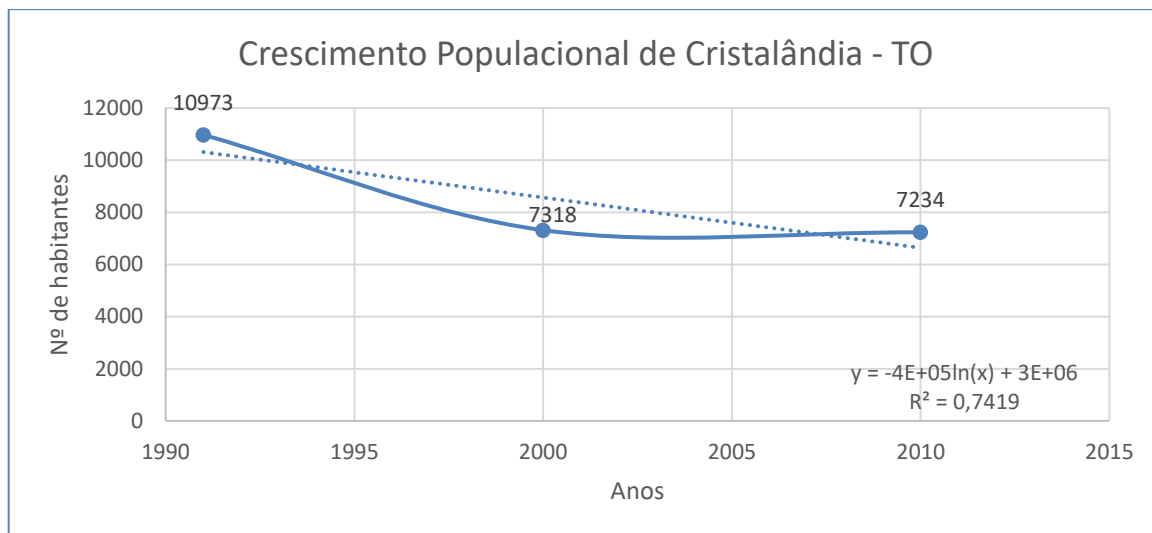
$t = 2041$;

$t_0 = 2010$;

Resultados:

Com o auxílio de planilha eletrônica a partir do software *Microsoft Excel*, foi possível obter os seguintes resultados:

Gráfico 2 – Gráfico do crescimento populacional do município de Cristalândia - TO



Fonte: Autor (2022)

Tabela 5 – Resultados da projeção populacional

População de projeto (nº de habitantes)		
Ano	Aritmético	Geométrico
2031	7058	7143
2041	6974	6980

Fonte: Autor (2022)

7.1.3 População de projeto

Para determinação da população de projeto, foi empregado a média aritmética simples entre os dois métodos de estimativa populacional do município para os próximos vinte anos:

$$Média = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$Pp = \frac{Pt1 + Pt2}{2}$$

$$Pp = \frac{6.974 + 6.980}{2}$$

$$Pp = 6.697 \text{ hab.}$$

Onde:

Pp = população de projeto;

P_{t1} = projeção populacional para o ano de 2041 a partir do método aritmético;
 P_{t2} = projeção populacional para o ano de 2041 a partir do método geométrico;

População de projeto: 6.697 habitantes

7.2 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

O sistema 1 foi dimensionado com o auxílio de planilha eletrônica no software Microsoft Excel. Os parâmetros inseridos e os dados obtidos foram sintetizados nas Tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6 - Dimensionamento de Lagoa facultativa primária

Lagoa Facultativa Primária			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Fonte
Calculo da carga afluyente de DBO (KgDBO/d)	256,06	KgDBO/d	Calculado
Taxa de aplicação superficial (Ls)	320	De acordo com a literatura - entre 240 e 350 KgDBO/hab.d para regiões com	Seção 2.5 a do livro WASTE STABILISATION
Calculo da área requerida (A)	0,80	ha	Calculado
	8001,875	m ² (1 lagoa)	Calculado
	4.000,94	m ² (2 lagoas)	Calculado
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)	Calculado
L/B	2,5	De acordo com a literatura - entre 2 e 4	Seção 2.5 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	40,00468723	m	Calculado
B	100,01	m	Calculado
Área Total Requerida	0,3	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
	10.402,44	m ²	Calculado
	1,04024375	ha	Calculado
Profundidade (H) - (m)	1,8	De acordo com a literatura - entre 1 e 2 metros	Seção 2.5 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da Lagoa Facultativa (V)	14403,375	m ³	Calculado
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	17,4375	dias Ficar entre 15 e 45 dias	Seção 2.5 c do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)			
Coeficiente de remoção de DBO a 20°C (K ₂₀)	0,35	De acordo com a literatura - entre 0,30 e 0,40 d ⁻¹	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de temperatura (Θ)	1,05	Se k=0,35 adota-se 1,085, entretanto, se k=0,30 adota-se 1,05. Para este projeto foi considerado um valor mais conservador de 1.05	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)	0,45	d ⁻¹	Calculado

Concentração de efluente de DBO Solúvel (S)				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Fonte
Fluxo de mistura completa		35,04	mg/L	Calculado
Fluxo em pistão		0,12	mg/L	Calculado
Fluxo disperso	Kt	0,45	d ⁻¹	Calculado
	d	0,4	-	Calculado
	a	3,68	-	Calculado
	Fluxo disperso	7,29	mg/L	Calculado
Concentração de efluente de DBO Particulada				
Concentração de Sólidos Suspensos (SS)		80	De acordo com a literatura - entre 60 a 100 mg/L	Seção 2.6.2 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Capacidade de sólidos suspenso na geração de DBO		0,35	De acordo com a literatura - entre 0,30 a 0,40 mgDBO/L	Seção 2.6.2 do livro WASTE STABILISATION PONDS
DBO Particulada		28	mgDBO/L	Calculado
DBO efluente/Eficiência/Lodo				
DBO Efluente		63,04	mg/L	Calculado
Eficiência		79,66	% de remoção	-
Acumulo de Lodo		0,05	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,08 m³/hab.ano	Seção 2.8do livro WASTE STABILISATION PONDS
		334,85	m³/ano	Calculado
		0,0418	m/ano	Calculado
		4,18	cm/ano	Calculado
		83,69	Espessura em cm em 20 anos	Calculado
Remoção de Coliformes em Lagoa Facultativa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,26	d ⁻¹	-
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,36	d ⁻¹	-
Concentração de Coliforme no Efluente				
Concentração de Coliforme no Efluente	N0	5,00E+07	FC/100mL De acordo com a literatura para esgoto bruto	Adotado
	d	0,4	-	Calculado
	a	3,33	-	Calculado
	N	1,92E+06	FC/100mL	Calculado
Eficiência		96,16	% de remoção	Calculado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 7 - Resultados do dimensionamento das Lagoas Facultativas Primárias

Tabela Resumo - Lagoa Facultativa Primária		
Descrição	Valores	Unidades
Calculo da carga afluente de DBO (KgDBO/d)	256,06	KgDBO/d
Calculo da área requerida (A)	0,80	ha
	8.001,88	m² (1 lagoa)
	4.000,94	m² (2 lagoas)
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	2,50	-
L	40,00	m
B	100,01	m
Área Total Requerida	10.402,44	m²
	1,04	ha
Profundidade (H) - (m)	1,80	m
Volume da Lagoa Facultativa (V)	14.403,38	m³
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	17,44	dias
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)	0,45	d ⁻¹
Efluente Soluvel - Fluxo de mistura completa	35,04	mg/L
Efluente Soluvel - Fluxo em pistão	0,12	mg/L
Efluente Soluvel - Fluxo disperso	7,29	mg/L
Efluente Soluvel Utilizado	35,04	mg/L
DBO Particulada	28,00	mgDBO/L
DBO Efluente	63,04	mg/L
Eficiencia	79,66	% de remoção
Acumulo de Lodo	4,18	cm/ano
	83,69	cm em 20 anos
Concentração inicial de Coliformes Fecais	5,00E+07	FC/100mL
Concentração Final de Coliformes Fecais	1,92E+06	FC/100mL
Eficiência na remoção de coliformes fecais	96,16	% de remoção

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série

3 Lagoas de maturação em série				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Local
Tempo de detenção		5	d -1 / Por lagoa	Tabela 6.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
		15	d -1 / 3 lagoas	Calculado
Volume por lagoa		4.130,00	m³	Calculado
Profundidade (H)		1	m	Calculado
Área (A)		4.130,00	m²	Calculado
		0,413	ha	Calculado
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3	Seção 6.3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Nº de lagoas		3	-	Calculado
L		37,10	m	Calculado
B		111,3103769	m	Calculado
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
		5369	m²	Calculado
		0,54	ha	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente - Fluxo Disperso				
Numero de dispersão (d)		0,33	-	Calculado
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,54	d -1	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,76	d -1	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente - 1 Lagoa de maturação	N0	1,92E+06	FC/100mL	Calculado
	d	0,33	-	Calculado
	a	2,46	-	Calculado
	N	175496,58	FC/100mL	Calculado
Eficiência - 1 lagoa de maturação (E1)		90,85%	% de remoção	Calculado
Eficiência de n lagoas (En)		1,00	% de remoção	Calculado
Concentração final de coliformes no efluente		1,47E+03	FC/100mL	Calculado

Concentração de Coliforme no Efluente - Mistura Completa				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Local
Coeficiente de remoção de coliformes (Kmix) - 20°C		0,99	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	-	Calculado
Correção de temperatura (Kmixt)		1,39	d ⁻¹	Calculado
Concentração final de coliformes no efluente		5,23E+04	FC/100mL	Calculado
Eficiência (E)		97,27%	% de remoção	Calculado
Eficiência de Remoção Geral - Lagoa Facultativa e 3 Lagoas de Maturação				
Fluxo disperso	Eficiência	99,9971%	% de remoção	Calculado
	Coliformes	1,47E+03	FC/100mL	Calculado
	Unidades de log removidas	4,53	Unidades de log removidas	Calculado
Mistura completa	Eficiência	9,99E-01	% de remoção	Calculado
	Coliformes	5,23E+04	FC/100mL	Calculado
	Unidades de log removidas	2,98E+00	Unidades de log removidas	Calculado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 9 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de Maturação

Tabela Resumo - 3 Lagoas de Maturação			
Descrição		Valores	Unidades
Tempo de detenção		5	d -1 Por lagoa
		15	d -1 3 lagoas
Volume por lagoa		4.130,00	m ³
Profundidade (H)		1,00	m
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3
Nº de lagoas		3	-
L		37,10	m
B		111,31	m
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros
		5.369,00	m ²
		0,54	ha
Coliformes - Fluxo disperso	Eficiência	99,9971%	% de remoção
	Coliformes	1,47E+03	FC/100mL
	Unidades de log removidas	4,53	Unidades de log removidas
Coliformes - Mistura completa	Eficiência	99,8955%	% de remoção
	Coliformes	5,23E+04	FC/100mL
	Unidades de log removidas	2,98	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2022).

7.2.1 Resultados do Sistema 1

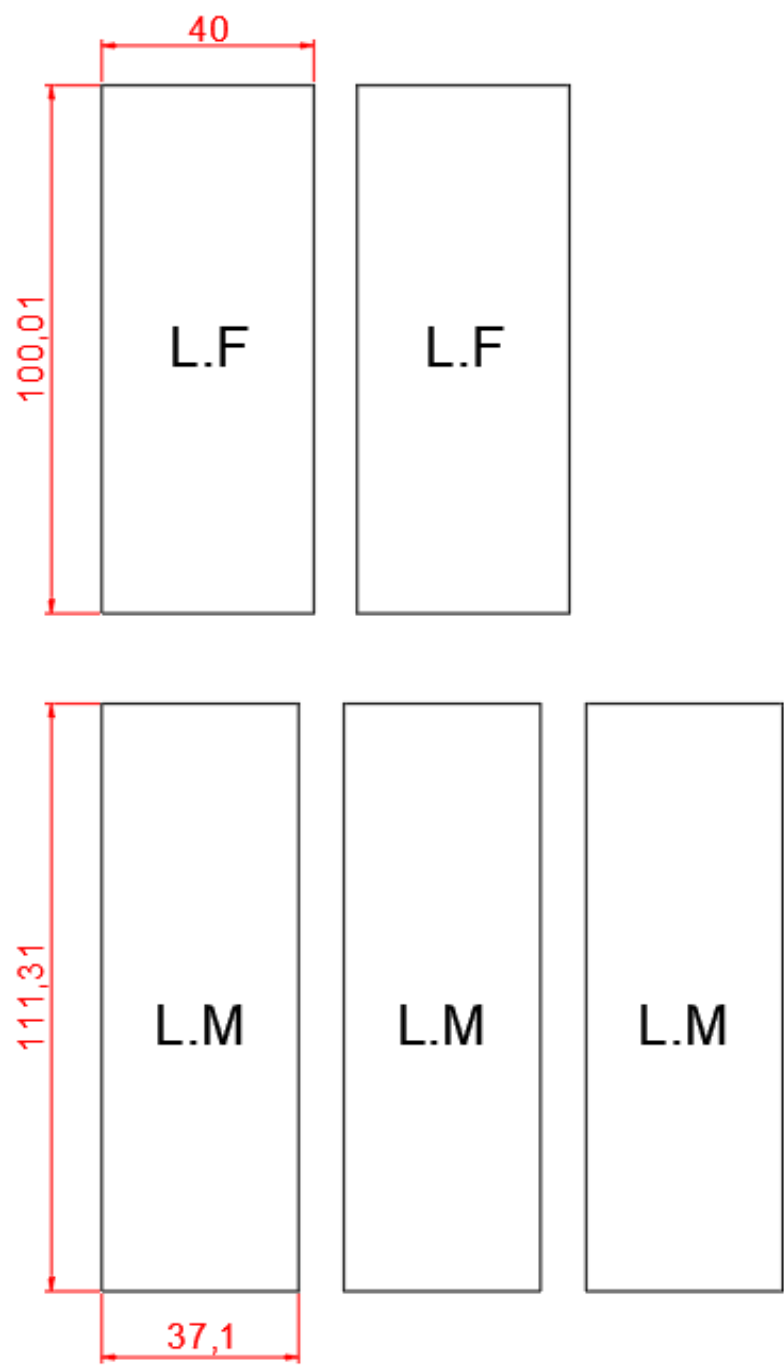
Na Tabela 10, são listados os principais dados encontrados no dimensionamento do Sistema 1 e na Figura 17 é apresentado o modelo esquemático do sistema.

Tabela 10 - Resultados do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

Resumo Final				
Descrição		Valores	Unidades	
Lagoa Facultativa		Nº de Lagoas	2	-
		L/B	2,5	-
		L	40,00	m
		B	100,01	m
		Área Total (+30%)	10.402,44	m²
		Volume	14.403,38	m³
		Tempo de detenção hidráulica (t)	17,44	dias
		Profundidade (H)	1,80	m
		Acumulo de lodo	4,18	cm/ano
		Concentração de DBO efluente	63,04	mg/L
		Eficiencia	79,66	% de remoção
		Concentração Final de Coliformes Fecais	1,92E+06	FC/100mL
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	96,16	% de remoção
Lagoa Maturação	Nº de Lagoas		3	-
	L/B		3	-
	L		37,10	m
	B		111,31	m
	Área Total (+30%)		5.369,00	m²
	Volume (Por lagoa)		4.130,00	m³
	Tempo de detenção hidráulica (t) - Total		15	dias
	Profundidade (H)		1,00	m
	Fluxo Disperso	Concentração Final de Coliformes Fecais	1,47E+03	% de remoção
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,9971%	FC/100mL
		Unidades de log removidas	4,53	Unidades de log removidas
	Mistura Completa	Concentração Final de Coliformes Fecais	5,23E+04	FC/100mL
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,8955%	% de remoção
		Unidades de log removidas	2,98	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2022)

Figura 17 - Modelo esquemático do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação



Fonte: Autor (2022).

7.3 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

Sistema 2 foi dimensionado com o auxílio de planilha eletrônica no software Microsoft Excel. Os parâmetros inseridos e os dados obtidos foram sintetizados nas tabelas 11, 12, 13, 14, 15 e 16 a seguir:

Tabela 11 - Dimensionamento de Lagoas Anaeróbias para o Sistema 2

Lagoa Anaeróbia			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Local
Carga afluente de DBO (L)	256,06	kgDBO/d	calculado
Taxa de aplicação volumétrica (Lv) - kgDBO5/m³.d	0,15	De acordo com a literatura - entre 0,1 a 0,3 KgDBO/m³.d	Seção 3.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da lagoa anaeróbia	1.707,07	m³	calculado
Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	d Tinha dado 2,33, entretanto, o mínimo é de 3, logo adotou-se 3	Seção 3.3 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Profundidade (H)	4,5	De acordo com a literatura - entre 3 e 5 m	Seção 3.3 c do livro WASTE STABILISATION PONDS
Área da lagoa anaeróbia	0,04	ha	calculado
	379,35	m² (1 lagoa)	calculado
	189,67	m² (2 lagoas)	calculado
Nº de lagoas	2	Lagoa(as)	calculado
Concentração de DBO efluente	50,00%	Para T entre 10 e 25 usar 2*T+20, para T maior que 25 adotar 70 - mas neste caso adotado 50% (conservador)	Seção 3.4 do livro WASTE STABILISATION PONDS
	155,00	mg/L Carga Efluente da Lagoa Facultativa	calculado
L/B	2,5	De acordo com a literatura - entre 1 e 3	Seção 3.3 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	8,71	m	calculado
B	21,78	m	calculado
Acumulo de lodo	0,04	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,10 m³/hab.ano	Seção 3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
	267,88	m³/ano	calculado
	0,71	m/ano	calculado
	70,62	cm/ano	calculado
Tempo para acumulo de 1/3 da profundidade	2,12	anos	Seção 3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Área Total Requerida	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	calculado
	493,15	m²	calculado
	0,05	ha	calculado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Anaeróbias Primárias para o Sistema 2

Tabela Resumo - Lagoa Anaeróbia Primária		
Descrição	Valores	Unidades
Carga afluente de DBO (L)	256,06	kgDBO/d
Área da lagoa anaeróbia	0,04	ha
	379,35	m² (1 lagoa)
	189,67	m² (2 lagoas)
Nº de lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	2,50	-
L	8,71	m
B	21,78	m
Área Total Requerida	493,15	m²
	0,05	ha
Volume da lagoa anaeróbia	1.707,07	m³
Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	d
Profundidade (H)	4,50	m
Concentração de DBO efluente	155,00	mg/L (Carga Efluente da Lagoa Facultativa)
Eficiência	50,00	% de remoção
Acumulo de lodo	70,62	cm/ano
Tempo para acumulo de 1/3 da profundidade	2,12	anos

Fonte: Autor (2022).

Tabela 13 - Dimensionamento de Lagoas Facultativas para o Sistema 2

Lagoa Facultativa			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Local
Carga afluente de DBO (KgDBO/d)	128,03	KgDBO/d	Calculado
Taxa de aplicação superficial (Ls)	320	De acordo com a literatura - entre 240 e 350 KgDBO/hab.d para regiões com inverno quente e sol intenso	Seção 2.5 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Calculo da área requerida (A)	0,40	ha	Calculado
	4.000,94	m² (1 lagoa)	Calculado
	2.000,47	m² (2 lagoas)	Calculado
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)	Calculado
L/B	2,5	De acordo com a literatura - entre 2 e 4	Seção 2.5 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	28,29	m	Calculado
B	70,72	m	Calculado
Área Total Requerida	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Calculado
	5.201,22	m²	Calculado
	0,52	ha	Calculado
Área Total Lagoas LA+LF	0,57	ha	Calculado
Profundidade (H) - (m)	1,80	De acordo com a literatura - entre 1 e 2 metros	Seção 2.5 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da Lagoa Facultativa (V)	7.201,69	m³	Calculado
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	15,00	Obteve-se 9,84 dias, entretanto, o mínimo é de 15, logo adotou-se 15 dias.	Seção 2.5 c do livro WASTE STABILISATION PONDS

Coeficiente de remoção de DBO (Kt)				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Local
Coeficiente de remoção de DBO a 20°C (K20)		0,27	De acordo com a literatura - entre 0,25 e 0,32 d -1	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS/Seção 3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,05	Devido k=0,35, se k=0,35 adota-se 1,085, entretanto, se k diferente 0,35 adota-se 1,05	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)		0,34	d ⁻¹	Calculado
Concentração de efluente de DBO Solúvel (S)				
Fluxo de mistura completa		25,13	mg/L	Calculado
Fluxo em pistão		0,88	mg/L	Calculado
Fluxo disperso	Kt	0,34	d ⁻¹	Calculado
	d	0,4	-	Calculado
	a	3,04	-	Calculado
	Fluxo disperso	8,96	mg/L	Calculado
Concentração de efluente de DBO Particulada				
Capacidade de solidos suspenso na geração de DBO		0,27	De acordo com a literatura - entre 0,25 e 0,32 d -1	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS/Seção 3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Concentração de Solidos Suspensos (SS)		80	De acordo com a literatura - entre 60 a 100 mg/L	Seção 2.6.2 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
DBO Particulada		21,6	mgDBO/L	Calculado
DBO efluente/Eficiencia/Lodo				
DBO Efluente		46,73	mg/L	Calculado
Eficiencia		84,93	% de remoção	Calculado
Acumulo de Lodo		0,05	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,08 m³/hab.ano	Seção 2.8do livro WASTE STABILISATION PONDS
		334,85	m³/ano	Calculado
		0,0837	m/ano	Calculado
		8,37	cm/ano	Calculado
		167,39	Espessura em cm em 20 anos	Calculado
Remoção de Coliformes em Lagoa Facultativa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,26	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,36	d ⁻¹	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente				
Concentração de Coliforme no Efluente	N0 lagoa anaeróbia	5,00E+07	FC/100mL De acordo com a literatura para esgoto bruto	Adotado
	N0 lagoa facultativa	5,00E+06	FC/100mL Considerando a remoção de 1 log na anaeróbia	Adotado
	d	0,4	-	Calculado
	a	3,12	-	Calculado
	N	2,62E+05	FC/100mL	Calculado
Eficiência		94,77	% de remoção	Calculado

Fonte: Autor (2022).

Tabela 14 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Facultativas Secundárias para o Sistema 2

Tabela Resumo - Lagoa Facultativa Secundária		
Descrição	Valores	Unidades
Carga afluente de DBO (KgDBO/d)	128,03	KgDBO/d
Calculo da área requerida (A)	0,40	ha
	4.000,94	m ² (1 lagoa)
	2.000,47	m ² (2 lagoas)
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	2,50	-
L	28,29	m
B	70,72	m
Área Total Requerida	5.201,22	m ²
	0,52	ha
Área Total Lagoas LA+LF	0,57	m ²
Profundidade (H) - (m)	1,80	m
Volume da Lagoa Facultativa (V)	7.201,69	m ³
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	15,00	dias
Coeficiente de remoção de DBO	0,34	d ⁻¹
Efluente Solúvel - Fluxo de mistura	25,13	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo em pistão	0,88	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo disperso	8,96	mg/L
Efluente Solúvel Utilizado	25,13	mg/L
DBO Particulada	21,60	mgDBO/L
DBO Efluente	46,73	mg/L
Eficiência	84,93	% de remoção
Acumulo de Lodo	8,37	cm/ano
	167,39	cm em 20 anos
Concentração inicial de Coliformes Fecais	5,00E+06	FC/100mL
Concentração Final de Coliformes Fecais	2,62E+05	FC/100mL
Eficiência na remoção de coliformes fecais	94,77	% de remoção

Fonte: Autor (2022).

Tabela 15 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2

Lagoas de maturação em série			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Local
Tempo de detenção	5	d -1 Por lagoa	Tabela 6.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
	15	d -1 3 lagoas	
Volume por lagoa	4.130,00	m ³	
Profundidade (H)	1,00	m	
Área (A)	4.130,00	m ²	
	0,41	ha	
L/B	3	De acordo com a literatura de 1 a 3	Seção 6.3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Nº de lagoas	3	-	
L	37,10	m	
B	111,31	m	
Área Total das lagoas	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	
	5.369,00	m ²	
	0,54	ha	

Concentração de Coliforme no Efluente - Fluxo Disperso				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Local
Numero de dispersão (d)		0,33	-	
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,54	d ⁻¹	
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,76	d ⁻¹	
Concentração de Coliforme no Efluente - 1 Lagoa de	NO	2,62E+05	FC/100mL	
	d	0,33	-	
	a	2,46	-	
	N	2,39E+04	FC/100mL	
Eficiência - 1 lagoa de maturação (E1)		90,85%	% de remoção	
Eficiência de n lagoas (En)		99,92%	% de remoção	
Concentração final de coliformes no efluente		2,00E+02	FC/100mL	
Concentração de Coliforme no Efluente - Mistura Completa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kmix) - 20°C		0,99	d ⁻¹	
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	-	
Correção de temperatura (Kmixt)		1,39	d ⁻¹	
Concentração final de coliformes no efluente		7,13E+03	FC/100mL	
Eficiência (E)		97,27%	% de remoção	
No Geral a Eficiência de Remoção - Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + 3 Lagoas de Maturação				
Fluxo disperso	Eficiência	99,9960%	% de remoção	
	Coliformes	2,00E+02	FC/100mL	
	Unidades de log removidas	4,40	Unidades de log removidas	
Mistura completa	Eficiência	99,8575%	% de remoção	
	Coliformes	7,13E+03	FC/100mL	
	Unidades de log removidas	2,85	Unidades de log removidas	

Fonte: Autor (2022).

Tabela 16 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2

Tabela Resumo - Lagoas de Maturação			
Descrição		Valores	Unidades
Tempo de detenção		5	d -1
		15	d -1
Volume por lagoa		4.130,00	m³
Profundidade (H)		1,00	m
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3
Nº de lagoas		3	-
L		37,10	m
B		111,31	m
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros
		5.369,00	m²
		0,54	ha
Coliformes - Fluxo disperso	Eficiência	99,9960%	% de remoção
	Coliformes	2,00E+02	FC/100mL
	Unidades de log removidas	4,40	Unidades de log removidas
Coliformes - Mistura completa	Eficiência	99,8575%	% de remoção
	Coliformes	7,13E+03	FC/100mL
	Unidades de log removidas	2,85	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2022).

7.3.1 Resultados do sistema 2

Na Tabela 17, são listados os principais dados encontrados no dimensionamento do Sistema 2 e na Figura 18 é apresentado o modelo esquemático do sistema.

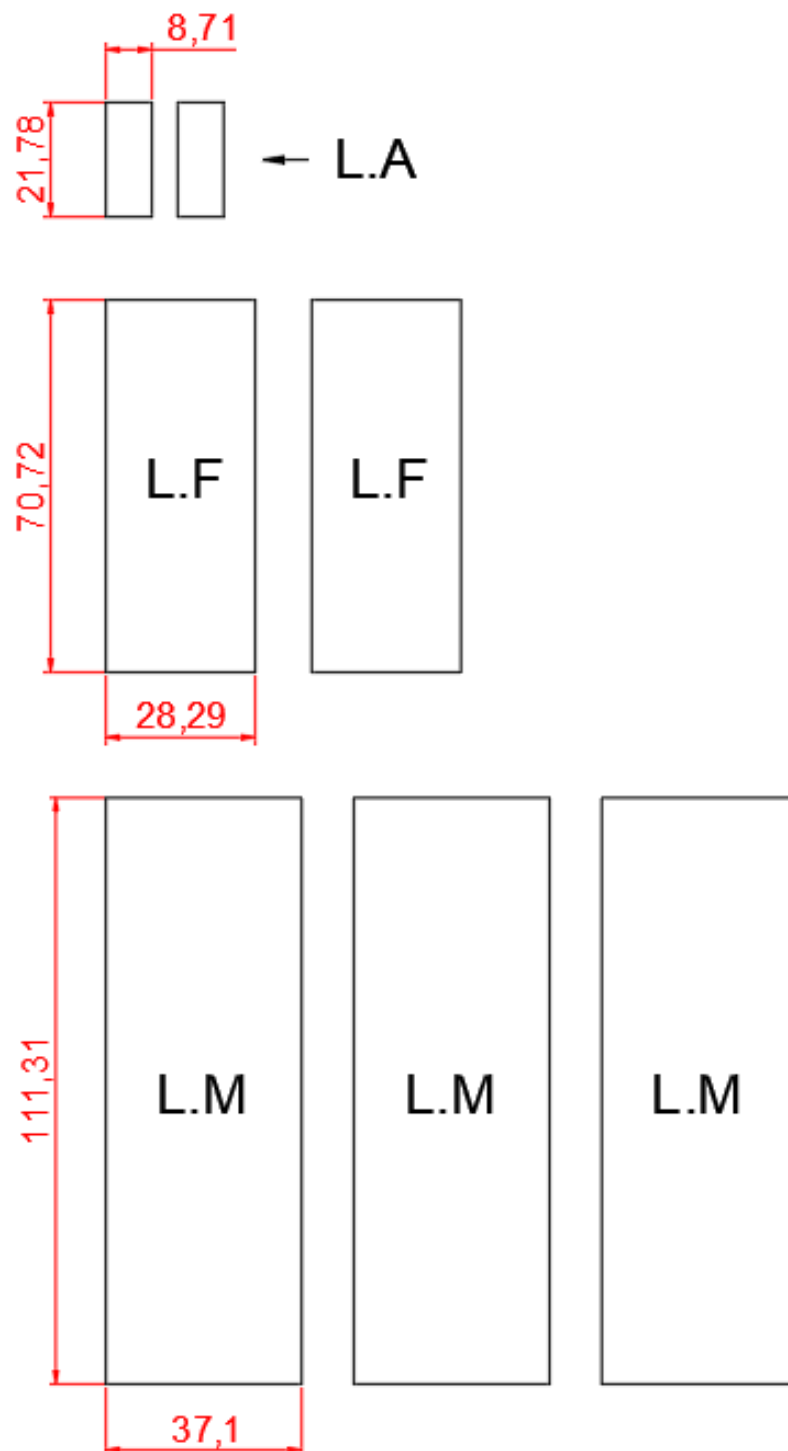
Tabela 17 - Resultados do dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

Resumo Final			
Descrição	Valores		Unidades
Lagoa Anaeróbia	Nº de Lagoas	2	-
	L/B	2,5	-
	L	8,71	m
	B	21,78	m
	Área Total (+30%)	493,15	m²
	Volume	1.707,07	m³
	Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	dias
	Profundidade (H)	4,50	m
	Acumulo de lodo	70,62	cm/ano
	Concentração de DBO efluente	155,00	mg/L
	Eficiência	50,00	% de remoção
Lagoa Facultativa	Nº de Lagoas	2	-
	L/B	2,5	-
	L	28,29	m
	B	70,72	m
	Área Total (+30%)	5.201,22	m²
	Volume	7.201,69	m³
	Tempo de detenção hidráulica (t)	15,00	dias
	Profundidade (H)	1,80	m
	Acumulo de lodo	8,37	cm/ano
	Concentração de DBO efluente	46,73	mg/L
	Eficiência	84,93	% de remoção
	Concentração Final de Coliformes Fecais	2,62E+05	FC/100mL
	Eficiência na remoção de coliformes fecais	94,77	% de remoção

Descrição	Valores		Unidades
Lagoa Maturação	Nº de Lagoas		-
	L/B		-
	L		m
	B		m
	Área Total (+30%)		m²
	Volume		m³
	Tempo de detenção hidráulica (t) - Total		dias
	Profundidade (H)		m
	Fluxo Disperso	Concentração Final de Coliformes Fecais	2,00E+02
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,9960%
		Unidades de log removidas	4,40
	Mistura Completa	Concentração Final de Coliformes Fecais	7,13E+03
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,8575%
		Unidades de log removidas	2,85

Fonte: Autor (2022).

Figura 18 - Modelo esquemático do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação



Fonte: Autor (2021)

8 CONCLUSÃO

Em virtude do que foi exposto, pode-se observar que os dois sistemas de esgotamento sanitário propostos para o município de Cristalândia – TO (Lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação) cumprem com as exigências mínimas das normas vigentes, são de baixo custo de implementação e operação tecnicamente acessível, porém alguns resultados inferem ao Sistema 2 maior viabilidade:

- Menor área total necessária para implementação do Sistema 2. Enquanto o Sistema 1 consome 15.772,38 m² de área para as lagoas, o Sistema 2 necessita apenas de 5.694,37 m². Área 63,89% menor, reduzindo custos e impactos para a região.
- O volume total das lagoas no Sistema 2 é de 21.947,52 m³, 46,72% menor que no Sistema 1 que possui um volume total de 41.196,76 m³, reduzindo o custo com movimentação de terra e simplificando a implementação do sistema.
- A eficiência na remoção de DBO no Sistema 2 é de 84,93% enquanto no Sistema 1 é de 79,66%.
- A eficiência na remoção de coliformes fecais nos dois sistemas foi acima de 99%.

Posto isto, verifica-se que o Sistema 2 tem maior viabilidade para ser utilizado no município de Cristalândia – TO, beneficiando a população da região, garantindo um tratamento de esgoto satisfatório, dentro das condições necessárias e exigidas por normativas técnicas e leis.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1992. 12p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro. 1993. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1986. 5p

CAMPOS, J.R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1. ed. FINEP/PROSAB, 1999, 464p

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 2010. 2^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 588 p. (Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 5).

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Saneamento 2011**. Rio de Janeiro. 2011.

RECESA. **Esgotamento Sanitário**: operação e manutenção de redes coletoras de esgoto. Brasília: Ministérios das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.), 2008.

SANTOS, A.S.P., **Tratamento Preliminar**. Notas de Aula – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2012.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Secretaria Nacional de Saneamento. Brasília, 2019.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos** - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

BRK. **Tratamento de esgoto**. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/tocantins/tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 29 de nov., 2021.

VELOSO, ANDRÉ. **Dimensionamento de sistema de tratamento de esgoto para a cidade de Taguatinga – TO**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Tocantins – Campus Palmas. Palmas, 2022.