

PEDRO HENRIQUE DE FREITAS HENRIQUES

Pré-dimensionamento de uma ETAR para o município de Magé - Brasil

Orientadora: Professora Doutora Carla Rodrigues

Coimbra, 2021

PEDRO HENRIQUE DE FREITAS HENRIQUES

Pré-dimensionamento de uma ETAR para o município de Magé - Brasil

Dissertação apresentada á Escola Superior Agrária de Coimbra
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do
grau de mestre em **GESTÃO AMBIENTAL**

Orientadora: Professora Doutora Carla Rodrigues

Coimbra, 2021

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me sustentado até aqui. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço a minha esposa Kenia, amor da minha vida e maior incentivadora para realizar este mestrado em Portugal.

Agradeço a toda minha família pelo apoio incondicional, em especial minha mãe, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais felizes e também nos mais difíceis da minha caminhada.

Agradeço a minha orientadora, Professora Carla Rodrigues, por toda disponibilidade, paciência, gentileza e dedicação durante esta jornada.

Agradeço aos meus amigos da Prefeitura de Magé que contribuíram muito para realização deste trabalho, nomeadamente, Vanessa Messias, bióloga, Aline Ferreira, geógrafa, Cida Resende, gestora ambiental e Henrique Sobrinho, engenheiro ambiental.

A todos que me apoiaram e incentivaram, o meu muito obrigado.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo realizar o pré-dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) para o município Magé, localizado no estado do Rio de Janeiro, Brasil. O desenvolvimento metodológico é realizado através de pesquisas bibliográficas, consulta às normas e legislações existentes para o tema, levantamento de informações da área de estudo e a realização do pré-dimensionamento dos diferentes órgãos que constituem a proposta de ETAR.

Para o tratamento da fase líquida, o esquema de tratamento é proposto por: gradagem, desarenação, decantação primária, sistema de lamas ativadas de mistura completa e decantação secundária com recirculação de lamas biológicas e extração de lamas em excesso. Para o tratamento da fase sólida, o esquema de tratamento proposto é composto por: espessamento gravítico, estabilização por digestão anaeróbia e desidratação por leitos de secagem.

Os resultados mostram que, considerando o esquema de tratamento proposto, será necessária uma área superficial mínima aproximada de 2 hectares para a construção da ETAR. A localização sugerida considerou aspectos como a altimetria do terreno, a proximidade do rio para descarga do efluente tratado, a distância do centro urbano, e a proximidade da malha rodoviária.

Conclui-se que tratamento proposto respeita a legislação brasileira, tendo em vista que a qualidade do efluente tratado cumpre os limites de descarga legalmente exigidos. Como sugestão para trabalho futuro, propõe-se realizar um estudo de viabilidade econômica do projeto.

Palavras-chave: águas residuais urbanas, ETAR, pré-dimensionamento.

Abstract

The present work aims to perform the pre-dimensioning of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the municipality of Magé, located in the state of Rio de Janeiro, Brazil. The methodological development is carried out through bibliographical research, consultation of existing norms and legislation for the theme, survey of information from the study area and the pre-dimensioning of the different parts that constitute the proposed WWTP.

For the treatment of the liquid phase, the treatment scheme is proposed by: screening, desanding, primary decantation, complete-mix activated sludge system and secondary decantation with recycle of biological sludge and extraction of excess sludge. For the treatment of the solid phase, the proposed treatment scheme consists of: gravity thickening, stabilization by anaerobic digestion and dewatering by bed drying.

The results show that, considering the proposed treatment scheme, a minimum surface area of approximately 2 hectares will be required for the construction of the WWTP. The suggested location considered aspects such as the altimetry of the terrain, the proximity of the river for the discharge of the treated effluent, the distance from the urban center, and the proximity to the road network.

It is concluded that the proposed treatment respects the Brazilian legislation, considering that the quality of the treated effluent complies with the discharge limits legally required. As a suggestion for future work, an economic feasibility study of the project is proposed.

Keywords: urban wastewater, WWTP, pre-dimensioning.

Índice

Índice de figuras.....	VI
Índice de tabelas.....	VII
Índice de quadro.....	IX
Lista de abreviaturas.....	IX
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura	4
2. Estações de tratamento de águas residuais	5
2.1. Conceito de ETAR.....	5
2.2. Caracterização das águas residuais urbanas	6
2.3. Tratamento de AR.....	14
2.3.1. Tratamento preliminar	14
2.3.2. Tratamento primário.....	18
2.3.3. Tratamento secundário.....	19
2.3.4. Tratamento terciário	21
2.3.5. Tratamento da fase sólida.....	24
3. Enquadramento legislativo brasileiro.....	27
3.1. Introdução.....	27
3.2. Principais diplomas ao nível federal	28
3.3. Principais diplomas ao nível estadual	33
3.4. Principais diplomas ao nível municipal	37
4. Caracterização do município de Magé	40
4.1. Introdução.....	40
4.2. Características histórico-geográficas	41
4.3. Características climatológicas	42
4.4. Características socioeconómicas	43
4.5. Características de uso do solo e das principais unidades de conservação ambiental	47
4.6. Características dos recursos hídricos.....	50

4.7. Características de infraestruturas de saneamento.....	56
4.7.1. Abastecimento de água.....	56
4.7.2. Saneamento	58
5. Caso de estudo – ETAR Vila Inhomirim	60
5.1. Estudos preliminares – elementos de base	60
5.1.1. Horizonte de projeto	60
5.1.2. Estimativa populacional	60
5.1.3. Estimativa dos caudais afluentes	66
5.1.4. Caracterização das cargas afluentes	71
5.1.5. Tratamento proposto.....	75
5.1.6 Requisitos de qualidade do efluente tratado	75
5.2. Dimensionamento do sistema de tratamento	77
5.2.1 Canal Parshall	77
5.2.2 Desarenação.....	78
5.2.3 Gradagem	83
5.2.4 Decantação primária	89
5.2.5 Reator biológico - lamas ativadas	93
5.2.6 Decantação secundária	100
5.3. Dimensionamento da fase sólida.....	102
5.3.1 Espessamento	102
5.3.2 Estabilização - digestão anaeróbia	105
5.3.3 Desidratação - leito de secagem	107
6. Resultados e discussões	108
7. Conclusões.....	112
8. Referências bibliográficas.....	114
ANEXO.....	120

Índice de figuras

Figura 1 - Variações típicas de dados de caudais normalizados de sistemas de águas residuais domésticas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).....	6
Figura 2 - Variações de caudais normalizados de sistemas de águas residuais domésticas para pequenas e grandes comunidades (Metcalf & Eddy, 2016).	7
Figura 3 - Efeito do aumento de precipitações em caudais de sistemas de águas residuais domésticas (Metcalf & Eddy, 2016).	8
Figura 4 - Tratamento preliminar convencional (adaptado de INCT ETEs Sustentáveis, 2018).....	15
Figura 5 - Tipos de grades: a) limpeza manual e b) limpeza mecânica (ESAR, 2016). ...	16
Figura 6 - desarenador de fluxo horizontal (Metcalf & Eddy, 2016).....	17
Figura 7- Medidor de caudal Parshall (ESAR, 2016).	18
Figura 8 - Tanque de sedimentação circular (Metcalf & Eddy, 2016).	19
Figura 9 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lamas ativadas (ESAR,2016).	20
Figura 10 - Exemplo de tanque de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2016).....	21
Figura 11 - Remoção de azoto em lamas ativadas: a) desnitrificação a jusante e b) desnitrificação a montante com recirculação de nitrato (adaptado de ESAR, 2016)....	23
Figura 12 - Hierarquia das normas (Oguisso e Schmidt, 1999).	27
Figura 13 - Integração da legislação brasileira sobre o saneamento básico (Revisão do PMSB de Macaé, 2020).....	32
Figura 14 - Localização do município de Magé (Wikipédia, 2021).	40
Figura 15 - Mapa de distritos do município de Magé (Prefeitura de Magé, 2021).....	42
Figura 16 - Precipitação e temperaturas médias mensais do município de Magé nos últimos 30 anos (website Clima Tempo, 2021).	43
Figura 17 - Evolução populacional do município de Magé (IBGE 2021).	44
Figura 18 - Distribuição populacional por distritos (IBGE, 2010).	45
Figura 19 - Distribuição populacional por faixa etária (IBGE 2010).	46
Figura 20 - Uso e cobertura do solo do município de Magé (Atlas CBH-BG, 2021).	48
Figura 21 - Uso e cobertura do solo do município de Magé (PMMA, 2020).....	48
Figura 22 - Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ, 2014).....	51
Figura 23 - Localização de Magé na Região Hidrográfica V (PMSB, 2013).....	51

Figura 24 - Bacias incisas no município de Magé (PMSB, 2013).	54
Figura 25 - Comparação entre diferentes métodos de projeção de crescimento populacional para o distrito de Vila Inhomirim.....	66
Figura 26 – Esquema simplificado do processo de tratamento proposto para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).	75
Figura 27 - Estimativa de área para construção de ETAR (Jordão & Pessoa, 2011).....	109
Figura 28 - Localização proposta para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).....	110
Figura 29 - Raio de 3km para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).....	111

Índice de tabelas

Tabela 1 - Composição típica de águas residuais domésticas (Metcalf & Eddy, 2016). 13	
Tabela 2 - Composição típica de águas residuais domésticas brasileiras (Oberlaender et.al, 2018; Marçal e Silva, 2017; Oliveira et al., 2016).	13
Tabela 3 - Súmula dos padrões de emissão da resolução CONAMA n.º 430 para águas residuais tratadas.	33
Tabela 4 - Padrões de emissão estabelecidos pela Diretriz DZ-215.R-4 para o lançamento de águas residuais tratadas.	35
Tabela 5 - Padrões de emissão estabelecidos pela Norma NT-202.R-10 para o lançamento de qualquer tipo de efluente líquido tratado.	36
Tabela 6 - Distribuição populacional por domicílio em Magé no período de 1970 a 2010 (PMSB, 2013).	44
Tabela 7 - Projeção populacional por distrito em Magé para os próximos 35 anos. (PSRMRJ, 2020).....	46
Tabela 8 - Unidades de Conservação no Município de Magé (PMMA, 2020).....	49
Tabela 9 - Divisão municipal da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005).....	52
Tabela 10 - Principais cursos de água contribuintes da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005).....	53
Tabela 11 - Sistemas de aquíferos da RHBG e suas respectivas áreas totais (PDRH-BG, 2005).....	55
Tabela 12 – Número de habitantes e taxa de crescimento populacional do distrito de Vila Inhomirim entre 1991 e 2010.....	60
Tabela 13 - Comparação entre os diferentes métodos de projeção de crescimento populacional.	65
Tabela 14 - Estimativa dos caudais para o dimensionamento.	71

Tabela 15 - Contribuição per capita utilizada para o dimensionamento.....	72
Tabela 16 - Estimativa da caracterização do afluente à ETAR.....	74
Tabela 17 - Eficiência de remoção (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).	76
Tabela 18 - Eficiência de remoção (adaptado de Von Sperling, 1996).	76
Tabela 19 - Eficiência de remoção de poluentes submetidos aos tratamentos	76
Tabela 20 - Concentração de poluentes submetidos aos tratamentos propostos	77
Tabela 21 - Remoção de areia (adaptado de Jordão & Pessôa, 2011).....	82
Tabela 22 - Estimativa da produção de areia do projeto.	82
Tabela 23 - Classificação das grades (adaptado Jordão & Pessôa, 2011).	83
Tabela 24 - Informação sobre projetos típicos de grades limpas manualmente e mecanicamente (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).	84
Tabela 25 - Parâmetros adotados para o dimensionamento.....	85
Tabela 26 - Produção de gradados de acordo com o espaçamento entre barras (Metcalf & Eddy, 2016).	89
Tabela 27 - Estimativa da produção de gradados do projeto.	89
Tabela 28 – Parâmetros típicos para lamas produzidas em decantadores primários (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).	92
Tabela 29 - Quantidade de lamas produzidas nos decantadores primários.....	93
Tabela 30 - Parâmetros típicos de projetos de lamas ativadas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).....	94
Tabela 31 - Parâmetros típicos de projetos de lamas ativadas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).....	97
Tabela 32 - Parâmetros típicos para lamas produzidas em decantadores secundários (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).	99
Tabela 33 - Quantidade de lamas secundárias produzidas em excesso.	99
Tabela 34 - Resumo de resultados do dimensionamento do tratamento secundário.	102
Tabela 35 - Quantidade de lamas mistas afluentes aos espessadores.	103
Tabela 36 - Parâmetros típicos para lamas mistas após o espessamento (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016 e Jordão & Pessôa, 2011).	105
Tabela 37 - Taxas de aplicação de SSV e tempos de retenção hidráulico em função do tipo de digestor anaeróbio (adaptado de NBR 12209, 2011).	106
Tabela 38 - Compilação do dimensionamento das unidades constituintes da ETAR. .	108
Tabela 39 - Coeficientes K e u para o dimensionamento de canal Parshall.....	120

Índice de quadros

Quadro 1 – Principais características físicas das águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996).....	9
Quadro 2 – Principais características químicas das águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996).....	10
Quadro 3 – Principais microrganismos presentes nas águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996).....	11

Lista de abreviaturas

AR – Águas residuais

ARD – Águas residuais domésticas

ARI – Águas residuais industriais

ARU – Águas residuais urbanas

CBO – Carência bioquímica de oxigénio

CBO₅ – Carência Bioquímica de oxigénio ao final de 5 dias à temperatura de 20°C

CQO – Carência química de oxigénio

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

NT – Azoto total

OD – Oxigénio dissolvido

PT – Fósforo total

Q – Caudal

SDT – Sólidos dissolvidos totais

SSLM – Sólidos suspensos no licor misto

SST – Sólidos suspensos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

SSVLM – Sólidos suspensos voláteis no licor misto

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Nas últimas décadas, as questões hídricas mundiais têm sido motivo de preocupação e discussão nos diferentes níveis da sociedade, tendo em vista que a água constitui um bem essencial para a sobrevivência de todos os seres que habitam o planeta. Apesar de sua importância, é de conhecimento amplo que ao longo dos anos as atividades antropogénicas estão cada vez mais a afetar a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. O crescimento da população mundial aliado ao aumento do consumo de água, ao uso inadequado e à poluição das águas cria uma grande preocupação a nível global.

Em setembro de 2015, os Estados-Membros das Nações Unidas adotaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, um documento que compreende 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas que abordam aspetos sociais, económicos e ambientais do desenvolvimento e procura acabar com a pobreza, proteger o planeta e garantir a prosperidade para todos. O ODS 6, Água potável e Saneamento, chama a atenção das autoridades globais a respeito da necessidade do acesso à água potável e ao saneamento pelas populações de todo o mundo. Para que esse objetivo seja cumprido, há um conjunto de metas a considerar, entre as quais se destacam o acesso universal a água potável; o acesso a saneamento e higiene adequados; a melhoria da qualidade da água (reduzindo a poluição e as descargas, minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente); o aumento da eficiência no uso desse recurso em todos os setores (incluindo o seu uso sustentável) e, ainda, a proteção ou restauração dos ecossistemas (Nações Unidas, 2021; Embrapa, 2018).

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a demanda de água mundial deva aumentar em 50% até 2030. Dois terços da população mundial atualmente vivem em áreas que passam por restrição de água por, pelo menos, um mês ao ano; 844 milhões de pessoas ainda carecem de um serviço básico de água potável; 263 milhões de pessoas gastam mais de 30 minutos por viagem de ida e volta para coletar água de uma fonte melhorada (um serviço limitado de água potável); e 159 milhões de pessoas

ainda coletam água potável diretamente de fontes superficiais, sendo que 58% destas residem na África Subsaariana (WHO e UNICEF, 2017).

O aumento da descarga de águas residuais domésticas não tratadas, o escoamento dos resíduos agrícolas e as águas residuais industriais inadequadamente tratadas representam riscos de degradação da qualidade da água em todo o mundo. Apenas 39 % da população global (2,9 bilhões de pessoas) faz uso de um serviço de saneamento básico seguro, isto é, os excrementos são descartados com segurança *in situ* ou tratados fora do local; 27 % da população global (1,9 bilhão de pessoas) usam instalações de saneamento privadas conectadas a rede de tratamento; 2,3 bilhões de pessoas ainda carecem de serviço de saneamento básico; 600 milhões de pessoas utilizam um serviço de saneamento limitado; e 892 milhões de pessoas em todo o mundo ainda praticam a defecação a céu aberto (WHO e UNICEF, 2017).

Segundo estudos do Banco Mundial (Nações Unidas, 2016), a América Latina é a região que detém a maior quantidade de água doce do planeta, sendo o Brasil, a Colômbia e o Peru países que figuram entre os dez do mundo com maior quantidade deste recurso. Apesar disso, 106 milhões de latino-americanos ainda não dispõem de casa de banho em suas moradas, e 34 milhões não têm acesso permanente à água potável. Outro dado preocupante do Banco Mundial é que mais de 70% das águas são despejadas sem tratamento nos rios e oceanos da região (Nações Unidas, 2016).

O território brasileiro possui uma grande oferta hídrica, entretanto, apresenta uma diferença significativa entre suas regiões no que diz respeito à oferta e à demanda de água. No que tange o tratamento de águas residuais, há uma grande disparidade dentro de um mesmo estado, que pode ter cidades com índices de tratamento elevados e muito baixos, e cidades atendidas por serviços privatizados e outras por serviços públicos (Embrapa, 2018). Segundo dados divulgados pelo Sistema Nacional de Saneamento (SNIS, 2021), referentes ao ano de 2019, 83,7% da população brasileira possui acesso à rede de água tratada e 54,1% têm acesso ao saneamento. Isso significa que ainda há cerca de 35 milhões de brasileiros sem acesso à água tratada e 97 milhões sem acesso ao tratamento das águas residuais.

A questão do saneamento básico brasileiro é um problema grave e, embora afete a todos, os maiores prejudicados são as famílias de baixa renda, muitas residentes em municípios que cresceram sem o devido planejamento e com grandes desigualdades

sociais e ambientais (Embrapa, 2018). Um destes municípios brasileiros é o município de Magé, localizado no estado do Rio de Janeiro. Segundo dados divulgados pelo Sistema Nacional de Saneamento (SNIS, 2021), referentes ao ano de 2019, apenas 44 % da população total do município de Magé foi atendida com os serviços de abastecimento de água e aproximadamente 37% da população foi atendida com o serviço recolha das águas residuais. Estima-se que destas águas residuais recolhidas menos 3% sejam devidamente tratadas, pois, atualmente, existe no município apenas uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) que opera muito abaixo da sua capacidade máxima de tratamento que é de 10 L/s (PMSB, 2013).

Em 2013, foi elaborado o Plano Municipal de Saneamento Básico de Magé (PMSB) que apontou, além de outras medidas, a necessidade de recuperação de duas ETAR e construção de mais sete. Apesar do importante diagnóstico realizado pelo PMSB, pouco foi feito pelo poder público para melhorar a questão do saneamento básico municipal.

Como contributo para o PMSB, esta dissertação apresenta um pré-dimensionamento para uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR).

1.2. Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo geral realizar um estudo prévio para efetuar o pré-dimensionamento de uma ETAR para o município de Magé, através dos seguintes objetivos específicos:

- Revisão das características e processos de tratamento das águas residuais;
- Levantamento da legislação brasileira em vigor;
- Caracterização da área de estudo;
- Dimensionamento dos órgãos de tratamento;
- Proposta de localização para a ETAR.

1.3. Metodologia

O estudo desenvolvido neste trabalho é voltado para finalidade aplicada, pois visa solucionar um problema real, através da elaboração de um projeto de pré-dimensionamento de uma estação de tratamento de águas residuais para um município brasileiro. Quanto à abordagem e procedimento metodológico, o estudo é classificado

como qualitativo e quantitativo, pois seu desenvolvimento ocorre através de pesquisas bibliográficas, normas e legislação existentes para o tema, levantamento de informações da área de estudo e a realização de cálculos para o dimensionamento em questão. Os resultados obtidos poderão ser utilizados como base para orientar possíveis localizações para a instalação da ETAR.

1.4. Estrutura

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. No capítulo 1 é realizada uma introdução indicando o enquadramento e a motivação do trabalho, os objetivos, a metodologia utilizada e, por fim, a estrutura sucessiva dos capítulos da dissertação. No capítulo 2 é realizado o estado da arte relativo à caracterização e ao tratamento das águas residuais urbanas. No capítulo 3 é feito um levantamento da legislação em vigor referente ao saneamento básico com direcionamento para a questão do tratamento de águas residuais, desde o âmbito nacional brasileiro até o âmbito local do município de Magé. No capítulo 4 é realizada a caracterização do município de Magé, para o qual será realizado o pré-dimensionamento de uma ETAR. No capítulo 5 são apresentados os dados de base utilizados e a sequência de cálculos realizadas para o pré-dimensionamento da ETAR Vila Inhomirim. No capítulo 6 são mostrados os resultados e discussões pertinentes para escolha da localização da ETAR. No capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas e proposta futura para seguir esta pesquisa.

2. Estações de tratamento de águas residuais

2.1. Conceito de ETAR

Uma água residual (AR) é toda aquela em que se verifica a alteração das suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, após uso humano. Em Portugal, o Decreto-Lei nº 236/98 classifica as águas residuais em três grupos: i) águas residuais urbanas (ARU) como *“águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais ou com águas pluviais”*; ii) águas residuais domésticas (ARD) são as águas residuais de instalações residenciais e serviços, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas e iii) as águas residuais industriais (ARI) todas as águas residuais provenientes de qualquer tipo de atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais.

No Brasil, o termo águas residuais também é utilizado. Entretanto, usa-se com maior frequência os termos águas residuárias ou esgoto sanitário. Segundo a Norma Brasileira, NBR 9648/1986, esgoto sanitário é definido como *“o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”*. O esgoto doméstico é definido como despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. O esgoto industrial é definido como despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamentos estabelecidos.

O lançamento de águas residuais em corpos hídricos sem o adequado tratamento tem resultado no comprometimento da qualidade da água, principalmente próximo às áreas urbanas, podendo impactar na saúde da população e até inviabilizar o atendimento de usos a jusante, especialmente o abastecimento humano (ANA, 2017). Além do comprometimento à saúde humana, a disposição inadequada das águas residuais provoca impactos negativos ao meio ambiente. Pode reduzir consideravelmente a quantidade de oxigénio dissolvido disponível; afetar a cadeia alimentar através da bioacumulação dos poluentes; causar o fenómeno de eutrofização, devido à introdução de elementos nutritivos ao corpo recetor; e impossibilitar a manutenção da vida aquática (Martins et. al, 2018; ESAR, 2016; Von Sperling, 1996).

Atualmente a preocupação ambiental, tanto por parte da população como de órgãos fiscalizadores, vem aumentando consideravelmente as pressões sobre o poder

público e sobre as companhias de saneamento para implantação de sistemas de tratamento de águas residuais. Neste contexto, a instalação de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é de relevante importância, pois têm como principal função receber e tratar as águas residuais, de forma a serem devolvidas ao meio ambiente em condições ambientalmente seguras. Assim sendo, são um instrumento importante de melhoria da qualidade da saúde humana e proteção ambiental.

2.2. Caracterização das águas residuais urbanas

As características quantitativas e qualitativas das águas residuais geradas em uma comunidade podem sofrer grandes variações. A diversificação de habitantes (quantidade, hábitos, situação social e económica), o clima (variações sazonais) e as diferentes atividades comerciais e industriais realizadas afetam tanto a quantidade como a qualidade da água residual gerada.

Do ponto de vista quantitativo, o caudal afluente à ETAR varia durante as horas do dia, os dias da semana, as estações do ano e de ano para ano, a depender da natureza das descargas no sistema coletor e das fontes de infiltração ou entradas externas (Metcalf & Eddy, 2016). A figura 1 ilustra a variação de caudal ao longo do dia em uma ETAR para uma comunidade de tamanho intermediário, com capacidade de tratamento de 40.000 a 400.000 m³/dia.

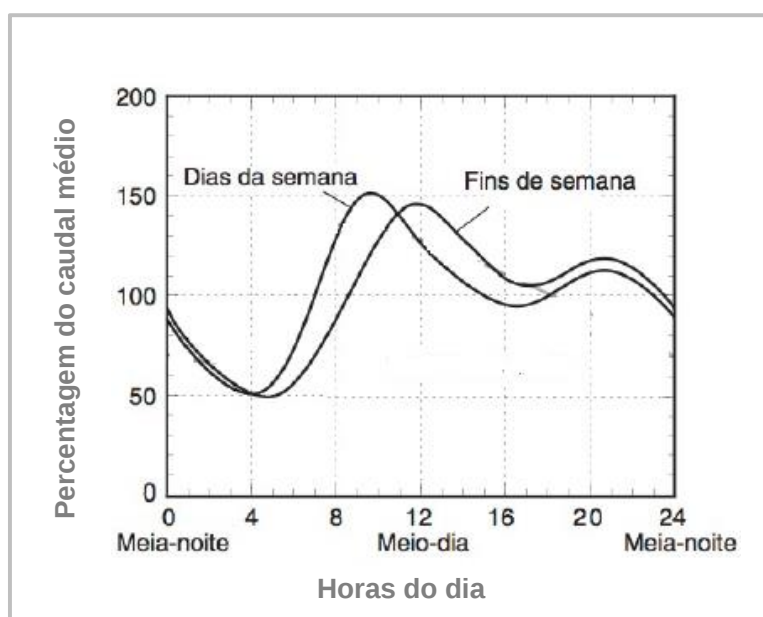


Figura 1 - Variações típicas de dados de caudais normalizados de sistemas de águas residuais domésticas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Com referência à figura 1, os caudais mínimos ocorrem nas primeiras horas do dia quando o consumo de água é menor. O primeiro pico (mais pronunciado) ocorre na parte final da manhã quando a água residual de uso matinal chega à estação de tratamento. O segundo pico (mais distribuído) ocorre no período da noite, entre as 19 e 21 horas. Em finais de semana, o pico matinal é alterado, pois as pessoas tendem a acordar um pouco mais tarde.

Com relação ao tamanho das comunidades, a figura 2 exemplifica as variações de caudal afluyente à ETAR ao longo do dia para pequenas comunidades (com capacidade de tratamento de 4.000 a 40.000 m³/dia) e grandes comunidades (com capacidade de tratamento maior que 400.000 m³/dia).

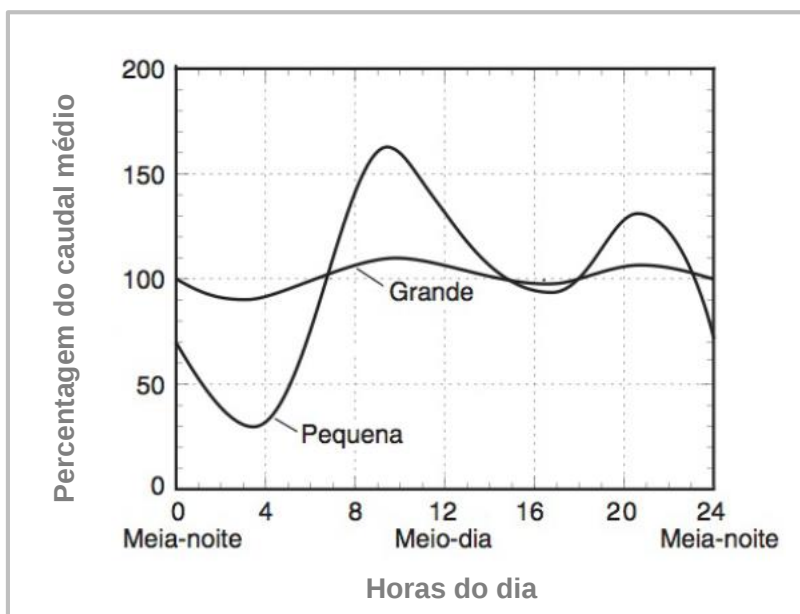


Figura 2 - Variações de caudais normalizados de sistemas de águas residuais domésticas para pequenas e grandes comunidades (Metcalf & Eddy, 2016).

Conforme pode ser observado na figura 2, a diferença entre os caudais máximos e mínimos diminui nas grandes comunidades comparado às pequenas comunidades. Isto ocorre devido ao aumento da capacidade de armazenamento dos sistemas de coleta de grandes comunidades (equalização dos caudais) e à alteração das características económicas e sociais da comunidade (Metcalf & Eddy, 2016).

As variações sazonais também afetam a quantidade de águas residuais a serem tratadas. Em sítios onde as precipitações ocorrem regularmente ao longo do ano, ocorrem menos variações sazonais nos caudais. Em períodos em que as precipitações são maiores, ocorre o aumento dos caudais a serem tratados nas estações,

principalmente em sistemas unitários em que não há separação das águas servidas e pluviais. A figura 3 exemplifica como pode ocorrer a variação do caudal devido uma tempestade.

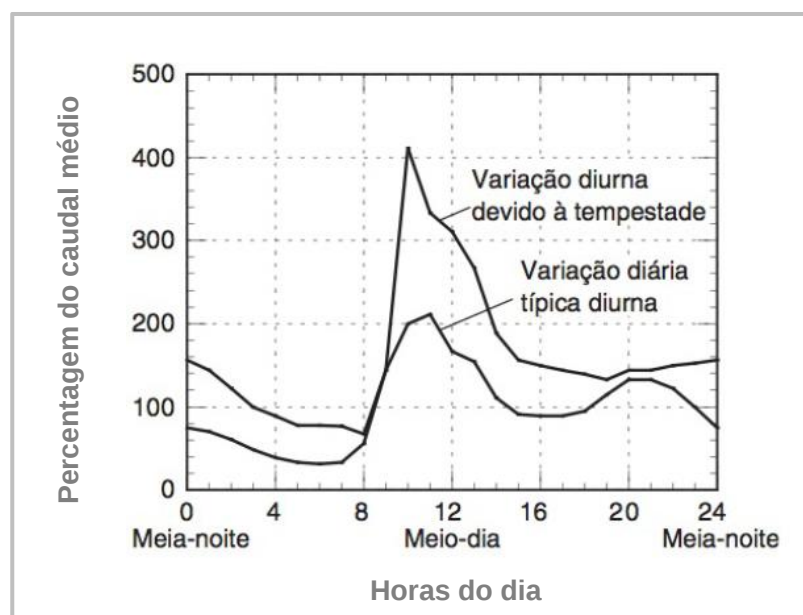


Figura 3 - Efeito do aumento de precipitações em caudais de sistemas de águas residuais domésticas (Metcalf & Eddy, 2016).

Em relação à figura 3, é possível observar o aumento no caudal nas horas de precipitação elevada. Por este motivo também se faz imprescindível, num projeto de dimensionamento de uma ETAR, obter os dados pluviométricos da região de estudo. Deste modo, analisando as componentes quantitativas mencionadas é possível estimar os caudais per capita médios ($L/(\text{hab.dia})$), caudais médios e caudais instantâneos (L/s) para um projeto de dimensionamento de uma ETAR.

Do ponto de vista qualitativo, a composição das AR também é influenciada pelos hábitos da população e atividades realizadas, principalmente quando se trata de população residente em área rural ou urbana. Segundo Metcalf & Eddy (2016), os principais constituintes das águas residuais, originadas de fontes domésticas, municipal e industrial são: excreta humana (fezes e urina), águas de banho, de processamento de alimentos e produtos de manutenção pessoais e domésticos, além de uma grande variedade de outros compostos orgânicos e inorgânicos. Segundo Von Sperling (1996), as águas residuais contêm aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos (orgânicos, inorgânicos) e microrganismos. Portanto, é devido a esta fração de 0,1% que há a necessidade de se tratar as águas residuais.

A qualidade das águas residuais pode ser verificada através de diversos parâmetros que traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. O conhecimento destas características permite verificar potencial poluidor das AR e por consequência o tratamento a ser utilizado.

Segundo Von Sperling (1996), a matéria presente nas águas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes nas águas, que dependendo do seu tamanho, podem estar em suspensão, coloidais ou dissolvidos. De maneira geral são considerados como sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a 10^{-3} μm , como sólidos coloidais aqueles com diâmetro entre 10^{-3} μm e 1 μm e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 1 μm (Von Sperling, 1996). No caso de águas residuais pode-se adotar uma classificação mais simplificada distinguindo-se apenas sólidos dissolvidos e suspensos. O quadro 1 apresenta as principais características físicas das águas residuais.

Quadro 1 – Principais características físicas das águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996).

Parâmetro	Descrição
Temperatura	- Ligeiramente superior a da água de abastecimento. Varia conforme as estações do ano. Influência na atividade microbiana, na solubilidade dos gases e na viscosidade do líquido.
Cor	- Está associada a presença de sólidos dissolvidos. Origem: decomposição da matéria orgânica, ferro e manganês, resíduos industriais e águas residuais domésticas. AR fresca: ligeiramente cinza. AR séptica: cinza escuro ou preto.
Odor	- Está associado a presença de sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e gases dissolvidos. Origem: matéria orgânica em decomposição, algas, gases dissolvidos, despejos domésticos ou industriais. AR fresca: odor relativamente desagradável. AR séptica: odor fétido (desagradável) devido ao gás sulfídrico e a outros produtos de decomposição. Despejos industriais: odores característicos.
Turbidez	- Consiste no grau de interferência à passagem da luz. É causada por uma grande presença de sólidos em suspensão. Origem: partículas de rocha, areia e silte, algas, microorganismos, despejos domésticos e industriais, erosão. AR mais frescas ou mais concentradas: geralmente maior turbidez.
Sólidos Totais * Em suspensão Fixos Voleis * Dissolvidos Fixos Voleis * Sedimentáveis	- Refere-se à matéria que permanece como resíduo após evaporação e secagem de uma amostra a 103 - 105°C. - Parte dos sólidos totais retidos em um filtro com um tamanho de poro específico. - Componentes minerais, não incineráveis, inertes, dos sólidos em suspensão - Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão. - Fração dos sólidos que escoam através de um filtro com um tamanho de poro específico. - Componentes minerais dos sólidos dissolvidos - Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos. - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em uma hora no cone Imhof, indicação aproximada da sedimentação em um tanque de decantação.

As características químicas das AR podem ser interpretadas através de duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica. Ao se submeter um sólido a uma temperatura elevada (550°C), a fração orgânica é volatilizada, permanecendo após a combustão apenas a fração inorgânica. Sendo assim, os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral (Von Sperling, 1996). O quadro 2 apresenta as principais características químicas das águas residuais.

Quadro 2 – Principais características químicas das águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996)

Parâmetro	Descrição
Oxigênio dissolvido (OD)	- É o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, podendo vir a causar a redução de sua concentração no meio e consequentemente a morte de diversos seres aquáticos.
Matéria Orgânica	- Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos. Principais componentes: proteínas, glúcidos e lípidos.
* Determinação indireta CBO ₅	- Carência bioquímica de oxigênio. Medida a 5 dias, 20°C. Está associada à função biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. É uma medida de oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na estabilização química da matéria orgânica.
CQO	- Carência química de oxigênio. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas.
CBO última	- Carência última de oxigênio. Representa o consumo total de oxigênio ao final de vários dias, requerido pelos microrganismos para a estabilização bioquímica da matéria orgânica.
* Determinação direta COT	- Carbono Orgânico Total. É uma medida direta da matéria orgânica carbonácea. É determinada através da conversão direta do carbono orgânico em gás carbônico.
Azoto Total	- O azoto total inclui o azoto orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento do microrganismo no tratamento biológico. O azoto orgânico e a amônia compreendem o denominado Azoto Total Kjeldahl.
* Azoto orgânico	- Azoto na forma de proteínas, aminoácidos e uréia.
* Amônia	- Produzida como primeiro estágio da decomposição do azoto orgânico.
* Nitrito	- Estágio intermediário da oxidação da amônia. Praticamente ausente na AR bruta.
* Nitrato	- Produto final da oxidação da amônia. Praticamente ausente na AR bruta.

Quadro 2 (cont.) – Principais características químicas das águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996).

Parâmetro	Descrição
Fósforo	- O fósforo total consiste na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente indispensável no tratamento biológico.
* Fósforo orgânico	- Combinado a matéria orgânica.
* Fósforo inorgânico	- Ortofosfatos e polifosfatos.
pH	- Potencial hidrogeniônico. Indicador das características ácidas ou básicas das AR. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
Alcalinidade	- Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações de pH. Devido a presença de bicarbonatos, carbonatos e íons hidroxila (OH ⁻).
Cloretos	- Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e graxas	- Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos. Nas águas residuais domésticas, as fontes são óleos e gorduras utilizadas nas comidas.
Micropoluentes inorgânicos	- Grande parte dos micropoluentes inorgânicos são tóxicos e dentre eles destacam-se os metais pesados que se dissolvem na água: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata.
Micropoluentes orgânicos	- São materiais orgânicos resistentes a degradação biológica. Entre eles destacam-se os defensivos agrícolas, alguns tipos de detergentes e um grande número de produtos químicos.

Segundo Whittaker (1969) os seres vivos podem ser classificados em cinco reinos: i) animal, ii) vegetal, iii) fungos (como exemplos cogumelos, leveduras e bolores), iv) protistas (como exemplos amebas, flagelados, esporozoários e algas) e v) monera (como exemplos bactérias e cianobactérias). O quadro 3 apresenta os principais microrganismos presentes nas águas residuais.

Quadro 3 – Principais microrganismos presentes nas águas residuais (adaptado de Von Sperling, 1996)

Microrganismos	Descrição
Bactérias	- Organismos protistas unicelulares. - Apresentam-se em várias formas e tamanhos. - São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.
Fungos	- Organismos aeróbios e anaeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos. - Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica. - Podem crescer em condições de baixo pH.

Quadro 3 (cont.) – Principais microrganismos presentes nas águas residuais
(adaptado de Von Sperling, 1996).

Microrganismos	Descrição
Protozoários	- Organismos unicelulares sem parede celular. - A maioria é anaeróbia e 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 (ADN ou ARN) e uma carapaça proteica. - Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento das AR.
Helmintos	- Animais superiores. - Ovos de helmintos presentes nas AR podem causar doenças.

Os microrganismos patogênicos presentes nas águas residuais são provenientes, principalmente, de fezes e urina e afetam tanto humanos, como plantas e animais (Ferreira et al., 2010). Nos humanos, as bactérias podem provocar doenças tais como gastroenterite, febre tifóide e disenteria bacilar (Barrella, 2008). Os vírus são responsáveis por gripe, gastroenterite aguda, hepatite, caxumba, sarampo, varicela, dengue, poliomielite, rubéola, meningite, encefalite, herpes, pneumonia, entre outras doenças (Komaroff, 2006). Os fungos podem provocar micoses, variando desde lesão superficial que, habitualmente, causa algum desconforto aos pacientes como, por exemplo, as dermatofitoses, até situações graves, disseminadas, de significativa mortalidade quando não diagnosticadas precocemente e tratadas de maneira correta (Capone et al., 2010). Os protozoários podem provocar diarreia, disenteria, gastroenterites e giardíase (Barrella, 2008). Os helmintos são responsáveis por distúrbios digestivos, dores abdominais, anemia, ancilostomose, teníase, strongiloidíase, entre outras doenças (Barrella, 2008).

Na prática, alguns dos principais parâmetros utilizados para avaliar e caracterizar as águas residuais e tratadas são: potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (S. Sed.), oxigênio dissolvido (OD), CBO, CQO, azoto total (NT), azoto

amoniaco (NA), fósforo total (PT), óleos e graxas (OG) coliformes totais (CT) e coliformes fecais (CF). A tabela 1 exemplifica valores típicos de alguns destes parâmetros.

Tabela 1 - Composição típica de águas residuais domésticas (Metcalf & Eddy, 2016).

Parâmetros	Concentração		
	baixa	média	alta
ST (mg.L ⁻¹)	537	806	1612
SDT (mg.L ⁻¹)	374	560	1121
SST (mg.L ⁻¹)	130	195	389
S. Sed. (mg.L ⁻¹)	8	12	23
CBO (mg.L ⁻¹)	133	200	400
CQO (mg.L ⁻¹)	339	508	1016
NT (mg.L ⁻¹)	23	35	69
PT (mg.L ⁻¹)	3,7	5,6	11
OG (mg.L ⁻¹)	51	76	153
CT (N _o /100 mL)	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ¹⁰
CF (N _o /100 mL)	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸

Conforme já mencionado, as características das águas residuais podem variar de acordo com a utilização e hábitos populacionais. A tabela 2 exemplifica valores médios de parâmetros das AR provenientes de ETAR brasileiras.

Tabela 2 - Composição típica de águas residuais domésticas brasileiras (Oberlaender et.al, 2018; Marçal e Silva, 2017; Oliveira et al., 2016).

Parâmetros	ETAR Sapucaia (RJ) ¹	ETAR Pirajá (PI) ²	ETAR Baldo (RN) ³
T (°C)	-	32,2	-
pH	-	7,51	-
ST (mg.L ⁻¹)	-	477,5	-
SDT (mg.L ⁻¹)	-	-	-
SST (mg.L ⁻¹)	-	-	240,65
S. Sed. (mg.L ⁻¹)	-	-	2,78
CBO (mg.L ⁻¹)	353	165,71	439,59
CQO (mg.L ⁻¹)	723	-	742,23
NA (mg.L ⁻¹)	57	-	31,58
PT (mg.L ⁻¹)	-	-	6,48
OG (mg.L ⁻¹)	10	-	-

¹ coleta realizada entre jun de 2015 e jun 2017, ² coleta realizada entre fev 2014 e jan 2015, ³ coleta realizada entre jan 2015 e jan 2016.

Uma compreensão da natureza das águas residuais é essencial para o projeto e a operação de sistemas de coleta, de tratamento, de reuso, e para a gestão da qualidade ambiental (Metcalf & Eddy, 2016).

2.3. Tratamento de AR

Uma ETAR é uma instalação que engloba uma fileira de operações e processos unitários de tratamento destinados a remover as substâncias poluentes e, em certos casos, os microrganismos patogênicos presentes nas AR, de modo a produzir um efluente, água residual tratada (ART), com a qualidade pretendida (ESAR, 2016). Em geral, a ETAR pode integrar quatro níveis de tratamento: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e o tratamento terciário.

2.3.1. Tratamento preliminar

Consiste na remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos recetores. A remoção da areia previne, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc.; caixas de areia, para retenção deste material; e tanques de flutuação para retirada de óleos e graxas. Além das unidades de remoção de sólidos grosseiros, inclui-se também uma unidade para a medição do caudal, que usualmente é constituída por uma calha de dimensões padronizadas, como por exemplo a calha Parshall, onde o valor médio do nível do líquido pode ser relacionado com o caudal (Von Sperling, 1996). A figura 4 ilustra as operações unitárias do tratamento preliminar convencional.



Figura 4 - Tratamento preliminar convencional (adaptado de INCT ETEs Sustentáveis, 2018).

▪ *Gradagem*

A gradagem geralmente é o primeiro processo unitário habitualmente encontrado nas ETAR e tem como objetivo a remoção de sólidos em suspensão e flutuantes de grande dimensão, tais como trapos, panos, plásticos, pedaços de madeira e latas, a fim de proteger os equipamentos a jusante, designadamente bombas, válvulas, tubagens, arejadores, entre outros, assim contribuindo para aumentar a eficiência dos processos de tratamento posteriores (Metcalf & Eddy, 2016; ESAR, 2016). A remoção dos sólidos retidos nas grades (gradados) é feita manual ou mecanicamente, com um ancinho ou pente, cujos dentes deslizam entre as barras e recolhem os detritos para um tabuleiro perfurado, que permite a escorrência da água, que por ser muito poluída, se faz entrar na linha de tratamento (ESAR, 2016). A figura 5 ilustra as grades de limpeza manual e automática. As grades podem ser compostas por barras paralelas, varas ou cabos, arame trançado ou placas perfuradas, com orifícios de quaisquer formas, mas geralmente as abertas têm forma circular ou retangular. São comumente utilizadas no tratamento preliminar dois tipos de grades: as grades grossas, para retenção de gradados maiores do que 6 mm, tais como pedras, galhos, pedaços de madeira, folhas, papel, raízes de árvores, plásticos, garrafas, latas e trapos; e as grades finas, com aberturas entre 0,5 e 6 mm, para retenção de gradados tais como material plástico de tamanhos diversos, lâminas de barbear, areia, restos de comida não decompostos, fezes, etc. (Metcalf & Eddy, 2016). A disposição final do material gradado em aterros sanitários é o método mais comumente utilizado, entretanto, outros métodos como a

incineração e a trituração com posterior retorno do material às AR também são utilizados (Metcalf & Eddy, 2016).

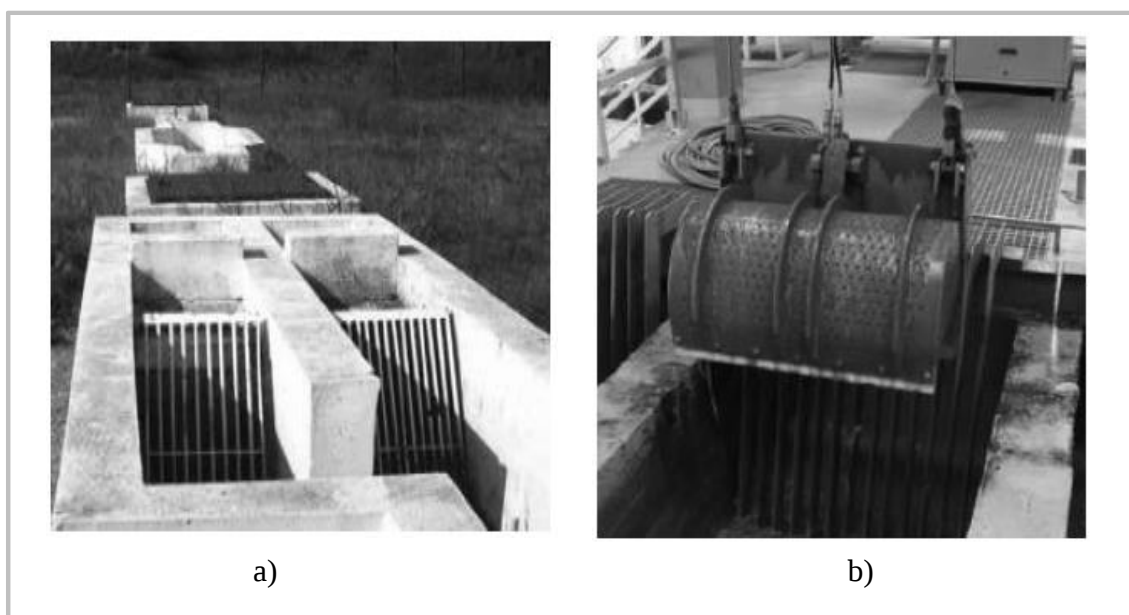


Figura 5 - Tipos de grades: a) limpeza manual e b) limpeza mecânica (ESAR, 2016).

▪ *Desarenação*

A desarenação é uma operação unitária cujo objetivo é remover a areia presente nas águas residuais de forma a proteger os equipamentos a jusante (bombas, válvulas, tubagens, arejadores e difusores) contra o desgaste por abrasão e evitar a deposição de areias em tubagens, canais, decantadores, arejadores e digestores. Assim como a gradagem, esta operação unitária está incluída no tratamento preliminar. O termo areia, em tratamento de águas residuais, integra, além da areia, cascalho, cinzas e outros materiais sólidos pesados que têm velocidade de sedimentação ou gravidade específica substancialmente superiores aos sólidos orgânicos putrescíveis das águas residuais (Metcalf & Eddy, 2016). O mecanismo de remoção da areia é simplesmente o de sedimentação: o grão de areia, devido às suas maiores dimensões e densidade, desloca-se para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, sendo de sedimentação bem mais lenta, permanece em suspensão, seguindo para as unidades a jusante (Von Sperling, 1996). A Figura 6 identifica um desarenador de fluxo horizontal utilizado em ETAR.



Figura 6 - desarenador de fluxo horizontal (Metcalf & Eddy, 2016).

▪ *Medição de caudal*

Segundo Henriques et al (2007), a eficiente operação de uma ETAR depende do conhecimento do caudal a tratar. Desta forma, é importante dispor de medidores de caudal instalados, pelo menos, nos seguintes locais: a entrada da ETAR, a montante do respetivo desvio para o coletor de recurso (bypass) e a saída da ETAR (ESAR, 2016).

Existem diversos tipos de medidores de caudal aplicáveis em ETAR. Atualmente são mais utilizados os medidores eletromagnéticos e ultrassónicos para escoamento em pressão, sendo o canal Parshall o mais aplicado em escoamento em superfície livre (Metcalf & Eddy, 2016).

O medidor de caudal em Parshall é constituído por um canal e por um medidor de nível (Henriques et al., 2007), em que o canal apresenta três secções distintas: uma secção convergente, uma secção estrangulada a garganta, onde também ocorre um abaixamento da soleira do canal e uma secção divergente, em que existe uma ligeira sobrelevação da soleira, conforme pode ser observado na figura 7.



Figura 7- Medidor de caudal Parshall (ESAR, 2016).

2.3.2. Tratamento primário

Após passarem pelas unidades de tratamento preliminar, as AR são direcionadas para o tratamento primário, realizados através dos decantadores primários. O efluente ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados por meio de mecanismos físicos, via decantadores. O efluente flui vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando a lama primária bruta. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície.

▪ *Decantação primária*

A decantação primária tem como objetivo a remoção de sólidos em suspensão facilmente sedimentáveis, de modo a facilitar a remoção de poluentes dissolvidos, em suspensão fina e coloidal em etapas de tratamento subsequentes (ESAR, 2016). As águas residuais fluem vagarosamente através dos decantadores, que podem ser circulares ou retangulares, permitindo que os sólidos em suspensão, possuindo uma densidade maior do que a do líquido circulante, sedimentem gradualmente no fundo (Von Sperling,

1996). Essa massa de sólidos sedimentada é denominada lama primária e não estabilizada. A figura 8 exemplifica um tanque de sedimentação circular típico com alimentador central.

Para otimizar o processo de sedimentação, realiza-se com frequência a coagulação química, que consiste na adição de reagentes químicos (coagulantes) capazes de provocar a desestabilização de partículas coloidais em suspensão na AR, possibilitando a sua subsequente floculação e remoção.

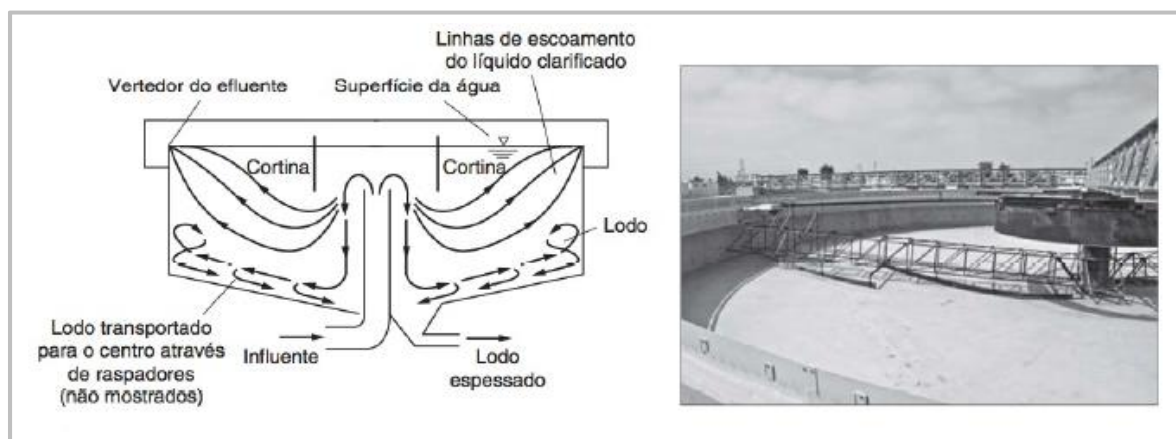


Figura 8 - Tanque de sedimentação circular (Metcalf & Eddy, 2016).

Quando eficientemente operados os tanques de decantação primária podem remover de 50 a 70% de sólidos suspensos e de 25 a 40% de CBO (Metcalf & Eddy, 2016).

2.3.3. Tratamento secundário

Enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos (Von Sperling, 1996). O tratamento secundário processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, de nutrientes como azoto e fósforo. É a etapa de remoção biológica dos poluentes, sendo sua eficiência a responsável por permitir a produção de um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo recetor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas (Von Sperling, 1996).

- *Lamas ativadas*

O sistema de lama ativadas consiste essencialmente em um reator (tanque de arejamento), um decantador (decantador secundário) e um mecanismo de recirculação de lamas, conforme é demonstrado na figura 9. Foi assim nomeado porque envolve a produção de uma massa de microrganismos ativos capazes de estabilizar as AR sob condições aeróbias. As bactérias ativas e ávidas na unidade de decantação secundária retornam para a unidade de arejamento, aumentando gradualmente a sua concentração e por consequência a degradação da matéria orgânica (Von Sperling, 1996).

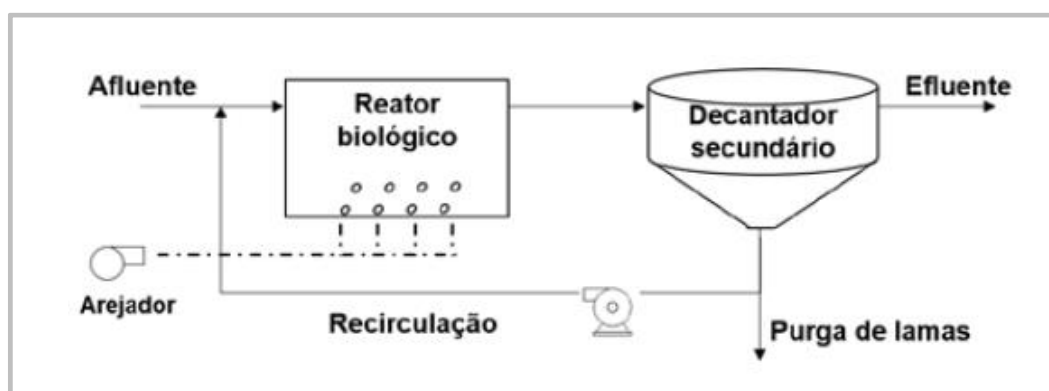


Figura 9 - Esquema das unidades da etapa biológica do sistema de lamas ativadas (ESAR, 2016).

No reator ocorre a mistura entre a água residual a ser tratada e a lama biológica (lama ativada). A esta mistura dá-se o nome de licor misto. Ao deixar o tanque de arejamento, o licor misto é direcionado ao sedimentador secundário, onde a lama biológica será separada da água residual tratada. A lama biológica sedimentada retorna para o tanque de arejamento para continuar a degradação do material orgânico. Uma porção da lama sedimentada é removida periodicamente à medida que o processo produz um excesso de biomassa. Esta purga é realizada para evitar que a biomassa se acumule no decantador secundário com os sólidos não biodegradáveis e seja transferida para a água residual tratada (Metcalf & Eddy, 2016; Von Sperling, 1996). A figura 10 exemplifica uma unidade de lamas ativadas completamente misturados.



Figura 10 - Exemplo de tanque de lamas ativadas (Metcalf & Eddy, 2016).

O sistema de lamas ativadas pode remover de 85 a 93% de CBO, de 30 a 40% de azoto e de 30 a 45% de fósforo (Von Sperling, 1996).

2.3.4. Tratamento terciário

Neste nível de tratamento é realizada a remoção de poluentes específicos, (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, micronutrientes e patogénicos), ou remoção complementar de poluentes não degradados suficientemente nos tratamentos primário e secundário. Este tratamento é utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para as águas residuais.

- *Remoção de nutrientes em reatores de lamas ativadas*

Quando o efluente é descarregado em um meio recetor sensível, justifica-se a inclusão de processos de remoção de nutrientes (azoto e fósforo) na fileira de tratamento de uma ETAR. O azoto e o fósforo são nutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas que provocam a eutrofização das massas de água (ESAR, 2016). O processo de lamas ativadas remove parte dos nutrientes pelo fato destes serem usados no metabolismo dos microrganismos para estabilizar a matéria orgânica. Para além disso, no processo de lamas ativadas é possível adaptar condições de arejamento de modo a conseguir uma sequência de zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias favoráveis à remoção de matéria orgânica carbonada e de azoto e/ou de fósforo.

O azoto pode existir nas AR sob as seguintes formas: inorgânicas, como os iões nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e azoto amoniacal (NH_4^+); orgânicas, como aminas e proteínas; azoto molecular dissolvido (N_2). A remoção biológica de compostos orgânicos azotados presentes nas AR passa pela sua sucessiva transformação até à forma de azoto molecular N_2 , que é um gás inerte, que não origina problemas de poluição na água e que pode ser removido para a atmosfera. Isto significa que o N-org tem que ser convertido bioquimicamente até a forma de N-NH_4^+ e este ser oxidado sucessivamente a N-NO_2^- e a N-NO_3^- . Em seguida, o nitrato deve ser convertido em azoto molecular N_2 (ESAR, 2016).

Em resumo, as principais transformações bioquímicas das formas azotadas presentes nas AR podem ser descritas da seguinte forma:

- aminização – transformação de compostos orgânicos azotados, por ação de microrganismos heterotróficos, em formas azotadas mais simples, como os aminoácidos;
- amonificação – transformação, por ação de microrganismos heterotróficos, dos produtos da aminização em compostos amoniacais;
- nitrificação – oxidação dos compostos amoniacais sucessivamente a nitrito e a nitrato, por ação de bactérias autotróficas aeróbias, designadas por nitrificantes, e cujos géneros mais importantes são as *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*;
- desnitrificação – em condições anóxicas, os nitratos podem ser reduzidos, por ação de bactérias heterotróficas facultativas, designadas por desnitrificantes, a compostos azotados voláteis ou pouco solúveis na água. O azoto molecular N_2 é o produto final mais importante (produzido em maior quantidade) da desnitrificação. Os géneros mais importantes de bactérias desnitrificantes são: as *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Achromobacter* e ainda *Thiobacillus desnitificans*.

A remoção biológica de azoto possibilita a combinação da remoção de CBO e de azoto integrada em único reator de lama ativada ou em dois reatores separados, nos quais se cria uma sequência de zonas anóxicas e aeróbias, todas em regime de mistura completa (ESAR, 2016). A figura 11 esquematiza o processo de remoção de azoto junto ao sistema de lamas ativadas em que a desnitrificação pode estar tanto a montante como a jusante do reator de remoção de matéria orgânica.

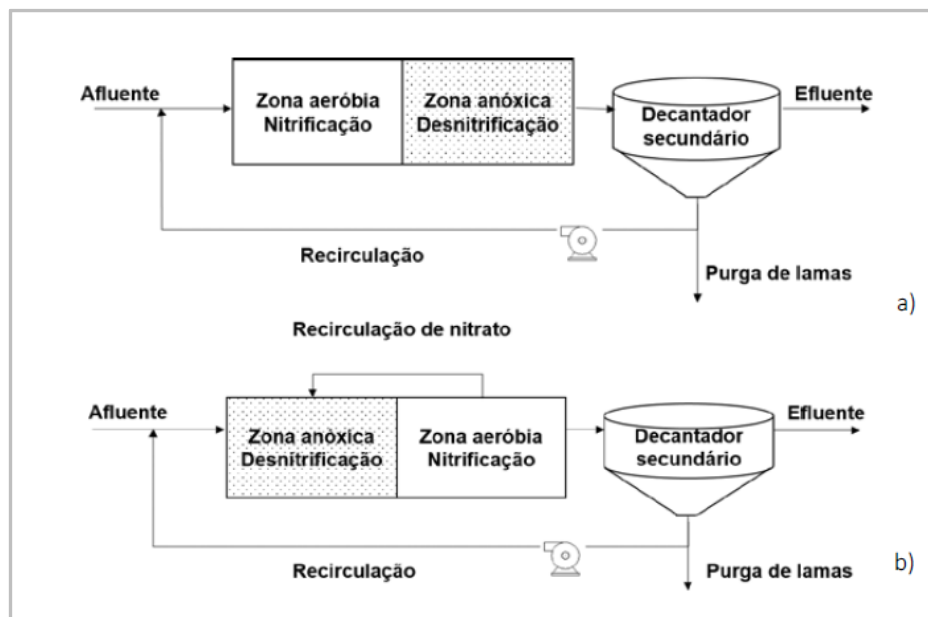


Figura 11 - Remoção de azoto em lamas ativadas: a) desnitrificação a jusante e b) desnitrificação a montante com recirculação de nitrato (adaptado de ESAR, 2016).

Na desnitrificação a jusante ilustrada na Figura 11-a, a fonte de carbono reside na matéria orgânica presente no efluente da zona aeróbia e, caso esta seja insuficiente, será complementada pela respiração endógena da biomassa, situação em que a velocidade de desnitrificação é de 3 a 8 vezes mais reduzida do que na desnitrificação a jusante, requerendo por isso um tempo de retenção hidráulico muito elevado (ESAR, 2016). A desnitrificação a montante (Figura 11-b), também é chamada de desnitrificação por substrato, corresponde ao processo Ludzak-Ettinger modificado e é o mais comum para a remoção biológica de azoto em tratamento de águas residuais municipais (Metcalf & Eddy, 2016). A vantagem deste processo consiste no fato do substrato orgânico ser proveniente da AR afluyente e o nitrato produzido no tanque de arejamento retornar ao tanque anóxico.

O fósforo presente nas águas residuais pode ser removido através de tratamento químico, biológico ou combinação de ambos. O tratamento químico utilizando sais de alumínio ou de ferro, seguidos de filtração terciária ou de separação por membranas é a tecnologia mais comumente utilizada para obter baixas concentrações de fósforo em efluentes (Metcalf & Eddy, 2016). Apesar de o tratamento químico ser eficaz e de simples operação, apresenta como desvantagens o custo elevado e a geração de lamas inorgânicas, que são produto da precipitação química. Por esta

razão, o uso de tratamento biológico de sido cada vez mais realizado e estudado. A remoção de fósforo por processos biológicos envolve a utilização de bactérias denominadas Organismos Acumuladores Fósforo (OAF) que incorporam e libertam o fósforo em condições aeróbias e anaeróbias controladas. Segundo Metcalf & Eddy (2016) o uso destas bactérias pode proporcionar mais de 80% de remoção biológica de fósforo e oferece vantagens como menores custos com produtos químicos e menores quantidades de lamas produzidas comparadas ao tratamento químico.

- *Desinfecção*

A desinfecção é o processo unitário que tem por objetivo reduzir a quantidade de microrganismos patogénicos presentes nas AR, eliminando-os ou reduzindo-os até um nível compatível com a proteção da saúde pública, antes da sua descarga no meio recetor ou da sua reutilização (ESAR, 2016).

A desinfecção é, geralmente, obtida com o uso de agentes químicos ou radiação não-ionizante. O cloro, seus derivados e o ozônio são os principais compostos químicos utilizados, assim como a radiação ultravioleta (UV) é a forma de radiação eletromagnética mais comum utilizada para a desinfecção (Metcalf & Eddy, 2016).

A cloragem, ou cloração, consiste na adição de compostos clorados para oxidar compostos orgânicos e inorgânicos (cianetos, sulfuretos, sulfitos, nitritos, brometos, ferro e manganês) e para destruir os patogénicos existentes. Os compostos clorados mais utilizados para desinfecção da água são: hipoclorito de sódio (NaOCl), cloro gasoso (Cl₂) e dióxido de cloro (ClO₂).

Após a desinfecção, a qualidade do efluente final tratado deve estar de acordo com os limites de descarga exigidos pela legislação ambiental.

2.3.5. Tratamento da fase sólida

Após a realização do tratamento das águas residuais, obtém-se uma corrente designada fase líquida (AR tratada) e outra designada fase sólida, que deve ser tratada antes de ser encaminhada à destinação final adequada. De maneira geral, esta fase sólida é composta pelos seguintes subprodutos: material gradado, areia, espuma, lama primária e lama secundária. Segundo Von Sperling (1996), dentre estes subprodutos, os principais em termos de volume e importância são as lamas, que podem exibir

características indesejáveis, como instabilidade biológica, possibilidade de transmissão de patógenos e grandes volumes. O tratamento de lamas tem como principal objetivo gerar um produto mais estável e com menor volume para facilitar seu manuseio e, conseqüentemente, reduzir os custos nos processos subsequentes (Pedroza et al, 2010). Segundo Cassini (2003), o tratamento de lamas, inclui, usualmente, uma ou mais das seguintes etapas:

- Adensamento: redução de umidade (redução de volume);
- Estabilização: redução de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica);
- Desidratação: redução adicional de umidade (redução de volume);
- Disposição final: destinação final dos subprodutos.

O adensamento de lamas, também chamado de espessamento, é um processo utilizado para aumentar a concentração sólidos pela remoção de uma parcela da fração líquida com o objetivo de diminuir o volume das lamas de modo a beneficiar os as operações e processos subsequentes, tais como a estabilização, a desidratação e a secagem considerando-se os seguintes aspectos: capacidade necessária de tanques de armazenagem e equipamentos de processamento, consumo de produtos químicos para o condicionamento das lamas e demanda de energia necessária para o aquecimento dos digestores e para as operações de secagem. O espessamento pode reduzir o volume das lamas em até cinco vezes e os métodos mais comuns são: por gravidade, flotação com ar dissolvido, centrífuga, prensa desaguadora gravitacional e tambor rotativo (Metcalf & Eddy, 2016).

Os processos de estabilização das lamas foram desenvolvidos com o objetivo de reduzir a concentração de patógenos; eliminar maus odores; e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação (Metcalf & Eddy, 2016). A estabilização das lamas se dá através dos seguintes processos: digestão aeróbia, digestão anaeróbia, compostagem, estabilização química e estabilização térmica (Luduvic, 2001). Destes, o método mais usado é a digestão anaeróbia, em que microrganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica, em bioreatores. A produção de biogás que resulta da digestão anaeróbia é usada para produção de energia térmica e/ou elétrica, contribuindo para a redução dos custos do processo (Gonçalves, 2017).

O condicionamento é um processo físico, químico ou biológico utilizado para obter um adensamento ou desaguamento (desidratação) eficaz das lamas. Para sistemas de desaguamento específicos como centrifugação, prensas desaguadoras por correias, prensas rotativas, extrusoras e filtros prensa, as lamas devem ser condicionadas quimicamente. O condicionamento químico consiste na adição de compostos inorgânicos e polímeros solúveis em água que resultam na floculação (agregação) das partículas presentes nas lamas de modo a tornar mais eficiente a operação de separação sólido-líquido (Metcalf & Eddy, 2016).

Depois destes processos, as lamas apresentam ainda um elevado teor de humidade. O desaguamento ou desidratação das lamas, que surge na final da linha do tratamento da fase sólida na ETAR, tem como objetivo reduzir a humidade e volume para: diminuir os custos associados ao transporte para o local de disposição final; facilitar a compostagem, incineração e secagem térmica das lamas; proceder estabilização biológica e diminuir a emissão de odores indesejáveis; e minimizar a produção de lixiviados em aterros sanitário (Metcalf & Eddy, 2016). A desidratação pode ser concretizada usando dois tipos de processos: natural ou mecânico. Os processos naturais incluem: leitos de secagem e lagoas. Nos processos mecânicos são usados equipamentos como centrifugas, filtros de prensa, extrusoras, prensas rotativas, entre outros. Os processos mecânicos podem reduzir o percentual de sólidos nas lamas em valores superiores a 95% (Metcalf & Eddy, 2016).

O tratamento e deposição das lamas devem ser geridos por forma a minimizar problemas ambientais, como odor e lançamento no ambiente de contaminantes e patogénicos (Halley & Miller, 1991). Entre as principais opções de deposição de lamas no ambiente encontram-se: 1) deposição no solo (uso agrícola, florestas, áreas de recuperação); 2) deposição em aterro; 3) deposição no mar; 4) incineração (Matthews, 1992).

3. Enquadramento legislativo brasileiro

3.1. Introdução

O Brasil, como todo país democrático, exerce sua soberania através de três poderes: o legislativo, o executivo e o judiciário. O poder legislativo tem como função primordial a elaboração e a revisão do conjunto de leis que rege a vida da população e o funcionamento do Estado e está dividido em três níveis: federal ou nacional, estadual e municipal. O primeiro, exercido pelo Congresso Nacional, que é formado pela Câmara dos Deputados e pelo Senado Federal; o segundo exercido pela Assembleia Legislativa em cada Estado; e, o terceiro exercido pela Câmara Municipal, composta por vereadores (Balbino e Machado, 2011).

No que diz respeito á hierarquia das normas, a Constituição (ou Carta Magna) é a lei suprema, e abaixo dela estão as leis complementares, leis ordinárias, leis delegadas, medidas provisórias, decretos legislativos, resoluções e portarias e, por último, os contratos e sentença, conforme apresentado na Figura 12.

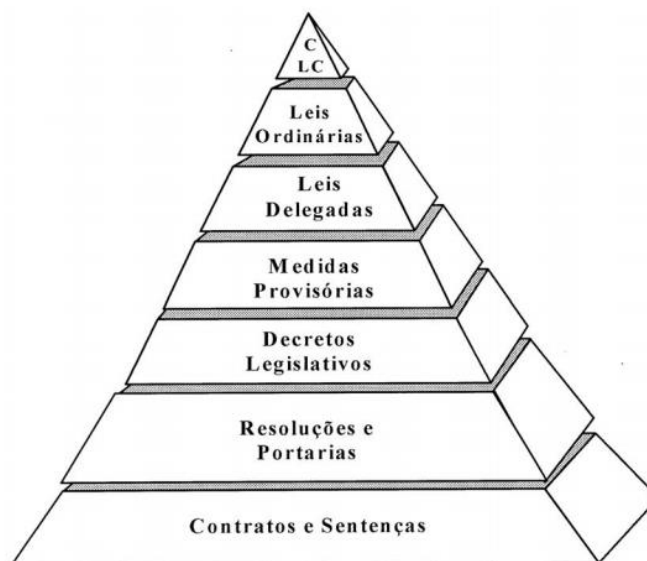


Figura 12 - Hierarquia das normas (Oguisso e Schmidt, 1999).

Em termos de legislação ambiental, o Brasil possui um conjunto de leis considerado como um dos mais completos e avançados do mundo, sendo norteador de grandes discussões político-ambientais, as quais priorizam em sua maioria a proteção ambiental, mas que, sobretudo, colocam o desenvolvimento sustentável como ponto central de todas as questões (Balbino e Machado, 2011).

Entretanto, apesar do país ter alcançado certo destaque no cenário internacional, ainda necessita avançar internamente em questões de enorme importância no âmbito do meio ambiente, como por exemplo o saneamento básico. A regulação deste setor no país tem sofrido diversas alterações nos últimos anos com o principal objetivo de alcançar a universalização dos serviços de abastecimento de água potável e esgotamento sanitário.

A seguir serão apresentados os principais diplomas que tratam da questão do saneamento básico no Brasil ao nível nacional (federal), estadual e municipal.

3.2. Principais diplomas ao nível federal

A constituição brasileira, de 5 outubro de 1988, menciona o saneamento básico em três artigos do seu texto. A primeira referência consta em seu art. 21º, inciso XX, que atribui à União a competência para *“instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos”*. A segunda citação encontra-se no art. 23º, inciso IX, que prevê ser competência comum da União, Estados, Distrito Federal e Municípios a promoção de *“programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico”*. A terceira menção está no art. 200º, inciso IV, que dispõe que compete ao Sistema Único de Saúde (SUS), nos termos da lei, *“participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico”*.

Em 5 de janeiro de 2007 foi promulgada no Brasil a Lei n.º 11.445/2007, chamada de “Lei do Saneamento”, que estabeleceu as diretrizes nacionais e definiu o planejamento dos serviços básicos como instrumento fundamental para se alcançar o acesso universal do saneamento básico. Dentre as medidas mais importantes, a Lei do Saneamento prevê a obrigatoriedade dos municípios em elaborar o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) para que os mesmos possam receber verbas, provenientes do Governo Federal, para realização de obras de saneamento. Em 15 de julho de 2020, foi promulgada a Lei n.º 14.026/2020, o “Novo Marco Legal do Saneamento Básico”. A referida lei atualizou a Lei n.º 11.445/2007 de 5 de janeiro, que durante 13 anos constituiu o marco regulatório mais importante e abrangente para o saneamento básico no país.

Saneamento básico, segundo o art. 3º da redação dada pela nova lei, é o conjunto de serviços, 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 reuso 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;

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.

Dentre as medidas mais importantes estabelecidas, o Novo Marco Legal prevê a obrigatoriedade dos contratos estipularem metas de desempenho e de universalização dos serviços; adota como princípio a regionalização dos serviços de saneamento; promove mudanças substanciais na sua regulação e estimula a concorrência e a privatização das empresas estatais de saneamento.

Segundo dados divulgados pelo Sistema Nacional de Saneamento (SNIS, 2021), referentes ao ano de 2019, 83,7% da população brasileira possui acesso à rede de água tratada e 54,1% tem acesso ao sistema de esgotamento sanitário. Neste contexto, a Lei n.º 14.026/2020 de 15 de julho estipula metas a serem cumpridas de modo a ampliar o

acesso da população ao abastecimento de água e esgotamento sanitário. De acordo com a Lei referida, *“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”* (art. 11-B da Lei 11.445/2007 de 5 de janeiro, com redação dada pela Lei n.º 14.026/2020 de 15 de julho).

A prestação regionalizada é outro importante instrumento tratado pela nova lei. É definida como a modalidade de prestação integrada de um ou mais componentes dos serviços públicos de saneamento básico em determinada região cujo território abranja mais de um município, podendo ser estruturada em: (a) região metropolitana, aglomeração urbana ou microrregião: unidade instituída pelos Estados mediante lei complementar, de acordo com o § 3º do art. 25 da Constituição Federal, composta de agrupamento de Municípios limítrofes e instituída nos termos da Lei n.º 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole); (b) unidade regional de saneamento básico: unidade instituída pelos Estados mediante lei ordinária, constituída pelo agrupamento de Municípios não necessariamente limítrofes, para atender adequadamente às exigências de higiene e saúde pública, ou para dar viabilidade econômica e técnica aos Municípios menos favorecidos; e (c) bloco de referência: agrupamento de Municípios não necessariamente limítrofes, estabelecido pela União nos termos do § 3º do art. 52 desta Lei e formalmente criado por meio de gestão associada voluntária dos titulares (art. 3º, VI, alíneas “a”, “b” e “c”, da Lei n.º 11.445/2007, incluídos pela Lei n.º 14.026/2020).

No que diz respeito à regulação, a competência da Agência Nacional de Águas foi substancialmente ampliada pela Lei n.º 14.026/2020. A entidade teve o nome alterado para Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e, além de regular a água, passa a ter a competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços de saneamento, zelando pela uniformidade regulatória.

Outra importante medida imposta pela Lei n.º 14.026/2020 é a obrigatoriedade de concorrência para a seleção da proposta mais vantajosa para a prestação dos serviços de saneamento básico, obrigando as empresas estatais do setor a competir em

igualdade de condições com as empresas privadas por esses contratos. Desta forma, não será mais possível contratos firmados sem concorrência e celebrados diretamente entre os titulares dos serviços e as concessionárias, conforme o art. 10º da Lei n.º 11.445/2007 de 5 de janeiro, com redação dada pela Lei n.º 14.026/2020 de 15 de julho:

“A prestação dos serviços públicos de saneamento básico por entidade que não integre a administração do titular depende da celebração de contrato de concessão, mediante prévia licitação, nos termos do art. 175 da Constituição Federal, vedada a sua disciplina mediante contrato de programa, convênio, termo de parceria ou outros instrumentos de natureza precária”.

Por fim, o Novo Marco Legal assegurou o controle social, que é “o conjunto de mecanismos e procedimentos que garantem à sociedade informações, representações técnicas e participação nos processos de formulação de políticas, de planejamento e de avaliação relacionados com os serviços públicos de saneamento básico” (art. 3º, IV, da Lei n.º 11.445/2007, com redação dada pela Lei n.º 14.026/2020). Como exemplos, pode-se citar a participação em consultas e audiências públicas realizadas pela ANA no exercício da atividade regulatória, a participação em órgãos colegiados nacionais de caráter consultivo e o formato de dados abertos das informações públicas do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SNIS).

Complementa os marcos legais anteriormente referidos: a Lei Nacional de Meio Ambiente n.º 6.938/1981, de 31 de agosto; a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) n.º 9.433/1997, de 8 de janeiro; a Lei da Política Nacional de Educação Ambiental n.º 9.795/1999, de 27 de abril; a Lei dos Consórcios Públicos n.º 11.107/2005, de 6 de abril e seu Decreto Regulamentador n.º 6.017/2007, de 17 de janeiro; e a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos n.º 12.305/2010, de 2 de agosto.

A figura 13 integra a legislação anteriormente mencionada com o Ministério do Desenvolvimento Nacional e o Ministério do Meio Ambiente, órgãos responsáveis pelo gerenciamento da política de saneamento básico do país.

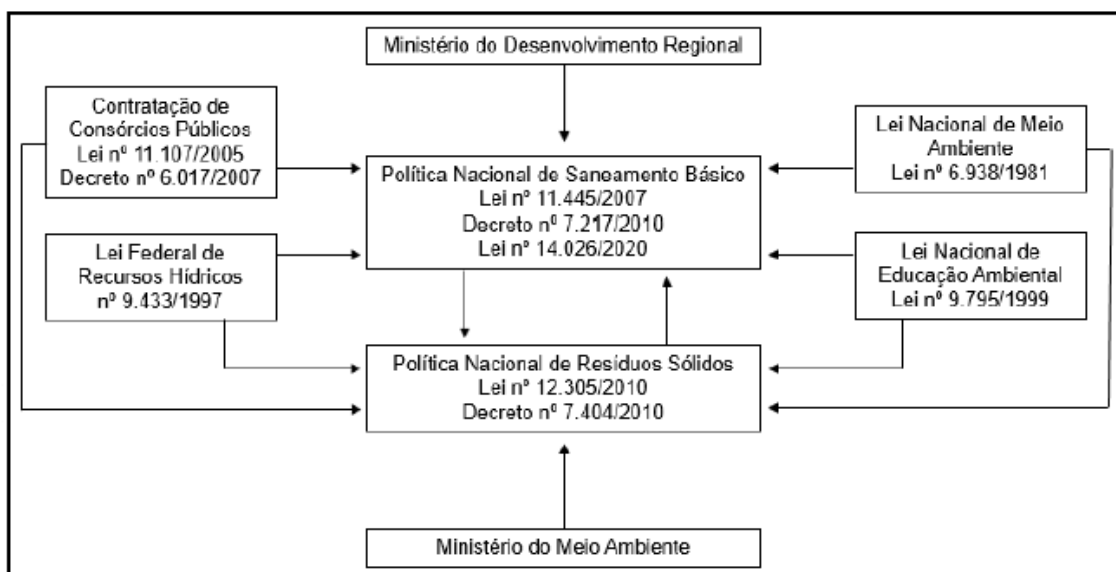


Figura 13 - Integração da legislação brasileira sobre o saneamento básico (Revisão do PMSB de Macaé, 2020).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) assessora o Ministério do Meio Ambiente na elaboração de projetos de lei, decretos regulamentadores e, sobretudo, resoluções normativas disciplinando temas variados da gestão ambiental no país, como, por exemplo, os padrões de lançamento de águas residuais. A resolução do CONAMA n.º 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. Esta resolução foi alterada e complementada pela resolução do CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011, a qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. O Art. 16º da resolução do CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011, apresenta os padrões de lançamento em corpo recetor de qualquer fonte poluidora, exceto efluentes de sistemas de tratamento de águas residuais, cujos padrões estão indicados no Art. 21º para lançamento direto em corpo recetor e no Artigo 22º para o lançamento por meio de emissário submarino. A tabela 3 indica a súmula dos padrões de emissão da resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011, para as águas residuais tratadas lançadas diretamente no corpo hídrico e por meio de emissário submarino.

Tabela 3 - Súmula dos padrões de emissão da resolução CONAMA n.º 430 para águas residuais tratadas.

Padrões	Destino de lançamento	
	Corpo hídrico (Art. 21º)	Emissário submarino (Art. 22º)
pH	≥ 5 e ≤ 9	≥ 5 e ≤ 9
Temperatura (°C)	< 40	< 40
Materiais sedimentáveis (mL/L)	< 1	-
CBO (mg/L)	< 120 *	-
Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) (mg/L)	< 100	-
Matérias flutuantes	Ausência	-
Sólidos grosseiros e materiais flutuantes	-	Virtualmente ausente
Sólidos em suspensão totais	-	remoção mínima de 20%, após desarenação.

* Carência Bioquímica de Oxigênio – CBO 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 CBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove o atendimento às metas de enquadramento do corpo receptor.

3.3. Principais diplomas ao nível estadual

A Constituição Estadual do Rio de Janeiro, de 5 outubro de 1989, menciona em seus artigos o saneamento básico como direito do cidadão. Em seu capítulo I, dos Direitos e Deveres Individuais e Coletivos, através do Art. 8º diz que “*Todos têm o direito de viver com dignidade.*” E que

É dever do Estado garantir a todos uma qualidade de vida compatível com a dignidade da pessoa humana, assegurando a educação, os serviços de saúde, a alimentação, a habitação, o transporte, o saneamento básico, o suprimento energético, a drenagem, o trabalho remunerado, o lazer e as atividades econômicas, devendo as dotações orçamentárias contemplar, preferencialmente, tais atividades, segundo planos e programas de governo.

A competência para a questão do saneamento básico é estabelecida em seu artigo 73º, em que “promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico é competência do Estado, em comum com a União e os Municípios”

No Capítulo III, da Política Urbana, o saneamento é compreendido como uma das funções sociais da cidade com vistas à garantia e melhoria da qualidade de vida de seus

habitantes e ainda acrescenta pelo Art. 239º que *“Incumbe ao Estado e aos Municípios promover e executar programas de construção de moradias populares e garantir condições habitacionais e infraestrutura urbana, em especial as de saneamento básico, escola pública, posto de saúde e transporte.”*.

E em seu Capítulo VIII, Do Meio Ambiente, a Constituição Estadual insere questão de ordem prática relativa ao esgotamento sanitário:

Art. 277º - Os lançamentos finais dos sistemas públicos e particulares de coleta de esgotos sanitários deverão ser precedidos, no mínimo, de tratamento primário completo, na forma da lei.

§ 1º - Fica vedada a implantação de sistemas de coleta conjunta de águas pluviais e esgotos domésticos ou industriais.

§ 2º - As atividades poluidoras deverão dispor de bacias de contenção para as águas de drenagem, na forma da lei.

Em 21 de Julho de 2011, o governo institui por meio do Decreto n.º 42.930/2011 o Programa Estadual Pacto pelo Saneamento. Foram utilizadas como referência: a Lei Estadual n.º 4.191/03 de 30 de setembro, responsável pela Política Estadual de Resíduos Sólidos e sua regulamentação, Decreto Estadual n.º 41.084/07 de 20 de dezembro; a Lei Federal n.º 11.445/07 de 5 de janeiro, que estabelece a Política Nacional de Saneamento Básico; a Lei Estadual n.º 5.234/08 de 6 de maio, que dispõe sobre os investimentos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fundrhi); e a Lei Federal n.º 12.305/10 de 2 de agosto, referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O Decreto n.º 42.930/2011 de 21 de julho prevê que a implementação do Pacto pelo Saneamento aconteça de forma integrada entre o governo estadual e os municípios, sob a coordenação da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), com a participação da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) e dos Comitês de Bacias Hidrográficas, cabendo ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA) desempenhar o papel de órgão normativo de licenciamento ambiental e fiscalizador dos sistemas de saneamento básico.

Uma das prioridades do Pacto pelo Saneamento, incorporada pelos Comitês de Bacia, consiste na elaboração dos Planos Municipais de Saneamento, com a utilização de recursos oriundos da cobrança. A Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) apoiou 70 cidades fluminenses na elaboração de seus Planos

Municipais de Saneamento Básico (AC PRH BG, 2020), sendo nove municípios situados no entorno da Baía de Guanabara, entre eles o município de Magé.

Em dezembro de 2020, foi publicado no Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro o edital de concorrência internacional da concessão da prestação regionalizada dos serviços públicos de fornecimento de água e esgotamento sanitário e dos serviços complementares dos municípios do estado do Rio de Janeiro (Edital de Concorrência Internacional n.º 01/2020), até então sob responsabilidade da CEDAE. Os vencedores do certame assumirão os serviços por 35 anos (AC PRH BG, 2020).

No que diz respeito ao lançamento de águas residuais tratadas no Estado do Rio de Janeiro, as ETAR devem atender aos padrões de lançamentos determinados pela Diretriz DZ-215.R-4 (Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem), aprovada pela Deliberação CECA n.º 4886 de 25 de setembro de 2007, e pela Norma Técnica NT-202.R-10 (Critérios e Padrões para lançamento de Efluentes Líquidos), aprovada pela Deliberação CECA n.º 1007, de 04 de dezembro de 1986, elaboradas pelo INEA. As tabelas 4 e 5 indicam os padrões de emissão da Diretriz DZ-215.R-4 e da Norma Técnica NT-202.R-10, respectivamente.

Tabela 4 - Padrões de emissão estabelecidos pela Diretriz DZ-215.R-4 para o lançamento de águas residuais tratadas.

Carga orgânica bruta (C) (kg CBO/dia)	Concentração máxima em CBO e SST (mg.L ⁻¹)
$C \leq 5$	180
$5 < C \leq 25$	100
$25 < C \leq 80$	60
$C > 80$	40

Tabela 5 - Padrões de emissão estabelecidos pela Norma NT-202.R-10 para o lançamento de qualquer tipo de efluente líquido tratado.

Parâmetros / compostos químicos	Limites
pH	> 5 e < 9
Temperatura	< 40 °C
Cor	Virtualmente ausente
Matérias flutuantes	Virtualmente ausentes
Materiais sedimentáveis	< 1,0 mL/L
Óleos minerais	≤ 20 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 30 mg/L
Alumínio Total	3,0 mg/L Al
Arsênio Total	0,1 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,1 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cobalto total	1,0 mg/L Co
Cobre total	0,5 mg/L Cu
Cromo total	0,5 mg/L Cr
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro solúvel	15,0 mg/L Fe
Manganês Solúvel	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	1,0 mg/L Ni
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,05 mg/L Se
Vanádio total	4,0 mg/L V
Zinco total	1,0 mg/L Zn
Amônia	5,0 mg/L N
Cloro ativo	5,0 mg/L Cl
Cianetos	0,2 mg/L CN
Índice de fenóis	0,2 mg/L C ₆ H ₅ OH
Fluoretos	10,0 mg/L F
Sulfetos	1,0 mg/L S
Sulfitos	1,0 mg/L SO ₃

Tabela 5 (cont.) – Padrões de emissão estabelecidos pela Norma NT-202.R-10 para o lançamento de qualquer tipo de efluente líquido tratado.

Parâmetros / compostos químicos	Limites
Pesticidas organofosforados e carbamatos	0,1 mg/L (por composto)
Pesticidas organofosforados e carbamatos totais (somatório dos pesticidas analisados individualmente)	1,0 mg/L
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis, tais como: 1,1,1-tricloroetano; diclorometano; tricloroetileno e tetracloroetileno	0,1 mg/L (por composto)
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis totais	1,0 mg/L Cl
Hidrocarbonetos halogenados não listados acima tais como: pesticidas e ftalo-ésteres	0,05 mg/L (por composto)
Hidrocarbonetos halogenados totais, excluindo os hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis	0,5 mg/L Cl
Sulfeto de carbono	1,0 mg/L
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	2,0 mg/L

3.4. Principais diplomas ao nível municipal

A Lei Orgânica do Município de Magé, de 05 de abril de 1990, trata a saúde como direito dos munícipes e dever do poder público, cabendo ao município promover o saneamento:

Art. 151º – Para atingir os objetivos estabelecidos no artigo anterior, o Município promoverá por todos os meios ao seu alcance: I – condições dignas de trabalho, saneamento, moradia, alimentação, educação, transporte e lazer;

O art. 153º da Lei Orgânica estabelece articulação da política de saneamento básico entre o Estado e a União:

Art. 153º – São atribuições do Município, no âmbito do sistema único de saúde: V – planejar e executar a política de saneamento básico em articulação com Estado e a União;

O art. 236º trata especificamente das ações propostas para promover programas de saneamento básico destinados a melhorar as condições sanitárias do município:

Art. 236º – O Município em consonância com a sua política urbana e segundo o disposto em seu plano diretor deverá promover programas de saneamento básico destinados a melhorar as condições sanitárias e ambientais das áreas urbanas e os níveis de saúde da população.

Parágrafo único – A ação do Município deverá orientar-se para:

I – ampliar progressivamente a responsabilidade local pela prestação de serviços de saneamento básico;

II – executar programas de saneamento em áreas pobres, atendendo à população de baixa renda, com soluções adequadas e de baixo custo para o abastecimento de água e esgoto sanitário;

III – executar programas de educação sanitária e melhorar o nível de participação das comunidades na solução de seus problemas de saneamento;

IV – levar à prática, pelas autoridades competentes, tarifas sociais para os serviços de água.

Em 15 de dezembro de 2016, foi instituído o Plano Diretor Municipal Participativo para o Desenvolvimento Sustentável de Magé, através da Lei complementar n.º 006/2016.

No Título I, Capítulo II, dos Princípios e objetivos gerais do Plano Diretor, o saneamento é compreendido como um direito para todos:

Art. 6º - Este Plano Diretor rege-se pelos seguintes princípios:

III – direito à cidade para todos, compreendendo o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte, aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer;

No Título I, Capítulo III, da Política Urbana do Município, é previsto o uso racional (Art. 8º) e o direito ao sistema de saneamento básico (Art. 9º):

Art. 8º - É objetivo da Política Urbana ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado e diversificado de seu território, de forma a assegurar o bem estar equânime de seus habitantes mediante ações que visem:

II – racionalizar o uso da infraestrutura instalada, inclusive sistema de saneamento básico, viário e transportes, evitando sua sobrecarga ou ociosidade e completando sua rede básica;

Art. 9º - A Política Urbana obedecerá às seguintes diretrizes:

I – garantir o direito à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e serviços públicos, ao trabalho e ao lazer;

No Título II, Capítulo III, do Meio Ambiente, é garantido a participação da população na política de saneamento básico através do Conselho Municipal de Meio Ambiente e saneamento básico:

Art. 64º - Constituem diretrizes gerais das políticas públicas para o Meio Ambiente:

XI – garantir a participação democrática, paritária e representativa da população na elaboração e implementação das políticas ambientais através do Conselho Municipal de Meio Ambiente e saneamento básico, das conferências municipais de meio ambiente e de saneamento básico, dentre outras formas de participação;

No Título V, das Disposições Gerais e Transitórias, o Plano Diretor determina a implantação do Plano Municipal de Saneamento:

Art. 243º - Ficam estabelecidas as seguintes prioridades e prazos para execução e cumprimento pelo Poder Público Municipal, quanto ao Meio Ambiente:

V. criar lei municipal, dentro dos limites de suas atribuições constitucionais, que elabore e implante o Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Magé, contemplando o abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto doméstico, drenagem de águas pluviais e tratamento de resíduos sólidos, facilitando a universalização do seu conhecimento, aplicação e fiscalização, dentro do prazo de 24 (vinte e quatro) meses contados do início da vigência desta Lei.

Através da Lei Municipal n.º 2.221 de 2014, foi aprovado o Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Magé. O Plano Municipal, finalizado em 2013, elaborou o diagnóstico da situação do saneamento básico e estabeleceu metas a serem cumpridas a curto, médio e longo prazo para atingir a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em um período de 20 anos.

4. Caracterização do município de Magé

4.1. Introdução

Este capítulo apresenta a caracterização da área de estudo para a qual será realizado o dimensionamento de uma ETAR. O município de Magé está localizado no estado do Rio de Janeiro, Brasil, como mostra a figura 14.



Figura 14 - Localização do município de Magé (Wikipédia, 2021).

Existe uma grande necessidade de instalação de ETAR no município Magé, pois o município apresenta muitas carências na questão do saneamento básico, sendo a principal delas o não tratamento adequado das águas residuais urbanas. Neste sentido, a importância deste capítulo é entender a situação atual do município, o seu nível de desenvolvimento, organização populacional, distribuição das bacias hidrográficas, infraestruturas de saneamento básico existentes, entre outras informações relevantes,

ao dimensionamento da ETAR. A seguir serão apresentadas as características histórico-geográficas, climatológicas, socioeconômicas, de uso do solo e cobertura vegetal, de recursos hídricos e de infraestrutura de saneamento do município.

4.2. Características histórico-geográficas

Por volta do ano 1000, os índios tapuias que habitavam a região foram expulsos para o interior do continente devido à chegada de povos tupis procedentes da Amazônia. Quando os primeiros colonizadores portugueses chegaram à região, no século XVI, a mesma era ocupada pela tribo tupi dos tupinambás, também conhecidos como tamoios (Prefeitura de Magé, 2021). Em 1565, após a expulsão dos franceses do Rio de Janeiro, Simão da Mota é agraciado por Mem de Sá com uma sesmaria e edifica sua moradia no Morro da Piedade, próximo do qual, ainda hoje, existe o porto de mesmo nome a poucos quilômetros da sede municipal (TCE-RJ, 2016). Alguns anos mais tarde, por volta de 1643 surgiram outras localidades nas proximidades, entre elas a Pacobaíba, mais tarde denominada Nossa Senhora da Guia de Pacobaíba e a Guia de Pacobaíba. Graças aos esforços dos colonizadores, à contribuição do trabalho escravo e, ainda, à fertilidade do seu solo, as localidades gozaram de invejável situação no período colonial (IBGE, 2021). Em 1696, foi criada a freguesia denominada de Magé e, em 1789, o conselho com a designação atual. Durante a monarquia foi criado o baronato de Magé em 1810 e este foi elevado a viscondado em 1811 (Prefeitura de Magé, 2021).

A importância do município durante o Segundo Reinado (1840-1889) era grande. Para avaliá-la basta observar que em suas terras foi construída a primeira estrada de ferro da América do Sul, inaugurada a 30 de abril de 1854. Esta estrada, que se denominou Mauá e depois Estrada de Ferro Príncipe Grão-Pará, ligava as localidades de Guia de Pacobaíba e Frágoso, numa extensão de 14.500 metros. Como ocorreu em todas as zonas agrícolas do país, com o advento da Lei Áurea, de 13 de maio de 1888, Magé teve uma fase de declínio, sofrendo forte colapso na sua economia, agravada pela insalubridade do clima e pela obstrução paulatina dos rios e canais (IBGE, 2021). Em 1857, o território foi elevado à condição de cidade com a denominação de Magé, por efeito da Lei ou Decreto Provincial 965, de 2 de outubro de 1857 (Prefeitura de Magé, 2021). Em 1892, pelos decretos estaduais Um, de 8 de maio de 1892 e Um-A, de 3 de junho de 1892, foram criados os distritos de Inhomirim e de Santo Aleixo e anexados ao

município de Magé. Em divisão administrativa referente ao ano de 1911, o município aparece constituído de seis distritos: Magé, Guapimirim, Guia de Pacobaíba, Vila Inhomirim, Santo Aleixo e Suruí. Assim permanecendo em divisão territorial datada de 1 de julho de 1960 (Prefeitura de Magé, 2021). A Lei Estadual 1772, de 21 de dezembro de 1990, desmembrou, do município de Magé, o distrito de Guapimirim, o qual foi elevado à categoria de município (Prefeitura de Magé, 2021).

O município de Magé está localizado na região metropolitana do Rio de Janeiro e faz a ligação entre a baixada fluminense e a região Serrana do estado. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) apresenta uma área total de 390,77 km², correspondentes a 8,3% da área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O município de Magé faz limites com Guapimirim (a Leste), Duque de Caxias (a Oeste), Petrópolis (a Norte) e a Baía de Guanabara (a Sul). Atualmente o território é composto por seis distritos: distrito de Magé (distrito sede - 1º distrito), Santo Aleixo (2º distrito), Suruí (3º distrito), Rio do Ouro (4º distrito), Guia de Pacobaíba (5º distrito) e Vila Inhomirim (6º distrito). A figura 15 indica a distribuição dos distritos no município.



Figura 15 - Mapa de distritos do município de Magé (Prefeitura de Magé, 2021).

4.3. Características climatológicas

O clima no município é tropical com temperatura média anual de 23°C (PMMA, 2020). No limite ao norte, nas imediações da região da Serra dos Órgãos, as temperaturas são menores em decorrência do aumento da altitude (PMSB, 2013).

A pluviosidade do município é semelhante à da bacia hidrográfica a qual está inserido, a Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara, sendo maior nos meses de verão (dezembro a março) e menor nos meses de inverno (julho a setembro), atingindo médias anuais em torno de 1200 a 1400 mm na planície e mais de 2500 mm ao ano nas partes mais elevadas (Atlas CBH-BG, 2021). O website Clima Tempo (2021) apresenta a distribuição média mensal das precipitações, temperaturas máximas e mínimas dos últimos trinta anos conforme pode ser observado na figura 16.

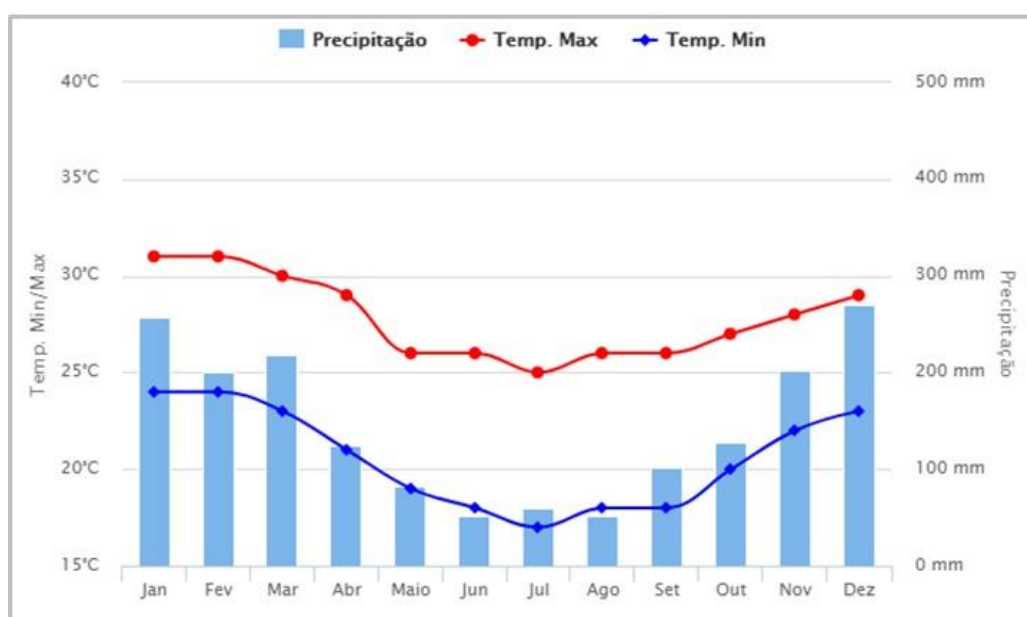


Figura 16 - Precipitação e temperaturas médias mensais do município de Magé nos últimos 30 anos (website Clima Tempo, 2021).

4.4. Características socioeconômicas

De acordo com o último recenseamento realizado pelo IBGE, em 2010, Magé apresentou uma população de 227 322 habitantes, correspondentes a 1,4% da população do Estado do Rio de Janeiro. A densidade demográfica evidenciada foi de 585,13 habitantes por km². A evolução da população do município nas últimas décadas é apresentada na figura 17.

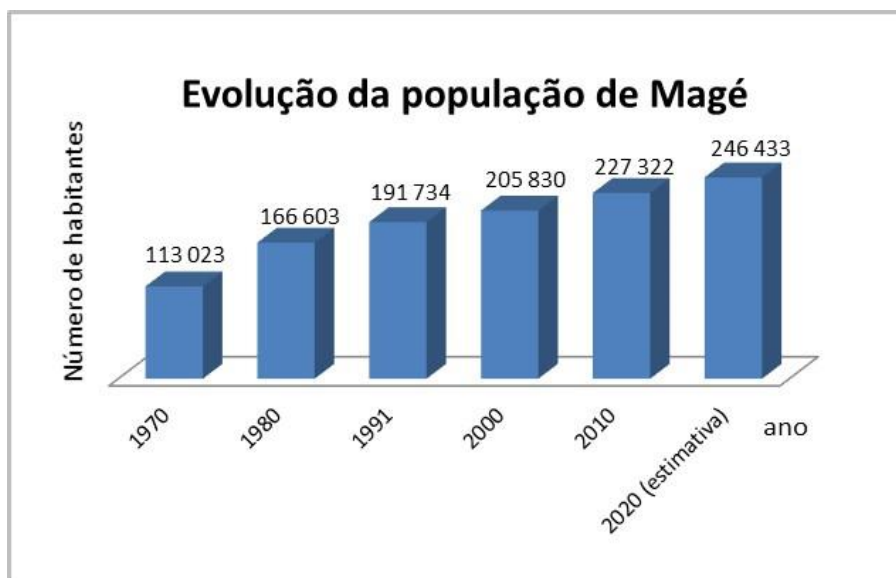


Figura 17 - Evolução populacional do município de Magé (IBGE 2021).

As taxas de crescimento populacional entre os anos de 1970 a 1980, 1980 a 1991, 1991 a 2000, e 2000 a 2010, foram 47,4 %, 15,1 %, 7,4 % e 10,4%, respectivamente. O IBGE estimou uma população total de 246 433 habitantes para o ano de 2020, o que corresponderia a um aumento de 8,4 % da população entre os anos de 2010 e 2020. Sendo assim, com exceção do período entre 2000 e 2010, observa-se uma diminuição da taxa de crescimento populacional do município ao longo dos anos.

No que diz respeito à distribuição populacional por domicílio, em 2010 foram contabilizados 215 236 residentes na área urbana e 12 086 habitantes residentes na área rural do município, indicando uma taxa de urbanização de 94,68%. A tabela 6 evidencia a distribuição populacional por domicílio desde o ano de 1970.

Tabela 6 - Distribuição populacional por domicílio em Magé no período de 1970 a 2010 (PMSB, 2013).

Ano	população (habitantes)			Relação	
	urbana	rural	total	urbana	rural
1970	83 668	29 355	113 023	74,0%	26,0%
1980	163 930	2 673	166 603	98,4%	1,6%
1991	172 255	19 479	191 734	89,8%	10,2%
2000	193 851	11 979	205 830	94,2%	5,8%
2010	215 236	12 086	227 322	94,7%	5,3%

De acordo com os dados apresentados na tabela 6, pode-se perceber que a taxa de urbanização do município estabilizou em torno de 94% nas últimas décadas recenseadas, conferindo ao município características fortemente urbanas.

A figura 18 indica a distribuição populacional do município por distritos, de acordo com o último censo de 2010.

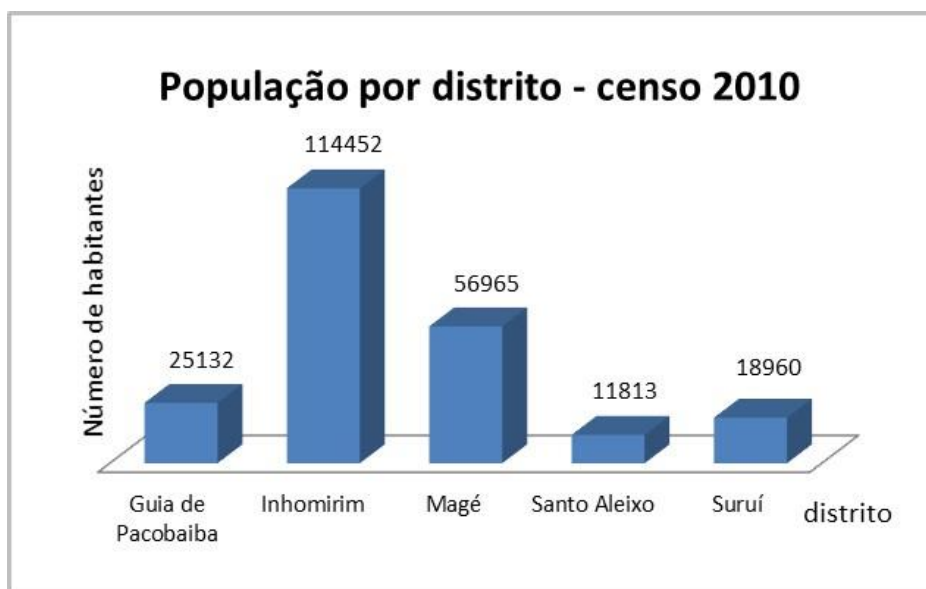


Figura 18 - Distribuição populacional por distritos (IBGE, 2010).

Como pode ser observado, o distrito de Inhomirim é o que apresenta maior população, 114 452 habitantes, correspondendo a 50,3 % do total. Em seguida aparecem os distritos de Magé com 56 965 habitantes (25,1%), Guia de Pacobaíba com 25 132 habitantes (11,1%), Suruí (8,3 %) com 18 960 habitantes e Santo Aleixo com 11 813 habitantes (5,2 %). Os dados do IBGE não mencionam o distrito de Rio do Ouro. No entanto, o somatório populacional confere com o total do Censo 2010, isto é, 227 322 habitantes.

O Plano de Saneamento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (PSRMRJ, 2020), que atualmente está em fase de audiência pública, apresenta em seu apêndice 7 a projeção populacional para o município de Magé para os próximos 35 anos. O modelo de cálculo utilizado no plano foi o Método dos Componentes Demográficos, um modelo sofisticado de simulação de dinâmica demográfica que considera individualmente cada um dos componentes demográficos (fecundidade, mortalidade e saldos migratórios) em conjunto com os dados de população obtidos nos censos demográficos realizados pelo IBGE no período de 1980 até 2010 (PSRMRJ, 2020). A tabela 7 apresenta esta projeção.

Tabela 7 - Projeção populacional por distrito em Magé para os próximos 35 anos. (PSRMRJ, 2020).

Ano	Número de habitantes por distrito					
	Sede- Magé	Guia de Pacabaíba	Inhomirim	Santo Aleixo	Suruí	Total
2020	57 844	30 521	124 499	11 485	16 555	240 904
2025	58 654	32 226	129 475	11 427	17 208	248 990
2030	59 369	33 910	134 783	11 352	17 933	257 347
2035	59 693	34 998	138 785	11 279	18 413	263 168
2040	59 563	35 522	141 223	11 210	18 931	266 449
2045	59 084	35 552	142 293	11 145	19 253	267 327
2050	58 263	35 153	142 007	11 086	19 404	265 913
2055	57 118	34 402	140 443	11 032	19 411	262 406

O município de Magé apresenta alta taxa de pobreza. O percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até meio salário mínimo é 38,2 %, o que o coloca na posição 10 de 92 dentre as cidades do estado do Rio de Janeiro e na posição 2980 de 5570 dentre as cidades do Brasil (IBGE, 2010). O rendimento médio mensal dos trabalhadores formais corresponde a 1,8 salários mínimos e a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total é de 11,7%, o que o coloca nas posições 67 de 92 e 81 de 92 dentre as cidades do estado do Rio de Janeiro e nas posições 3263 de 5570 e 2954 de 5570 dentre as cidades do Brasil, respectivamente (IBGE, 2018).

A estrutura etária da população constitui um importante elemento de caracterização, condicionando não só a dinâmica demográfica da população, como também a sua dinâmica social. A população residente por grupos de idade foi contabilizada pelo censo 2010, conforme demonstra figura 19.

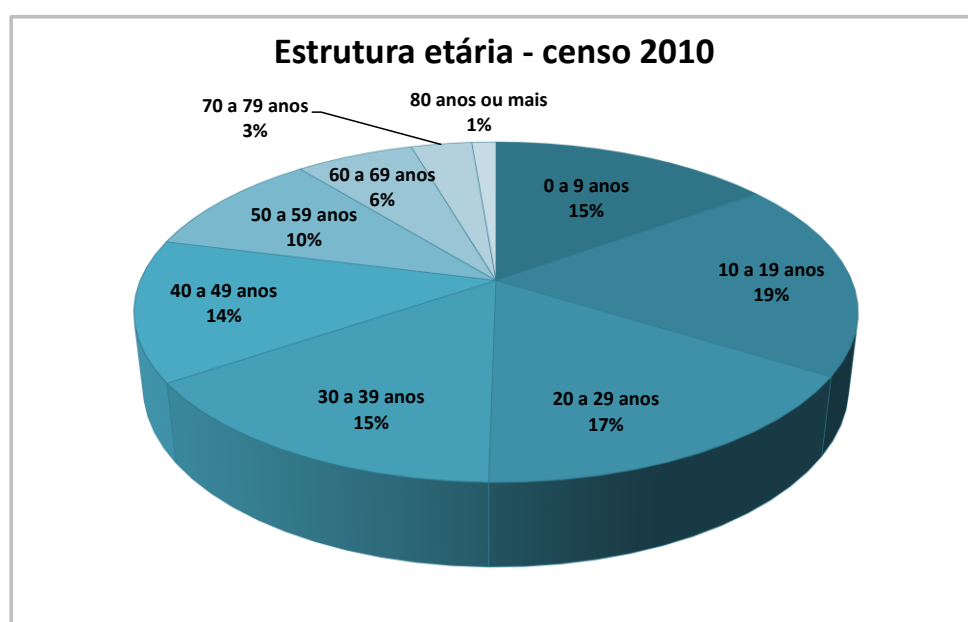


Figura 19 - Distribuição populacional por faixa etária (IBGE 2010).

A figura 19 indica que o município de Magé, em 2010, apresentou elevado percentual de população jovem. Considerando a faixa etária de 0 a 29 anos o valor percentual equivaleu a 51% da população. Alargando a faixa etária para valores entre 0 e 39 anos, o valor percentual correspondeu a 66% da população. A proporção de idosos correspondeu a 7,2%.

Não que diz respeito à educação, a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade é de 97,7 %, segundo o censo de 2010. O indicador “expectativa de anos de estudo”, que indica o número de anos de estudo que uma criança que inicia a vida escolar no ano de referência terá completado ao atingir a idade de 18 anos, registou 8,99 anos, em 2010 (IBGE, 2010). Considerando-se a população de 25 anos ou mais de idade no município de Magé, 7,21% eram analfabetos, 50,39% tinham o ensino básico completo, 32,00% possuíam o ensino médio completo e 4,89%, o superior completo (IBGE, 2010).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), avalia a qualidade da vida humana, considerando a dimensão económica, através da renda, a educação e a saúde (longevidade). O IDH varia de 0 a 1, sendo que o valor 0 indica não haver nenhum desenvolvimento humano, ao passo que o valor 1 significa desenvolvimento humano máximo. Em 2000 o IDH do município de Magé era 0,573 e em 2010 o município apresentou IDH igual a 0,709, representando um aumento de 23,73 % (IBGE, 2010).

Em termos de saúde, a taxa de mortalidade infantil média no município é de 18,31 para 1.000 nascidos vivos (IBGE, 2019). As internações devido a diarreias são de 0.1 para cada 1.000 habitantes (IBGE, 2016). Comparado com todos os municípios do estado do Rio de Janeiro, Magé fica nas posições 15 de 92 e 63 de 92, respetivamente. Quando comparado a cidades do Brasil, essas posições são de 2497 de 5570 e 4734 de 5570, respetivamente.

4.5. Características de uso do solo e das principais unidades de conservação ambiental

Com base no levantamento feito pelo Comitê de Bacia da Baía de Guanabara, apresentado no documento denominado Atlas da Região Hidrográfica V (Atlas CBH-BG, 2021), o município de Magé apresenta sua área distribuída da seguinte forma: água

(0,5%), silvicultura (0,1%), mangue (3,6%), natural não florestada (2,4%), natural florestada (53,3%), antrópica não agropastoril (16,5%), agropastoril não consolidada (0,1%) e agropastoril (23,6%). A figura 20 indica esta distribuição no território.

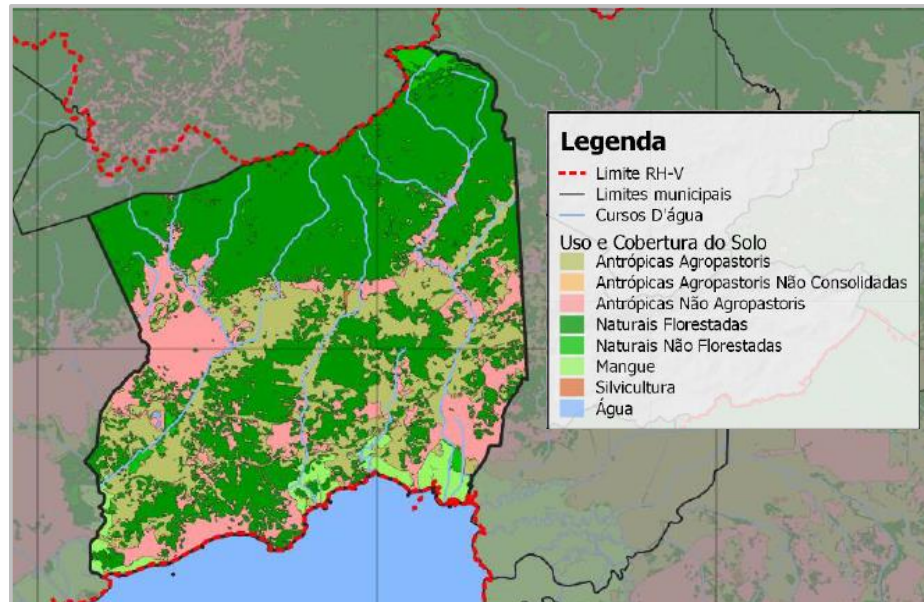


Figura 20 - Uso e cobertura do solo do município de Magé (Atlas CBH-BG, 2021).

Já o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica do Município de Magé (PMMA, 2020) indica a distribuição de ocupação e uso do solo da seguinte forma: vegetação secundária (60,7%), pastagens (19,0%), área urbana (13,6%), mangue (3,0%), outros (2,1%) e agricultura (1,6%). A figura 21 indica esta distribuição no território.

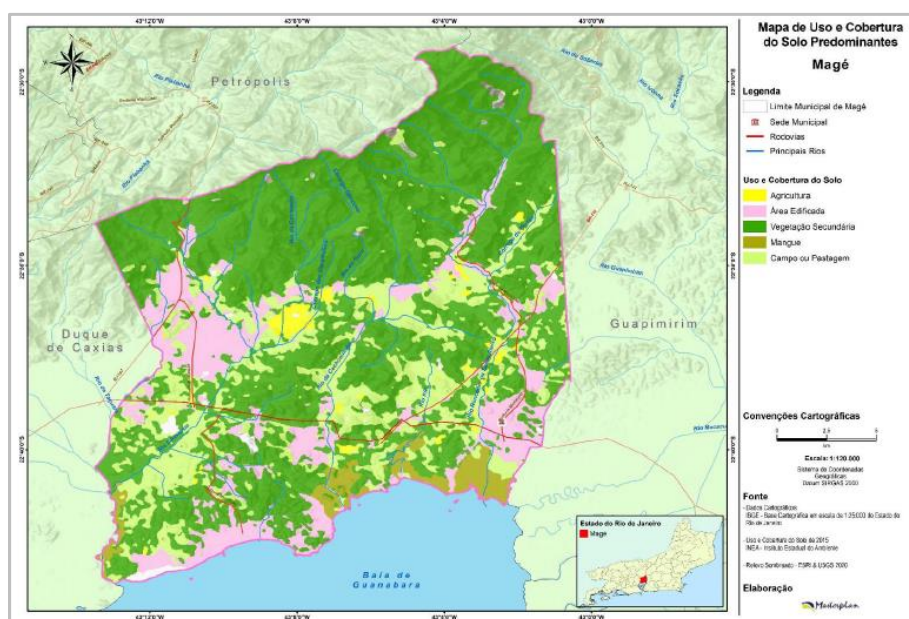


Figura 21 - Uso e cobertura do solo do município de Magé (PMMA, 2020).

A grande extensão de florestas (60,7%) está em distintos estágios de regeneração e de conservação, tanto na serra como nas áreas planas. As tipologias florestais que predominaram no território são: a) Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas nas áreas húmidas dos diferentes tipos de planície; b) Floresta Ombrófila Densa Submontana; c) Floresta Ombrófila Densa Montana; d) Floresta Ombrófila Densa Alto Montana (PMMA, 2020).

Dentre as áreas de florestas mencionadas, Magé possui fragmentos isolados de Mata Atlântica, um dos grandes biomas brasileiros composto por um conjunto de ecossistemas. Segundo dados da Fundação SOS Mata Atlântica (2021), a Mata Atlântica é uma das florestas mais ricas em biodiversidade do planeta, abrigando mais de 15.700 espécies de plantas (sendo 8 mil endêmicas), 2.208 espécies de invertebrados, 298 espécies de mamíferos, 992 espécies de aves, 200 espécies de répteis, 370 espécies de anfíbios e 350 espécies de peixes. No município de Magé os fragmentos de Mata Atlântica correspondem a uma área de 15.022 hectares, equivalentes a aproximadamente 20.000 campos de futebol, e representam 38,67% da Mata Atlântica original do município (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021).

O município de Magé possui 73% do território constituído por Unidades de Conservação (PMMA, 2020). As 11 unidades de conservação são geridas da seguinte forma: cinco ao nível federal, duas ao nível estadual e quatro ao nível municipal, conforme apresentadas na tabela 8.

Tabela 8 - Unidades de Conservação no Município de Magé (PMMA, 2020).

Unidade de Conservação	Nível de gestão	Percentual em Magé (%)
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	Federal	35,5
Área de Proteção Ambiental Guapimirim	Federal	6,5
Área de Proteção Ambiental Petrópolis	Federal	17,2
RPPN* El Nagual	Federal	100
RPPN* El Querência	Federal	100
RPPN* Campos Escot. Geraldo H. Nunes	Estadual	100
Refúgio de Vida Silvestre Serra da Estrela	Estadual	32,4
Área de Proteção Ambiental Suruí	Municipal	100
Reserva de Desenvolvimento Sustentável Veu da Noiva	Municipal	100
Parque Natural Municipal Barão de Mauá	Municipal	100
Área de Proteção Ambiental Estrela	Municipal	100

*RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

Em Magé, a composição do conjunto de unidades de conservação constitui parte de um corredor ecológico que auxilia na manutenção dos processos ecológicos dos ecossistemas. Desta forma, elas cumprem as funções precípuas estabelecidas pelos corredores ecológicos, que é a manutenção da biodiversidade em longo prazo (PMMA, 2020).

A porção norte do município ocupada pelo Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) está na posição central no Mosaico da Mata Atlântica Central Fluminense e no Corredor de Biodiversidade da Serra do Mar. Ademais, o PARNASO possui função de corredor ecológico entre a Serra dos Órgãos e Tinguá, além de se conectar no território municipal à parte da Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis (PMMA, 2020).

Apesar de grande parte do território ser coberto por unidades de conservação, a região sofre diversos processos de degradação de recursos naturais, tais como: extinção de nascentes, assoreamento dos rios, poluição de mananciais, desmate de Áreas de Preservação Permanentes (APP) e despejo de águas residuais não tratadas nos rios de áreas urbanas e rurais. Contribuem ainda para a fragmentação da Mata Atlântica e dos ecossistemas a presença de empresas extrativistas de pequeno e grande porte potencialmente poluidoras (extração de granito); a degradação de manguezais para a instalação de empreendimentos petroquímicos; a urbanização em áreas de risco sujeitas a enchentes e deslizamentos como manguezais matas ciliares e encostas; e o alto índice de desmatamento e queimadas (PMSB, 2013).

4.6. Características dos recursos hídricos

As regiões hidrográficas são recortes espaciais adotados pelo Estado para facilitar o planejamento e a gestão de recursos hídricos em território estadual. A Resolução nº 107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-RJ) divide o estado do Rio de Janeiro em nove Regiões Hidrográficas, mostradas na figura 22.

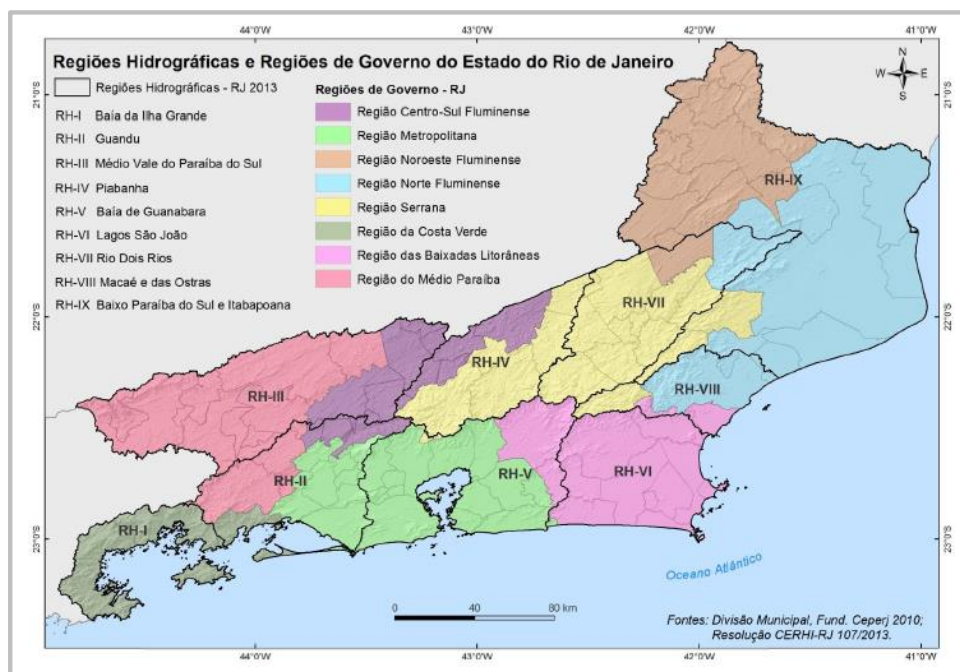


Figura 22 - Regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ, 2014).

O Município de Magé está inserido na Região Hidrográfica V, Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RHBG). Sua localização pode ser verificada na figura 23.

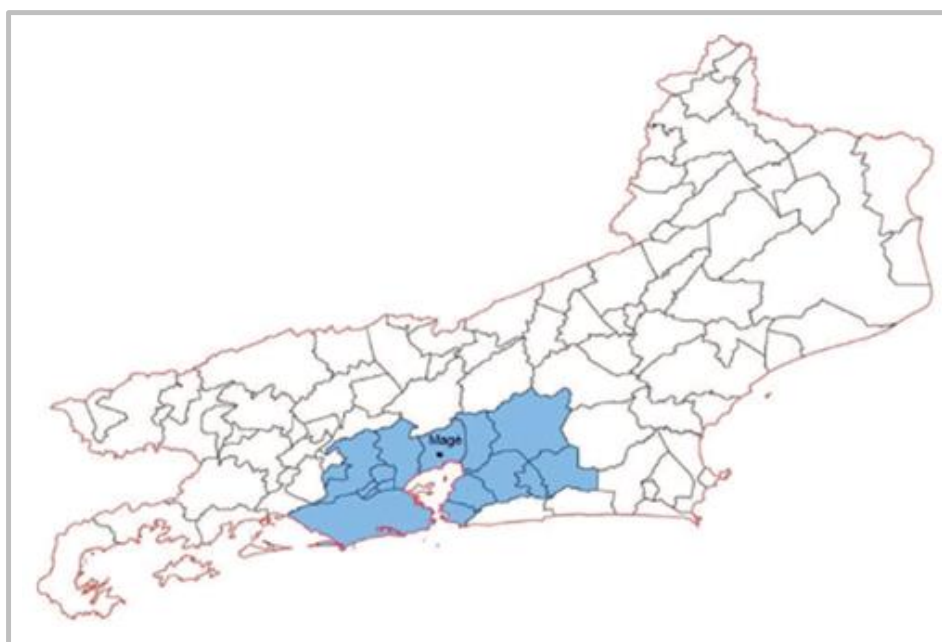


Figura 23 - Localização de Magé na Região Hidrográfica V (PMSB, 2013).

A Região Hidrográfica da Baía de Guanabara está localizada na parte Centro-Sul do Estado do Rio de Janeiro, abrangendo total ou parcialmente os territórios de 16 municípios, onde residem cerca de 10 milhões de habitantes. Apresenta uma área continental de 4.066 km², envolvendo o espelho de água, de cerca de 400 km² da Baía

de Guanabara, onde se encontram diversas ilhas e ilhotas, destacando-se as ilhas de Paquetá, do Governador e do Fundão (PDRH-BG, 2005). A tabela 9 evidencia a distribuição municipal na região hidrográfica.

Tabela 9 - Divisão municipal da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005).

Municípios	Área (km²)	Participação dos municípios na região hidrográfica (%)
Belford Roxo	80	100
Cachoeira de Macacu	958,2	94
Duque de Caxias	465,7	100
Guapimirim	361,7	100
Itaboraí	428,6	100
Magé	386,6	100
Mesquita	41,6	100
Nilópolis	19,2	100
Niterói	131,8	60
Nova Iguaçu	517,8	54
Petrópolis	776,6	5
Rio Bonito	463,3	42
Rio de Janeiro	1264,2	30
São Gonçalo	251,3	100
São João de Meriti	34,9	100
Tanguá	143,7	100
Total	6325,2	-

A RHBG se encontra dividida em 39 regiões hidrográficas menores dentre as quais se destacam 12 bacias hidrográficas, cujos cursos de água principais contribuem diretamente para a Baía de Guanabara (tabela 10).

Tabela 10 - Principais cursos de água contribuintes da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005).

Nome	Área (km ²)
Canal do Manguê	44,61
Canal do Cunha	63,09
Irajá	17,44
São João de Meriti	167,07
Iguaçu	699,4
Estrela	349,85
Suruí	75,17
Roncador	111,25
Guapi-Macacu	1250,78
Caceribu	822,38
Guaxindiba	142,72
Imboaçu	29,09
Total	3772,84

Trata-se de uma região que apresenta altos índices demográfico e de urbanização, com um parque industrial com mais de 4000 indústrias, com uma elevada complexidade social e económica, o que acarreta um forte comprometimento dos seus recursos hídricos tanto no aspeto quantitativo como qualitativo (PDRH-BG, 2005). Considerando o estado de degradação que se encontra a maior parte dos recursos hídricos, a região necessita com urgência de um sistema integrado de gestão dos seus recursos naturais envolvendo aspetos de proteção e recuperação dos recursos hídricos a ser implementado com a participação da sociedade (PDRH-BG, 2005).

O município de Magé é composto por cinco bacias hidrográficas da Baía de Guanabara, são elas: Bacia do Rio Estrela, Bacia do Suruí, Bacia do Iriri, Bacia do Roncador (Santo Aleixo) e Bacias Contribuintes à Praia de Mauá, conforme pode ser observado na Figura 24.



Figura 24 - Bacias incisas no município de Magé (PMSB, 2013).

As três maiores bacias do município ocupam 89,8% do território, são elas: bacia do Estrela (37,2%); bacia do Roncador (30,9%) e bacia do Suruí (21,6%). As bacias do Iriri e contribuinte da praia de Mauá ocupam 5,1% e 4,6% do território, respectivamente (PMMA, 2020).

A bacia do rio Estrela, possui área de drenagem com cerca de 350 km², correspondendo a aproximadamente 9% do total da área continental de contribuição à Baía de Guanabara. Seu perímetro é da ordem de 106,2 km e sua altitude máxima, localizada na serra da Estrela, atinge 1.880 m. É limitada, ao norte, pela serra da Estrela, a sudeste, pela bacia do rio Suruí, a leste, pela serra da Palha e, a oeste, pela serra dos Marcondes e bacia do rio Iguaçu (PDRH-BG, 2003). A bacia do rio Suruí possui área de drenagem com cerca de 75,2 km², correspondendo a aproximadamente 2% do total da área continental de contribuição à Baía de Guanabara. Seu perímetro é da ordem de 52,4 km e sua altitude máxima atinge, aproximadamente, 1.150 m, sendo localizada na serra dos Órgãos. É limitada, ao norte, pelas bacias dos rios Roncador e Estrela, a leste, pelo divisor com as bacias dos rios Roncador e Iriri e, a oeste, pela serra da Palha (PDRH-BG, 2003). A bacia do rio Roncador possui área de drenagem com cerca de 111,3 km², correspondendo a aproximadamente 3% do total da área continental de contribuição à Baía de Guanabara. Seu perímetro é da ordem de 68,4 km e sua altitude máxima, localizada na serra dos Órgãos, atinge 2.200 m. É limitada, ao norte, e pela serra dos

Órgãos e seus contrafortes, a leste, pelo divisor da bacia do rio Guapimirim, a sudoeste, pelo divisor da bacia do rio Iriri e, a oeste, pelo divisor do rio Suruí. Com cerca de 95% de sua área localizada no município de Magé, o rio Roncador tem como sua nascente principal o córrego do Sossego, localizado em cotas no entorno de 2.100 m, no parque nacional da serra dos Órgãos (PDRH-BG, 2005).

No trecho médio do Rio Roncador, com cotas de altitude da ordem de 400 metros, existem balneários naturais intensamente ocupados pela população. A área sofre com ocupação descontrolada das suas margens na Região de Santo Aleixo onde as precipitações de verão frequentemente provocam o fenômeno conhecido como tromba d'água ou cabeça d'água. No trecho baixo, onde as cotas atingem 20 metros, o rio Roncador percorre áreas com vegetação herbácea passando pela mancha urbana da sede de Magé. Neste trecho, as águas apresentam turbidez elevada e durante as chuvas intensas ocorrem inundações (PDRH-BG, 2005).

Quanto aos recursos hídricos subterrâneos, a área da RHBG foi subdividida em dois grandes sistemas aquíferos principais de acordo com a sua formação geológica: o aquífero poroso e o aquífero fissural. (PDRH-BG, 2005). A tabela 11 indica os sistemas de aquíferos e as respectivas áreas ocupadas.

Tabela 11 - Sistemas de aquíferos da RHBG e suas respectivas áreas totais (PDRH-BG, 2005).

Sistemas aquíferos	Área (%)	Área (km ²)
Aluviões Arenosos	10,26	417,9
Aluviões Macacu	10,02	482,3
Sedimentos Flúvio-Marinhas	3,72	179,2
Cristalino com Favorabilidade Moderada	41,82	1695,0
Cristalino com Favorabilidade Muito Baixa	33,02	1352,6
Bacia Calcária de Itaboraí	0,02	0,67
Lagoas e Reservat'rios d'água	0,77	31,72
Aterros	0,36	17,6
Total	100,00	4177,5

Segundo o Plano Diretor da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (PDRH-BG, 2005), algumas ações são recomendadas para garantir o volume e a qualidade da

recarga das águas subterrâneas da região hidrográfica. A primeira delas é a preservação da Mata Atlântica, pois a sua presença facilita a infiltração das águas no solo em locais onde são maiores os índices das precipitações pluviométricas. Outra importante medida consiste na implantação de sistemas de saneamento básico eficientes, que garantam o tratamento das águas residuais. Para além disso, é importante impedir o lançamento irregular de efluentes industriais que, em muitos casos, têm um potencial de contaminação dos aquíferos bem superior aos efluentes de origem residencial.

4.7. Características de infraestruturas de saneamento

No Brasil, a gestão do saneamento básico pode ser realizada diretamente pelas autarquias, ou de forma indireta por empresas públicas ou empresas privadas, em regime de concessão. Na grande maioria dos municípios brasileiros os serviços de abastecimento de águas e saneamento são realizados por companhias estaduais ou pela administração municipal.

Segundo os dados da Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON, 2020), o setor privado atende 5,2% dos serviços públicos de água e saneamento da população urbana no Brasil, os serviços municipais 25,7% e as companhias estaduais 72 % (o somatório percentual é maior que 100% pois existem municípios que possuem mais do que um operador, segundo a ABCON).

No estado do Rio de Janeiro, a Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE) atua como prestadora de serviços de abastecimento de água e de saneamento em 64 municípios do estado (AGENERSA, 2020).

No município de Magé, compete a CEDAE, através de contrato de concessão, a responsabilidade pela operação, manutenção e ampliação do sistema de saneamento, assim como a prestação dos serviços de abastecimento de água.

4.7.1. Abastecimento de água

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), a população do município de Magé atendida com os serviços de abastecimento de água em 2019 foi de 109.489 habitantes, o que representa aproximadamente 44 % da população total do município. A rede de abastecimento possui uma extensão de 305 km e 22.250 ligações ativas de água.

No que diz respeito ao sistema de abastecimento, compete à CEDAE realizar as seguintes atividades: operação e manutenção das unidades de captação, adução e tratamento de água bruta e adução, armazenamento e distribuição de água tratada à população.

O Sistema de Abastecimento de Água existente é composto pelos seguintes sistemas: Paraíso, Piabetá, Santo Aleixo, Suruí e Roncador. Segundo o diagnóstico elaborado pelo Plano Municipal de Saneamento Básico – Água e Esgoto de Magé (PMSB), em 2013, o caudal médio disponibilizado pelo sistema de abastecimento é de 350 L/s e o consumo médio per capita de água é de 242,9 L/(hab.dia). Existem sistemas comunitários, que superam a deficiência na oferta de água dos sistemas públicos de abastecimento de Magé, são eles: Pau a Pique, Raiz da Serra e Pau Grande. Refira-se que o distrito Guia de Pacobaíba não dispõe de sistema de abastecimento de água, sendo abastecido por poços e carros-pipa.

O PMSB realizou um levantamento preliminar das demandas sociais em abastecimento de água de Magé e apontou o seguinte:

- Não há rede de abastecimento público de água em:

1º Distrito (Magé): Piedade, Iriri, Lagoa (parte) Parque Boneville, Maria Conga, Jardim. Maringá, Nova Marília (parte).

2º Distrito (Santo Aleixo): Andorinha, Jardim Taquaral, Capela (parte).

3º Distrito (Rio do ouro): todo.

4º Distrito (Suruí): Suruí (parte), Santa Dalila e Remanso.

5º Distrito (Guia de Pacobaíba): todo.

- Há rede de abastecimento embora não atenda o padrão de qualidade (água proveniente de manancial da Serra e submetido somente à cloração) com frequente intermitência do sistema de abastecimento (abastece duas vezes por semana ou apenas no período da noite, com pioras em períodos de estiagem):

1º Distrito (Magé): Bela Floresta, Flexeira, Tênis Club, Barbuda, Canal, Vila Nova, Comendador Reis.

6º Distrito (Vila Inhomirim): Parque Parada Angélica, Jardim Nazareno, Parque Caçula, Maurimárcia, Limeira; Jardim Novo Horizonte, Centro, Vila Piabetá, Piabetá.

- Consumo de Água de baixa qualidade proveniente de poços rasos complementando o abastecimento falho ou sendo a única fonte de água disponível:

Município todo com destaque para 6º Distrito (Vila Inhomirim).

4.7.2. Saneamento

Segundo dados do SNIS (2021), em 2018, o serviço de saneamento abrangeu 91.514 habitantes, correspondendo aproximadamente a 37% da população total do município de Magé. A rede de coleta das águas residuais tinha uma extensão de 163 km com 16 776 ligações ativas.

Cabe ressaltar que, segundo o diagnóstico elaborado pelo Plano Municipal de Saneamento (PMSB, 2013), o sistema de saneamento existente no município é composto por redes mistas que coletam águas pluviais e águas residuais nas principais vias de seus seis distritos. Ou seja, os dados disponibilizados pelo SNIS, relativos a 2018, informados anteriormente, dizem respeito à recolha e não ao tratamento das águas residuais.

O município de Magé possui duas Estações de Tratamento de Águas Residuais, de idade aproximada de 20 anos cada. Atualmente, uma está ativa, a ETAR Lagoa, e outra fora de operação, a ETAR Mauá. A CEDAE é a empresa responsável pela operação, manutenção e ampliação do sistema de saneamento do município. A ETAR Mauá, localizada na Praia de Mauá, com um caudal de projeto de 3 L/s, está inoperante e em precário estado de conservação. A ETAR Lagoa, localizada no centro, está em funcionamento, mas opera abaixo do valor de caudal de projeto de 10 L/s. Estima-se que, atualmente, menos de 3% das águas residuais do município estejam a ser devidamente tratadas.

Com a elaboração do Plano Municipal de Saneamento, em 2013, foram apontadas metas a serem cumpridas a curto, médio e longo prazo a fim de solucionar as carências relacionadas ao saneamento municipal.

As metas de curto prazo deveriam ter sido concluídas em 2017 de forma a atender 49,5% da população urbana do município com sistema de saneamento. Para isso, o plano apontou a recuperação das ETAR Mauá e ETAR Lagoa (na ocasião esta não estava a funcionar), implantação de 228.220 metros de rede coletora, execução de 46.953 ligações prediais de águas residuais e a implantação de mais quatro ETAR (ETAR Piabetá com capacidade de tratamento de 220 L/s, ETAR Sede-Lagoa 2 com capacidade de tratamento de 110 L/s, ETAR Guia de Pacobaíba com capacidade de tratamento de 50 L/s e ETAR Litoral-Suruí 2 com capacidade de tratamento de 50 L/s). É de conhecimento público que as metas de curto prazo não foram cumpridas pelo município, assim como não houve a revisão do PMSB que deve ser realizada a cada quatro anos, conforme preconiza o próprio plano.

As metas de médio prazo do plano devem ser concluídas até 2022 e estabelecem atender 86 % da população urbana do município. Para alcançar este objetivo, o PMSB propôs a implantação de 523.974 metros de rede coletora, a execução de mais 39.295 ligações prediais de águas residuais e ampliação de tratamento de águas residuais em Piabetá em 110 L/s. Tendo em vista que as metas de curto prazo não foram realizadas e que o prazo para as metas de médio prazo está próximo a expirar, é possível prever os objetivos traçados para esta etapa também não serão alcançados.

No que diz respeito às metas de longo prazo, estas, segundo o plano, devem ser concluídas até o ano de 2032 e atender 100 % da população urbana do município com sistema de saneamento. As principais ações a serem realizadas são a implantação de 188.306 metros de rede coletora, a execução de mais 26.210 ligações prediais de águas residuais e implantação de mais três ETAR (ETAR Santo Aleixo com capacidade de tratamento de 60 L/s, ETAR Iriri com capacidade de tratamento de 20 L/s e ETAR Interior-Suruí com capacidade de tratamento de 20 L/s).

5. Caso de estudo – ETAR Vila Inhomirim

Este estudo pretende realizar o pré-dimensionamento de uma ETAR para o município de Magé como forma de contributo ao seu plano municipal de saneamento. Conforme mencionado no capítulo 4, o município necessita, além de recuperar as duas ETAR existentes, construir mais sete ETAR para atender 100 % da população urbana com sistema de saneamento. Sendo assim, com o intuito que este trabalho possa ser uma mais-valia para o tratamento das águas residuais urbanas, optou-se em realizar o pré-dimensionamento de uma ETAR para o distrito de Vila Inhomirim, pois este abrange aproximadamente 50 % da população total do município.

5.1. Estudos preliminares – elementos de base

De acordo com Von Sperling (1996), a fase inicial de um projeto corresponde aos estudos preliminares, também designados estudos de base. Esta etapa é de grande importância pois a opção a ser adotada será fruto de todas as considerações e estudos efetuados nesta fase. Os elementos fundamentais que devem compor os estudos preliminares são: determinação do horizonte de projeto, estudos populacionais, caracterização quantitativa e qualitativa das águas residuais afluentes às ETAR, requisitos de qualidade do efluente e nível de tratamento.

5.1.1. Horizonte de projeto

Von Sperling (1996) recomenda que o horizonte de projeto de uma estação de tratamento de águas residuais seja de 20 anos. Sendo assim, a projeção deste estudo considera data de início de operação em 2022 e final em 2042.

5.1.2. Estimativa populacional

A tabela 12 indica o número de habitantes e a taxa de crescimento populacional do distrito de Vila Inhomirim entre os anos de 1991 e 2010, segundo o censo demográfico (IBGE, 1991, 2000 e 2010).

Tabela 12 – Número de habitantes e taxa de crescimento populacional do distrito de Vila Inhomirim entre 1991 e 2010.

Ano	Número de habitantes	Taxa de crescimento
1991	80345	-
2000	101574	26,4%
2010	114452	12,7%

Segundo Von Sperling (1996), os principais métodos utilizados para projeções populacionais são: crescimento aritmético, crescimento geométrico, taxa decrescente de crescimento e crescimento logístico.

Tendo como base os dados dos censos apresentados na tabela 12 para realizar as projeções populacionais, considerou-se a seguinte informação:

$$t_0 = 1991; \quad P_0 = 80\,345;$$

$$t_1 = 2000; \quad P_1 = 101\,574;$$

$$t_2 = 2010; \quad P_2 = 114\,452.$$

A seguir são apresentados, de forma sucinta, os métodos de estimativa populacional mencionados e, em seguida, as equações obtidas com a substituição dos dados dos censos provenientes da tabela 12. Não foi considerada a contribuição da população flutuante por ser um distrito onde esse fenômeno não se observa.

▪ *Método da projeção aritmética*

Este método admite que a população varie linearmente com o tempo de acordo com a expressão (1).

$$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0) \quad (1)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (2)$$

Em que:

P_t é a população de projeto;

P_0 é a população inicial conhecida;

t_0 é o ano inicial;

t é o ano de horizonte de projeto;

K_a é a taxa de crescimento aritmética.

Substituindo os valores dos dados censitários na expressão (2):

$$K_a = \frac{114452 - 80345}{2010 - 1991} = 1795,1$$

Substituindo os valores dos dados censitários e K_a na expressão (1):

$$P_t = 80345 + 1795,1 \cdot (t - 1991) \quad (3)$$

▪ *Método da projeção geométrica*

Este método admite crescimento populacional em função da população existente a cada instante de acordo com a expressão (4).

$$P_t = P_0 \cdot e^{K_g(t-t_0)} \quad (4)$$

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_0} \quad (5)$$

Em que:

K_g é a taxa de crescimento geométrico.

Substituindo os valores dos dados censitários na expressão (5):

$$K_g = \frac{\ln 114452 - \ln 80345}{2010 - 1991} = 0,0186$$

Substituindo os valores dos dados censitários e K_g na expressão (4):

$$P_t = 80345 \cdot e^{0,0186(t-1991)} \quad (6)$$

▪ *Método da taxa decrescente de crescimento*

Este método tem a premissa de que, na medida em que a população cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Para este método é utilizada a expressão (7).

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d(t-t_0)}] \quad (7)$$

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (8)$$

$$K_d = \frac{-\ln [(P_s - P_2) / (P_s - P_0)]}{t_2 - t_0} \quad (9)$$

Em que:

K_d é a taxa decrescente de crescimento;

P_s é população de saturação.

Substituindo os valores dos dados censitários na expressão (8):

$$P_s = \frac{2 \cdot 80345 \cdot 101574 \cdot 114452 - 101574^2 \cdot (80345 + 114452)}{80345 \cdot 114452 - 101574^2} = 126331,7$$

Substituindo os valores dos dados censitários e P_s na expressão (9):

$$K_d = \frac{-\ln [(126331,7 - 114452) / (126331,7 - 80345)]}{2010 - 1991} = 0,07124$$

Substituindo os valores dos dados censitários, P_s e K_d na expressão (7):

$$P_t = 80345 + 45986,7 \cdot [1 - e^{-0,07124 (t-1991)}] \quad (10)$$

▪ *Método do crescimento logístico*

Este método admite que o crescimento populacional segue uma relação matemática que estabelece uma curva em forma de S. Assim como no método da taxa decrescente de crescimento, a população tende assintoticamente a um valor de saturação. Para este método é utilizada a expressão (11).

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1(t-t_0)}} \quad (11)$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right] \quad (12)$$

$$c = (P_s - P_0) / P_0 \quad (13)$$

Em que:

K_1 é a taxa de crescimento logístico;

c é a constante de crescimento logístico.

Substituindo os valores dos dados censitários e P_s na expressão (12):

$$K_1 = \frac{1}{2010 - 1991} \cdot \ln \left[\frac{80345 \cdot (126331,7 - 101574)}{101574 \cdot (126331,7 - 80345)} \right] = -0,085$$

Substituindo os valores dos dados censitários e P_s na expressão (13):

$$c = (126331,7 - 80345) / 80345 = 0,5724$$

Substituindo os valores dos dados censitários, P_s , K_1 e c na expressão (11):

$$P_t = \frac{126331,7}{1 + 0,5724 \cdot e^{-0,085 (t-1991)}} \quad (14)$$

Utilizando as expressões (4), (7), (11) e (14), para o período horizonte de projeto, foram obtidos os resultados das estimativas populacionais apresentados na tabela 13. Conforme mencionado no capítulo 4 (item 4.4), o Plano de Saneamento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (2020) apresentou a estimativa de crescimento populacional para os distritos de Magé (tabela 7), entre eles o distrito de Vila Inhomirim, utilizando um método mais sofisticado, denominado Método dos Componentes Demográficos, que leva em consideração os dados de população obtidos nos censos demográficos em conjunto com os componentes demográficos (fecundidade, mortalidade e saldos migratórios). Os valores da estimativa de crescimento populacional do plano metropolitano estão representados na tabela 13. Para obter os dados da população em 2022 e 2042 verificou-se que o crescimento populacional apresentado na tabela 7, para o distrito de Vila Inhomirim, foi de 4% entre os anos de 2020 e 2025, e 0,76% entre os anos de 2040 e 2045. Portanto, como as taxas apresentadas são referentes a intervalos de 5 anos, para obter as estimativas para os anos de 2022 e 2042 aplicou-se a multiplicação de cada uma destas por $\frac{2}{5}$. Ou seja, para o ano de 2022 multiplicou-se o valor da população em 2020 (124 499) pela taxa de crescimento no intervalo (4%) multiplicada por $\frac{2}{5}$, obtendo-se para ano de 2022 uma população estimada igual a 126 489 habitantes. Para o ano de 2042 multiplicou-se o valor da população em 2040 (141 223) pela taxa de crescimento no intervalo (0,76%) multiplicada por $\frac{2}{5}$, obtendo-se para ano de 2042 uma população estimada igual a 141 651 habitantes.

Tabela 13 - Comparação entre os diferentes métodos de projeção de crescimento populacional.

Ano	Método aritmético	Método geométrico	Método da taxa decrescente	Método do crescimento logístico	Projeção proposta pelo Plano Metropolitano (ver tabela 7)
2022	135 993	143 112	121 279	121 405	126 489
2023	137 788	145 802	121 626	121 793	
2024	139 583	148 542	121 950	122 152	
2025	141 379	151 334	122 251	122 484	129 475
2026	143 174	154 179	122 532	122 790	
2027	144 969	157 077	122 793	123 072	
2028	146 764	160 030	123 036	123 333	
2029	148 559	163 038	123 263	123 573	
2030	150 354	166 102	123 474	123 794	134 783
2031	152 149	169 224	123 670	123 998	
2032	153 944	172 405	123 853	124 185	
2033	155 739	175 646	124 024	124 358	
2034	157 535	178 948	124 182	124 517	
2035	159 330	182 311	124 330	124 664	138 785
2036	161 125	185 738	124 468	124 799	
2037	162 920	189 229	124 596	124 923	
2038	164 715	192 786	124 715	125 037	
2039	166 510	196 410	124 826	125 142	
2040	168 305	200 102	124 930	125 238	141 223
2041	170 100	203 863	125 026	125 327	
2042	171 895	207 695	125 116	125 409	141 651

A figura 25 apresenta o gráfico das curvas de crescimento populacional obtidas pelos métodos habituais descritos anteriormente e pelo método dos componentes demográficos apresentado plano de saneamento metropolitano.

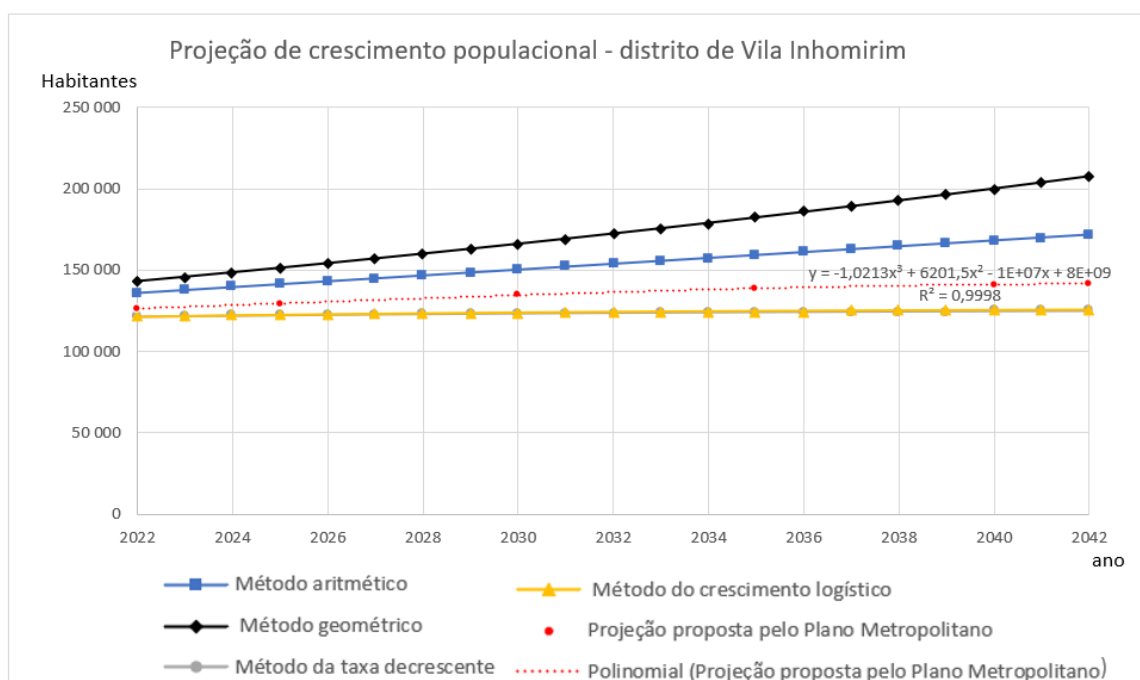


Figura 25 - Comparação entre diferentes métodos de projeção de crescimento populacional para o distrito de Vila Inhomirim.

Como se pode observar na figura 25, os métodos aritmético e geométrico tendem a assumir valores muito elevados para períodos de tempo maiores e por este motivo são mais indicados para estimativas de menor prazo. Os métodos da taxa decrescente e crescimento logístico apresentaram resultados similares, com curvas praticamente sobrepostas e com tendência de crescimento semelhante a curva obtida pelo método dos componentes demográficos, apresentado no Plano Metropolitano de Saneamento do Rio de Janeiro. Portanto, apesar de haver dados disponíveis no plano, pretendeu-se verificar se estes dados estavam de acordo com algumas destas leis de crescimento. Para o projeto de pré-dimensionamento da ETAR optou-se em utilizar o conjunto de dados do modelo mais sofisticado, apresentado no plano de saneamento metropolitano.

5.1.3. Estimativa dos caudais afluentes

Segundo Metcalf & Eddy (2016), a caracterização e a previsão dos caudais são necessárias para determinar a capacidade e os requerimentos hidráulicos do sistema de tratamento. De acordo com Von Sperling (1996), para realizar o dimensionamento de uma ETAR é necessário inicialmente calcular os caudais médios domésticos, de

infiltração e industrial para posteriormente estimar os caudais médios, mínimos e de ponta.

▪ *Caudal médio doméstico*

A contribuição de águas residuais provenientes das redes de saneamento está correlacionada ao abastecimento de água e o seu consumo. Como nem toda água consumida é drenada para a rede de saneamento, pois existem perdas, realização de regas de jardins, lavagens, é necessário adotar um coeficiente de proporcionalidade. Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (1999), a contribuição per capita de águas residuais é traduzida pelo consumo de água efetivo per capita multiplicado pelo coeficiente de retorno, sendo este, a relação entre o volume de águas residuais recebido na rede de saneamento e o volume de água efetivamente fornecido à população. A NBR 9649 (ABNT, 1986) recomenda que o valor do coeficiente de retorno seja de 0,8. O Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, denomina este coeficiente como fator de afluência, variando geralmente entre 0,70 e 0,90. Ainda segundo o Decreto Regulamentar n.º 23/95, quando não se disponha de informação precisa da capitação média anual, as capitações de água não devem ser inferiores a 175 L/(hab.dia) para populações acima de 50 000 habitantes. De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Magé (PMSB, 2013) o consumo médio per capita de água, adotado para o distrito de Vila Inhomirim, para o início do projeto foi de 200 L/(hab.dia). Após a execução do projeto, ano de 2032, o PMSB estimou o consumo médio per capita de água em 250 L/(hab.dia).

Segundo Von Sperling (1996), o caudal médio doméstico pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$Qd_{méd} = \frac{Pop \cdot Cap \cdot R}{86400} \quad (L/s) \quad (15)$$

Em que:

$Qd_{méd}$ é o caudal médio doméstico de águas residuais, em L/s;

Pop é a população do ano desejado

Cap é a Capitação de água, em L/(hab.dia);

R é o coeficiente de retorno água residual/água (também conhecido como coeficiente de afluência à rede).

Para o ano de 2022 o caudal médio doméstico estimado é:

$$Qd_{méd}2022 = \frac{126\,489 \cdot 200 \cdot 0,8}{86400} = 234,2 \text{ L/s}$$

E para o ano de 2042 o caudal médio doméstico estimado é:

$$Qd_{méd} 2042 = \frac{141\,651 \cdot 250 \cdot 0,8}{86400} = 327,9 \text{ L/s}$$

▪ *Caudal de infiltração*

De acordo com Von Sperling (1996), a infiltração na rede de saneamento ocorre devido a tubos defeituosos, ligações, juntas ou paredes de poços de visita. Quando não se dispõe de dados específicos locais, a taxa de infiltração é expressa em termos de caudal por comprimento da rede coletora. Ainda segundo Von Sperling (1996), valores médios entre de 0,3 a 0,5 L/(s.km) tem sido habitualmente usados. O caudal de infiltração pode ser calculado através da expressão (16):

$$Q_{inf} = T_{inf} \cdot L_{rede} \quad (16)$$

Em que:

Q_{inf} é o caudal de infiltração, em L/s;

T_{inf} é a taxa de infiltração, em L/(s.km);

L_{rede} é a extensão da rede coletora, em km.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), em 2018 o município de Magé disponha de 163 km de extensão de rede de saneamento. Tendo em vista que Vila Inhomirim possui 50% da população e considerando que a rede de saneamento está uniformemente distribuída pela área territorial, seria então razoável estimar que metade da rede estivesse inserida neste distrito. Como Vila Inhomirim é um centro urbano, em que a população não está dispersa, a rede que serve esta população pode estar concentrada a aproximadamente 1/3. Assim sendo, será considerado a extensão da rede em 30 km para o ano de 2022. Trata-se de uma estimativa que carece de ser corrigida quando houver informação adicional.

A taxa de infiltração, considerada para o mesmo ano, será de 0,4 L/(s.km) pois pressupõe-se que a rede de saneamento existente apresenta um desgaste moderado. Desta forma, utilizando a equação 16, para o ano de 2022 o caudal de infiltração estimado é:

$$Q_{\text{inf}2022} = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ L/s}$$

O Plano de Saneamento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (2020) apontou ser necessário a construção de mais 180,5 km de rede coletora de águas residuais para atender a população do distrito de Vila Inhomirim. Considerando que a rede coletora a ser instalada apresentará menos desgastes, será considerada uma taxa de infiltração igual a 0,3 L/(s.km) para o ano de 2042. Desta forma, utilizando a equação 16, para o ano de 2042 o caudal de infiltração estimado é:

$$Q_{\text{inf}2042} = (0,4 \cdot 30) + (0,3 \cdot 180,5) = 66,2 \text{ L/s}$$

▪ *Caudal Industrial*

A contribuição proveniente das águas residuais industriais é função do tipo e da dimensão da indústria, dos processos realizados, do grau de reutilização e da existência de pré-tratamento (Von Sperling, 1996). Segundo dados disponibilizados pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2018), referentes ao ano de 2016, o município de Magé possui 153 indústrias de transformação no seu território, destacando-se o setor alimentar, que abrange 26 unidades, e o de vestuário e acessórios, que compreende 20 unidades. Ainda segundo a FIRJAN, todo o setor industrial empregou 24 589 colaboradores em 2016. Considerando que a legislação ambiental aplicada ao município de Magé, tanto a nível nacional como estadual (resolução CONAMA nº 357, resolução CONAMA nº 430, Diretriz DZ-215.R-4 e Norma Técnica NT-202.R-10) determina que os efluentes industriais, tanto os sanitários como os provenientes dos processos, descarregados diretamente no meio receptor, devam ser devidamente tratados pelos produtores destes efluentes e, considerando ainda, que tanto o plano municipal como o metropolitano não abordaram a contribuição industrial em seus diagnósticos, optou-se em considerar que contribuição do caudal industrial para o sistema público de tratamento de água residuais será nulo no período de projeto estipulado em 20 anos. Em resumo, será considerado o caudal industrial igual a zero, $Q_{\text{ind}} = 0$, tanto para o ano de 2022 como para o ano de 2042.

▪ *Caudal médio*

O caudal médio é calculado pela soma dos caudais doméstico médio, de infiltração e industrial, para o ano inicial e final de operação da ETAR, conforme a expressão abaixo:

$$Q_{méd} = Qd_{méd} + Q_{inf} + Q_{ind} \quad (17)$$

Em que:

$Q_{méd}$ é o caudal médio, em L/s;

$Qd_{méd}$ é o caudal médio doméstico, em L/s;

Q_{inf} é o caudal de infiltração, em L/s;

Q_{ind} é o caudal industrial, em L/s.

Substituindo os valores na expressão (17), para o ano de 2022 o caudal médio estimado é:

$$Q_{méd\ 2022} = 234,2 + 12 + 0 = 246,2\ L/s$$

E para o ano de 2042 o caudal médio estimado é:

$$Q_{méd\ 2042} = 327,9 + 66,2 + 0 = 394,1\ L/s$$

▪ *Caudal de ponta e caudal mínimo*

O consumo de água e a produção de águas residuais variam ao longo do dia, da semana e do ano, sendo por isso importante identificar os valores máximos e mínimos para os caudais. Segundo Von Sperling (1996), tem sido prática corrente no Brasil a adoção dos seguintes coeficientes de variação do caudal médio da água:

$K_1 = 1,2$ - coeficiente do dia de maior consumo;

$K_2 = 1,5$ - coeficiente da hora de maior consumo;

$K_3 = 0,5$ - coeficiente da hora de menor consumo.

O caudal de ponta ($Q_{máx}$), no qual se baseia a estimativa das condições hidráulicas máximas que podem ocorrer e que têm de ser acomodadas, e o caudal mínimo ($Q_{mín}$) que ocorre geralmente em tempo seco, durante as horas de menor afluência à rede de drenagem, podem ser obtidos a partir das seguintes equações:

$$Q_{máx} = Qd_{méd} \cdot K_1 \cdot K_2 + Q_{inf} + Q_{ind} = 1,8 \cdot Qd_{méd} + Q_{inf} + Q_{ind} \quad (18)$$

$$Q_{\min} = Qd_{\text{méd}} \cdot K_3 + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} = 0,5 \cdot Qd_{\text{méd}} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (19)$$

Em que:

$Q_{\text{máx}}$ é o caudal de ponta, em L/s;

Q_{min} é o caudal mínimo, em L/s;

$Qd_{\text{méd}}$ é caudal médio doméstico, em L/s;

Q_{inf} é o caudal de infiltração, em L/s;

Q_{ind} é o caudal industrial, em L/s.

Portanto, utilizando as expressões (18) e (19), para o ano de 2022 os caudais de ponta e mínimo são:

$$Q_{\text{máx } 2022} = 1,8 \cdot 234,2 + 12 + 0 = 433,6 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{mín } 2022} = 0,5 \cdot 234,2 + 12 + 0 = 129,1 \text{ L/s}$$

E para o ano de 2042 os caudais de ponta e mínimo são:

$$Q_{\text{máx } 2042} = 1,8 \cdot 234,2 + 66,2 + 0 = 487,8 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{mín } 2042} = 0,5 \cdot 234,2 + 66,2 + 0 = 183,3 \text{ L/s}$$

A tabela 14 resume os valores encontrados para os caudais nos anos de operação da ETAR, em 2022 e 2042.

Tabela 14 - Estimativa dos caudais para o dimensionamento.

Ano	População (hab)	Qd _{méd}		Q _{inf}		Q _{méd}		Q _{máx}		Q _{mín}	
		L/s	m ³ /d	L/s	m ³ /d	L/s	m ³ /d	L/s	m ³ /d	L/s	m ³ /d
2022	126 489	234,2	20234,9	12	1036,8	246,2	21271,7	433,6	37463	129,1	11154,2
2042	141 651	327,9	28330,6	66,2	5719,7	394,1	34050,2	487,8	42145,9	183,3	15837,1

5.1.4. Caracterização das cargas afluentes

Para o dimensionamento de uma ETAR, os parâmetros associados à composição das águas residuais domésticas geralmente utilizados como base são: a carência bioquímica de oxigénio (CBO), a carência química de oxigénio (CQO), os sólidos suspensos totais (SST), o azoto total (NT) e o fósforo (PT). Estes dois últimos para as ETAR de tratamento terciário.

A carga afluente a uma ETAR corresponde à quantidade de poluente, por unidade de tempo, habitualmente designada de carga poluente, expressa em kg/d. A

carga per capita representa a contribuição de cada indivíduo expressa em termos de massa do poluente por unidade de tempo, sendo comumente adotada a unidade g/(hab.d). A carga poluente pode ser obtida pela expressão (20).

$$carga (kg/d) = \frac{população (hab). carga per capita \left(\frac{g}{hab.d} \right)}{1000 \left(\frac{g}{kg} \right)} \quad (20)$$

A concentração pode ser obtida pela seguinte expressão (21):

$$concentração (g/m^3) = \frac{carga (kg/d). 1000 (g/kg)}{caudal \left(\frac{m^3}{d} \right)} \quad (21)$$

Metcalf & Eddy (2016) e Von Sperling (1996) apresentam intervalos de capitação de produção de diferentes poluentes em diversos países, nomeadamente o Brasil. A tabela 15 apresenta os intervalos apresentados por estes autores e os valores que serão utilizados para o dimensionamento da ETAR de Vila Inhomirim.

Tabela 15 - Contribuição per capita utilizada para o dimensionamento.

Parâmetro	Contribuição per capita (g/(hab.d))		
	Metcalf & Eddy	Von Sperling	valores adotados
Carência bioquímica de oxigénio (CBO)	55 - 68	40 - 60	60
Carência química de oxigénio (CQO)	-	80 - 130	120
Sólidos suspensos totais (SST)	55 - 68	35 - 70	70
Azoto total (NT)	8 - 14	6 - 12	10
Fósforo total (PT)	0,6 - 1,0	1,0 - 4,5	2

▪ *Carência bioquímica de oxigénio (CBO)*

Utilizando as expressões (20) e (21), para o ano de 2022, a carência bioquímica estimada é:

$$carga (CBO_{2022}) = \frac{126\,489 \cdot 60}{1000} = 7\,589,3 \, kg/d$$

$$concentração (CBO_{2022}) = \frac{7589,3 \cdot 1000}{21271,7} = 356,8 \, mg/L$$

E para o ano de 2042:

$$carga (CBO_{2042}) = \frac{141\,651 \cdot 60}{1000} = 8\,499,1 \, kg/d$$

$$\text{concentração } (CBO_{2042}) = \frac{8499,1 \cdot 1000}{34050,2} = 249,6 \text{ mg/L}$$

▪ *Carência química de oxigênio (CQO)*

Utilizando as expressões (20) e (21), para o ano de 2022, a carência química estimada é:

$$\text{carga } (CQO_{2022}) = \frac{126\,489 \cdot 120}{1000} = 15\,178,7 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (CQO_{2022}) = \frac{15178,7 \cdot 1000}{21271,7} = 713,6 \text{ mg/L}$$

E para o ano de 2042:

$$\text{carga } (CQO_{2042}) = \frac{141\,651 \cdot 120}{1000} = 16\,998,1 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (CQO_{2042}) = \frac{16998,1 \cdot 1000}{34050,2} = 499,2 \text{ mg/L}$$

▪ *Sólidos suspensos totais (SST)*

Utilizando as expressões (20) e (21), para o ano de 2022, os sólidos suspensos totais estimados são:

$$\text{carga } (SST_{2022}) = \frac{126\,489 \cdot 70}{1000} = 8854,2 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (SST_{2022}) = \frac{8854,2 \cdot 1000}{21271,7} = 416,2 \text{ mg/L}$$

E para o ano de 2042:

$$\text{carga } (SST_{2042}) = \frac{141\,651 \cdot 70}{1000} = 9915,6 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (SST_{2042}) = \frac{9915,6 \cdot 1000}{34050,2} = 291,2 \text{ mg/L}$$

▪ *Azoto total (NT)*

Utilizando as expressões (20) e (21), para o ano de 2022, o azoto total estimado é:

$$\text{carga } (NT_{2022}) = \frac{126\,489 \cdot 10}{1000} = 1\,264,9 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (NT_{2022}) = \frac{1\,264,9 \cdot 1000}{21271,7} = 59,5 \text{ mg/L}$$

E para o ano de 2042:

$$\text{carga } (NT_{2042}) = \frac{141\,651 \cdot 10}{1000} = 1\,416,5 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (NT_{2042}) = \frac{1\,416,5 \cdot 1000}{34050,2} = 41,6 \text{ mg/L}$$

▪ *Fósforo (PT)*

Utilizando as expressões (20) e (21), para o ano de 2022, o fósforo total estimado é:

$$\text{carga } (PT_{2022}) = \frac{126\,489 \cdot 2}{1000} = 253 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (PT_{2022}) = \frac{253 \cdot 1000}{21271,7} = 11,9 \text{ mg/L}$$

E para o ano de 2042:

$$\text{carga } (PT_{2042}) = \frac{141\,651 \cdot 2}{1000} = 283,3 \text{ kg/d}$$

$$\text{concentração } (PT_{2042}) = \frac{283,3 \cdot 1000}{34050,2} = 8,3 \text{ mg/L}$$

Na tabela 16 é apresentado o resumo das condições afluentes referenciadas anteriormente, calculadas com base nos caudais médios.

Tabela 16 - Estimativa da caracterização do afluente à ETAR.

Parâmetro		Unidade	ano 2022	ano 2042
População		hab	126 489	141 651
Caudal	Q _{méd}	m ³ /d	21 271,7	34 050,2
CBO	carga	kg/d	7 589,3	8 499,1
	concentração	mg/L	356,8	249,6
CQO	carga	kg/d	15 178,7	16 998,1
	concentração	mg/L	713,6	499,2
SST	carga	kg/d	8 854	9 915,6
	concentração	mg/L	416,2	291,2
NT	carga	kg/d	1 264,9	1 416,5
	concentração	mg/L	59,5	41,6
PT	carga	kg/d	253	283,3
	concentração	mg/L	11,9	8,3

5.1.5. Tratamento proposto

A seguir será apresentado o tratamento proposta para a ETAR de Vila Inhomirim. Para o tratamento secundário optou-se por uso de um reator de lamas ativadas, pois, segundo Metcalf & Eddy (2016), tem sido habitualmente utilizado para o tratamento de águas residuais urbanas. O esquema de tratamento proposto consiste em:

Tratamento Preliminar (obra de entrada):

- Gradagem mecânica e unidade de desarenação.

Tratamento Primário

- Decantação primária.

Tratamento Secundário:

- Sistema de lamas ativadas num reator biológico de mistura completa (tanque de arejamento);
- Decantação secundária com recirculação de lamas biológicas e extração de lamas em excesso, estas últimas conduzidas ao tratamento de lamas.

A figura 26 indica a sequência de operações e processos unitários proposta para dimensionamento da ETAR do distrito de Vila Inhomirim.

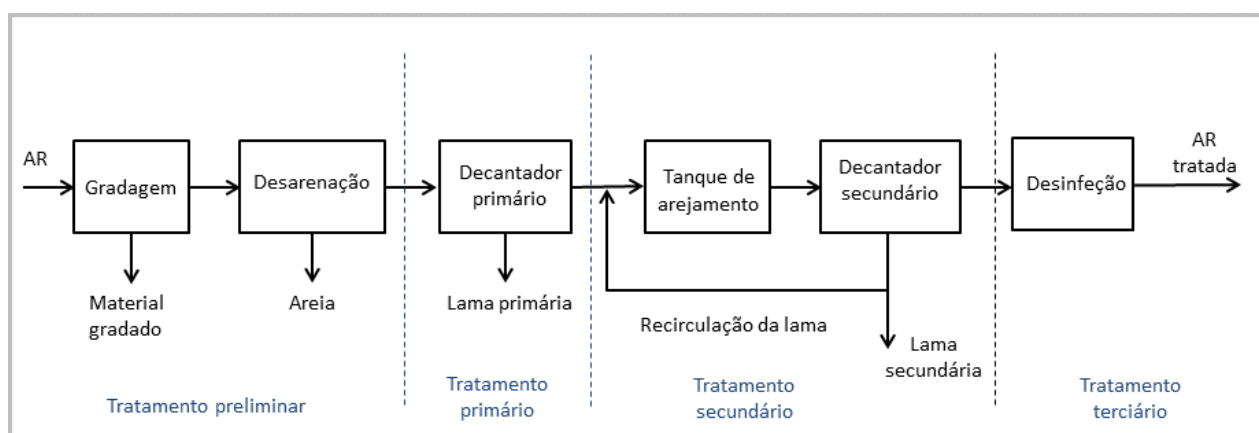


Figura 26 – Esquema simplificado do processo de tratamento proposto para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).

5.1.6 Requisitos de qualidade do efluente tratado

A literatura propõe valores para as eficiências de remoção de poluentes das águas residuais, os quais são apresentados nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 - Eficiência de remoção (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Tratamento	% de remoção - valores médios			
	CBO	CQO	SST	N
Gradagem	-	-	-	-
Desarenação	-	-	-	-
Decantação primária	30 - 40	30 - 40	50 - 65	5 - 10
Lamas ativadas (sist. convencional)	80 - 85	80 - 85	80 - 90	10 - 30

Tabela 18 - Eficiência de remoção (adaptado de Von Sperling, 1996).

Tratamento	% de remoção - valores médios		
	CBO	N	P
Gradagem	-	-	-
Desarenação	0 - 5	-	-
Decantação primária	35 - 40	10 - 25	10 - 20
Lamas ativadas (sist. convencional)	85 - 93	30 - 40	30 - 45

No tratamento proposto para ETAR de Vila Inhomirim, serão admitidos os valores de eficiência de remoção apresentados na tabela 19.

Tabela 19 - Eficiência de remoção de poluentes submetidos aos tratamentos propostos (valores admitidos).

Tratamento	% de remoção - valores médios				
	CBO	CQO	SST	N	P
Gradagem	-	-	-	-	
Desarenação	-	-	-	-	
Decantação primária	35	35	58	10	15
Lamas ativadas	85	82	85	30	30

Com base nas eficiências de remoção apresentadas na tabela 19, foram calculadas as concentrações dos poluentes para o efluente submetido aos diferentes tratamentos propostos que compõe a linha de tratamento da fase líquida da ETAR, conforme apresentado na tabela 20.

Tabela 20 - Concentração de poluentes submetidos ao tratamento proposto.

Tratamento	Concentração (mg/L)									
	2022					2042				
	CBO	CQO	SST	N	P	CBO	CQO	SST	N	P
Gradagem	356,8	713,6	416,2	59,5	11,9	249,6	499,2	291,2	41,6	8,3
Desarenação	356,8	713,6	416,2	59,5	11,9	249,6	499,2	291,2	41,6	8,3
Decantação primária	231,9	463,8	174,8	53,6	10,1	162,2	324,5	122,3	37,4	7,1
Lamas ativadas (sist. convencional)	34,8	83,5	26,2	37,5	7,1	24,3	58,4	18,3	26,2	4,9
% Total removido	90,3	88,3	93,7	37,0	40,5	90,3	88,3	93,7	37,0	40,5

A concentração de CBO calculada, após tratamento de lamas ativadas, é de 34,8 mg/L para o ano de 2022 e 24,3 mg/L para o ano de 2042 (tabela 20). Estes valores estão abaixo do limite máximo determinado pela Resolução CONAMA nº 430 (< 120 mg/L), apresentado na tabela 3, e abaixo do limite máximo determinado pela Diretriz DZ-215.R-4 (40 mg/L para carga orgânica superior a 80 kg CBO/d), apresentado na tabela 4. A concentração de SST calculada, após tratamento de lamas ativadas, é de 26,2 mg/L para o ano de 2022 e 18,3 mg/L para o ano de 2042. Estes valores estão abaixo do limite máximo determinado pela Diretriz DZ-215.R-4 (40 mg/L para carga orgânica superior a 80 kg CBO/d). Desta forma, verifica-se que o tratamento proposto atende a legislação ambiental brasileira.

5.2. Dimensionamento do sistema de tratamento

5.2.1 Canal Parshall

O dimensionamento do tratamento preliminar será iniciado pelo dimensionamento do canal Parshall, pois a altura máxima de água obtida para o canal será utilizada no dimensionamento dos canais do desarenador e da gradagem.

Para o dimensionamento do canal Parshall utilizou-se a expressão (22):

$$Q = K \cdot h^u \quad (22)$$

Em que:

Q é caudal, em m³/s;

h é a altura de água no canal, em m;

K e u são coeficientes para dimensionamento.

Os valores de K e u estão disponíveis na literatura (anexo) e dependem dos caudais de ponta e mínimo considerados ao longo do tempo do projeto, ou seja, $Q_{\text{máx}2042} = 487,8 \text{ L/s}$ e $Q_{\text{mín}2022} = 129,1 \text{ L/s}$. Para estes caudais, obteve-se os valores de $K = 1,0560$ e $u = 1,538$. Portanto, a expressão utilizada para o dimensionamento do canal Parshall fica de seguinte forma:

$$Q = 1,0560 \cdot h^{1,538} \quad (23)$$

Substituindo na expressão (23) os caudais de ponta e médio, para o ano de 2042, e o caudal mínimo, para o ano de 2022, é possível obter respectivas alturas de água no canal.

$$Q_{\text{máx} 2042} = 0,4878 \text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow h_{\text{máx}} = 0,61 \text{ m}$$

$$Q_{\text{méd} 2042} = 0,3941 \text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow h_{\text{méd}} = 0,53 \text{ m}$$

$$Q_{\text{mín} 2022} = 0,1291 \text{ m}^3/\text{s} \leftrightarrow h_{\text{mín}} = 0,26 \text{ m}$$

- Rebaixo do Parshall

Para calcular a altura do degrau antes do canal Parshall utilizou-se a expressão (24).

$$h_1 = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot h_{\text{mín}} - Q_{\text{mín}} \cdot h_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} \quad (24)$$

Em que:

h_1 é a altura do degrau antes do canal Parshall, em m;

$Q_{\text{máx}}$ é o caudal de ponta, em m^3/s ;

$Q_{\text{mín}}$ é o caudal mínimo, em m^3/s ;

$h_{\text{máx}}$ é a altura de água máxima no canal, em m;

$h_{\text{mín}}$ é a altura de água mínima no canal, em m.

Substituindo os valores na expressão (24):

$$h_1 = \frac{0,4878 \cdot 0,26 - 0,1291 \cdot 0,61}{0,4878 - 0,1291} = 0,13 \text{ m}$$

5.2.2 Desarenação

Apesar de haver vários tipos de desarenadores, o adotado neste trabalho foi o desarenador de escoamento horizontal com limpeza mecânica. O tipo mais habitual de

desarenador de escoamento horizontal consiste num canal de secção retangular ou trapezoidal, no qual a velocidade de escoamento horizontal se mantém constante, no valor pretendido, por efeito de um equipamento do controlo de caudal instalado a jusante na secção transversal do canal, por exemplo o canal Parshall.

De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011), num projeto de dimensionamento de uma ETAR deve ser previsto a instalação de pelo menos duas unidades de desarenador, sendo uma delas reserva. Desta forma, é possível realizar a limpeza de uma unidade, enquanto a outra está em funcionamento. Sendo assim, o dimensionamento apresentado a seguir será referente a uma unidade, pois a segunda unidade possuirá as mesmas dimensões.

- Altura de água no desarenador

As alturas de água no desarenador são calculadas através da diferença entre a altura de água na calha Parshall e a altura do degrau entre a caixa de areia e o medidor de caudal, o rebaixo do Parshall.

$$H = h_2 - h_1 \quad (25)$$

Desta forma, foram obtidas as alturas no desarenador para os caudais de ponta, médio e mínimo:

$$H_{\text{máx}} = 0,61 - 0,13 = 0,48 \text{ m}$$

$$H_{\text{méd}} = 0,53 - 0,13 = 0,40 \text{ m}$$

$$H_{\text{mín}} = 0,26 - 0,13 = 0,13 \text{ m}$$

Portanto, a altura máxima do desarenador é aproximadamente 0,5 m.

- Largura do desarenador

A NBR 12209 (ABNT, 2011) recomenda que, em desarenadores do tipo canal, a velocidade de escoamento para o caudal médio deve ser igual a 0,30 m/s, não sendo superior a 0,40 m/s para a o caudal máximo. Neste estudo adotou-se a velocidade de escoamento igual a 0,30 m/s para obter a largura do desarenador. Portanto, calculou-se a largura do desarenador conforme equação a expressão (26).

$$A = B \cdot H_{\text{méd}} = \frac{Q_{\text{méd}}}{V} \leftrightarrow B = \frac{Q_{\text{méd}}}{V \cdot H_{\text{méd}}} \quad (26)$$

Em que:

A é a área da seção transversal do canal Parshall, em m^2 ;

B é a largura do canal do desarenador, em m;

$H_{méd}$ é a altura de água média no desarenador, em m;

$Q_{méd}$ é o caudal médio afluente à ETAR, em m^3/s ;

V é a velocidade de escoamento da água residual, em m/s.

Substituindo os valores na expressão (26):

$$B = \frac{0,3941}{0,3 \cdot 0,4} = 3,3 \text{ m}$$

Portanto, a largura do desarenador é igual a 3,3 m.

- Verificação da velocidade no desarenador (V)

Para garantir que a velocidade de escoamento respeita a NBR 12209 (ABNT, 2011), verificou-se as velocidades obtidas pelos caudais de ponta e mínimo, com base na largura obtida do desarenador.

$$V_{máx} = \frac{Q_{máx}}{B \cdot H_{máx}} = \frac{0,4878}{3,3 \cdot 0,48} = 0,3 \text{ m/s}$$

Observa-se que a velocidade máxima é inferior a 0,40 m/s e, portanto, atende a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Tempo de retenção

O tempo de retenção é dado pela expressão (26a):

$$t_r = \frac{H}{Ch} \tag{26a}$$

Em que:

t_r é o tempo de retenção, em s;

H é a altura de água no desarenador, em m;

Ch é a carga hidráulica, em $m^3/(m^2 \cdot s)$.

Substituindo os valores na expressão (26a):

$$t_r = \frac{0,5}{0,015} = 33,3 \text{ s}$$

- Área superficial do desarenador

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), no caso de desarenador por gravidade, a taxa de escoamento superficial (carga hidráulica) deve estar compreendida entre 600 a 1.300 m³/(m².d). Neste estudo foi considerado o valor da carga hidráulica em 1300 m³/(m².d), ou seja, 0,015 m³/(m².s). A área superficial do desarenador pode ser determinada pela expressão (27):

$$A_s = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{Ch} \quad (27)$$

Em que:

A_s é a área superficial do desarenador, em m².

$Q_{m\acute{a}x}$ é o caudal de ponta, em m³/s;

Ch é a carga hidráulica, em m³/(m².s).

Substituindo os valores na expressão (27):

$$A_s = \frac{0,4878}{0,015} = 32,5 \text{ m}^2$$

Portanto, a área superficial do desarenador será de 32,5 m².

- Comprimento do desarenador de secção retangular

O desarenador adotado é de secção retangular de base retangular pelo que a área pode ser calculada pela expressão (28):

$$A_s = B \cdot L \quad (28)$$

Em que:

A_s é a área superficial, em m²;

B é a largura do desarenador, em m;

L é o comprimento do desarenador, em m.

Substituindo os valores na expressão (28):

$$L = \frac{A_s}{B} = \frac{32,5}{3,3} = 9,8 \text{ m}$$

O comprimento teórico do desarenador será de aproximadamente 10 m. É prática comum, no dimensionamento de desarenadores, obter o comprimento real através da multiplicação do comprimento teórico por um fator que varia entre 2 e 2,5.

Multiplicando o comprimento teórico obtido por 2, comprimento real obtido é igual a 20 m. Portanto, o desarenador terá a altura será igual a 0,5 m, a largura igual a 3,3 m e comprimento igual a 20 m.

- Profundidade do depósito de areia

A NBR 12209 (ABNT, 2011) recomenda que no fundo e ao longo do canal desarenador deve ser previsto um espaço para a acumulação do material sedimentado, com seção transversal mínima de 0,20 m de profundidade por 0,20 m de largura; no caso de limpeza manual, a largura mínima deve ser de 0,30 m.

A tabela 21 apresenta a quantidade de areia gerada no desarenador em função do caudal a ser tratado segundo referências de algumas literaturas.

Tabela 21 - Remoção de areia (adaptado de Jordão & Pessoa, 2011).

Autor ou referência	Origem	Faixa mín a máx $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$		Média $10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$
Mara, D	Escocesa	-	17	5 a 10
Metcalf & Eddy	Norte americana	0,03	18	-
Imhoff, K	Alemã	6,8	16	-
Degrémont	Francesa	-	16	-
Azevedo e Hess	Brasileira	0,3	7,3	1,5 a 2,9

Considerando que haverá a retenção de $3 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ de material sedimentado para cada m^3 de água residual a ser tratada e que a limpeza do desarenador será realizada a cada 10 dias, é possível estimar a quantidade de material sedimentado conforme apresentado na tabela 22.

Tabela 22 - Estimativa da produção de areia do projeto.

Parâmetro	Unidade	Valor	
		ano 2022	ano 2042
Caudal médio	m^3/d	21271,7	34050,2
Areia removida em função do caudal	$10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^3$	3,0	
Volume de areia removida ao ano	m^3	232,9	372,8
Intervalo de limpeza	dias	10	
Volume de areia removida por limpeza	m^3	6,4	10,2

A partir do dimensionamento da área superficial da caixa de areia e considerando que o material retido se distribui de forma homogênea pelo desarenador, é possível determinar a profundidade da caixa de areia através da expressão (29):

$$P = \frac{MR}{A_s} \quad (29)$$

Em que:

P é a profundidade do depósito de areia, em m;

MR é o volume do material retido entre os períodos de limpeza, em m³;

A_s é a área superficial do desarenador, em m².

Substituindo os valores na expressão 29:

$$P = \frac{10,2}{32,5} = 0,31 \text{ m}$$

A NBR 12209 (ABNT, 2011) recomenda que deve ser previsto um espaço para acumulação do material sedimentado com profundidade mínima de 0,20 m, o que é observado pela profundidade calculada.

5.2.3 Gradagem

Além da classificação por regime de limpeza (manual ou mecânica), as grades podem ser classificadas de acordo com o espaçamento entre as barras. A tabela 23 apresenta valores típicos de espaçamentos e espessuras das barras.

Tabela 23 - Classificação das grades (adaptado de Jordão & Pessoa, 2011).

Tipo de grade	Espaçamento (mm)	Espessura (mm)
Grossa	40 - 100	10 - 13
Média	20 - 40	8 - 10
Fina	10 - 20	6 - 10

Metcalf & Eddy (2016) apresentam em sua obra valores típicos de parâmetro utilizados para o dimensionamento de grades, tanto para as que são limpas manualmente como mecanicamente, como pode ser observado na tabela 24.

Tabela 24 - Informação sobre projetos típicos de grades limpas manualmente e mecanicamente (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Parâmetro	Unidade	Método de limpeza	
		Manual	Mecânica
Dimensão da barra			
Largura	mm	5-15	5-15
Profundidade	mm	25-38	25-38
Espaço entre barras	mm	25-50	15-75
Declividade em relação à horizontal	grau	45-60	60-90
Velocidade de aproximação			
Máxima	m/s	0,3-0,6	0,6-1,0
Mínima	m/s	-	0,3-0,5
Perda de carga permitida	mm	150	150-600

Segundo Metcalf & Eddy (2016) uma velocidade de aproximação de pelo menos 0,4 m/s é necessária para minimizar a deposição de sólidos no canal. Para prevenir a passagem de entulhos em condições de caudal de ponta, a velocidade através da grade não deve exceder 0,9 m/s. As grades com dispositivo de remoção mecânica de material retido são instaladas com inclinações que variam de 60° a 90°, enquanto as de remoção manual possuem inclinações entre 45° a 60° (ângulo formado pela grade e o fundo do canal a jusante).

A NBR 12209 (ABNT, 2011) recomenda os seguintes critérios para o dimensionamento: a) velocidade através da grade máxima igual a 1,20 m/s; b) inclinação das barras em relação a horizontal para limpeza mecanizada de 60° a 90° e para limpeza manual de 45° a 60°; c) perda de carga mínima para limpeza mecanizada igual a 0,10 m e limpeza manual igual a 0,15 m; e d) no caso de limpeza manual, a perda de carga deve ser calculada para 50% de obstrução da grade.

Para o dimensionamento do canal principal serão escolhidas grades do tipo média com limpeza mecânica. Neste estudo também será considerado a construção de um canal de recurso, de limpeza mecânica, que será acionado em situações de reparação ou manutenção do canal principal. Sendo assim, a tabela 25 apresenta os parâmetros adotados para o dimensionamento da gradagem.

Tabela 25 - Parâmetros adotados para o dimensionamento.

Parâmetro	Unidade	Valores (limpeza mecânica)
Velocidade de escoamento através das barras (V_s)	m/s	0,9
Espaçamento entre as barras (a)	mm	30
Espessura da barra (t)	mm	10
Ângulo de inclinação em relação a horizontal (θ)	º	75

- Eficiência da gradagem

A partir das considerações anteriores, calculou-se a eficiência da gradagem conforme a expressão (30).

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (30)$$

Em que:

E é a eficiência da gradagem;

a é o espaçamento entre as barras consecutivas, em mm;

t é a espessura da barra, em mm.

Substituindo os valores na expressão (30):

$$E = \frac{30}{30 + 10} = 0,75 = 75 \%$$

- Área útil

A área útil da gradagem é obtida a partir do caudal de ponta de projeto e da velocidade de escoamento através das barras adotada. Pode ser obtida pela expressão (31).

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_s} \quad (31)$$

Em que:

A_u é a área útil, em m²;

$Q_{m\acute{a}x}$ é o caudal de ponta, em m³/s;

V_s é a velocidade de escoamento máxima através das barras adotada, em m/s.

Substituindo os valores na expressão (31), tem-se:

$$A_u = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{V_s} = \frac{0,4878}{0,9} = 0,54 \text{ m}^2$$

Tem-se que a área útil da gradagem é de 0,54 m².

- Área transversal do canal de gradagem

A área transversal do canal foi calculada conforme a expressão (32).

$$S = A_u \cdot C \cdot \left(\frac{a + t}{a} \right) \quad (32)$$

Em que:

S é a área transversal, em m²;

A_u é a área útil do canal, em m²;

a é o espaçamento entre as barras, em mm;

C é o coeficiente de colmatação, igual a 1 para limpeza mecânica.

t é a espessura da barra, em mm.

Substituindo os valores na expressão (32), vem:

$$S = 0,54 \cdot 1 \cdot \left(\frac{30 + 10}{30} \right) = 0,72 \text{ m}^2$$

Portanto, a área transversal do canal encontrada é 0,72 m².

- Largura do canal

Sabendo que a câmara de grades será instalada em canal retangular, a largura da base do canal pode ser obtida através da expressão (33).

$$B_g = \frac{S}{H_{m\acute{a}x}} \quad (33)$$

Em que:

B_g é a largura da base do canal, em m;

S é a área transversal, em m;

H_{máx} é altura máxima de água no desarenador, em m.

Substituindo os valores na expressão (33), tem-se:

$$B_g = \frac{0,72}{0,48} = 1,5 \text{ m}$$

Portanto, a largura do canal será 1,5 metros. A altura será a mesma adotada para a altura do desarenador, igual a 0,5 m. O comprimento adotado será de 10 m.

- Verificação da velocidade para $Q_{\min}$

A NBR 12209 (ABNT, 2011) orienta que os dispositivos de remoção de sólidos grosseiros devem ser dimensionados de modo a garantir uma velocidade mínima de 0,40 m/s para o caudal afluente. Portanto, é necessária a verificação dessa velocidade com o caudal mínimo de projeto, de acordo com a expressão (34).

$$V = \frac{Q_{\min}}{B_g \cdot H_{\min}} \quad (34)$$

Em que:

V é a velocidade, em m/s;

$Q_{\min}$ é o caudal mínimo, em m³/s;

B_g a largura da base do canal, em m;

Substituindo os valores na expressão (34):

$$V = \frac{0,1291}{1,5 \cdot 0,13} = 0,66 \text{ m/s}$$

Portanto, verifica-se que a velocidade encontrada respeita a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Verificação da perda de carga na grade

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), a perda de carga mínima a ser considerada para os casos em que a limpeza das grades é feita de forma manual é de 0,15 m e para a limpeza mecânica igual a 0,10 m. No caso de limpeza manual, a perda de carga deve ser calculada para 50% de obstrução da grade. Primeiramente será calculada a velocidade de aproximação e a perda de carga para quando a grade estiver limpa.

A velocidade de aproximação será calculada pela expressão (35):

$$V = \frac{Q_{\max}}{B_g \cdot H_{\max}} \quad (35)$$

Em que:

V é a velocidade de aproximação, em m/s;

$Q_{\max}$ é o caudal de ponta, em m³/s;

B_g é a largura da base do canal, em m;

$H_{\text{máx}}$ a altura máxima de água no desarenador, em m.

Substituindo os valores na expressão (35), tem-se:

$$V = \frac{0,4878}{1,5 \cdot 0,48} = 0,68 \text{ m/s}$$

Segundo Jordão e Constantino (2011), o valor da perda de carga para grades limpas, sem acumulação de material grosseiro, pode ser determinado pela expressão (36):

$$h_f = \beta \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{4/3} \cdot \text{sen } \theta \cdot \left(\frac{V_s^2}{2 \cdot g}\right) \quad (36)$$

Em que:

h_f é a perda de carga, em m;

β é o fator de forma (depende da seção das barras);

a é o espaçamento entre as barras, em mm;

t é a espessura da barra, em mm;

V_s é a velocidade de escoamento através da abertura das barras, em m/s;

g é aceleração da gravidade, igual a 9,81 m/s;

θ é o ângulo da grade com a horizontal.

Considerando que a seção transversal das barras é retangular, o fator de forma é igual 2,42 (Jordão e Constantino, 2011).

Portanto, para grade mecânica limpa:

$$h_m = 2,42 \cdot \left(\frac{0,01}{0,03}\right)^{4/3} \cdot \text{sen } 75^\circ \cdot \left(\frac{0,9^2}{2 \cdot 9,81}\right) = 0,041 \text{ m}$$

- Número estimado de barras

A partir da largura do canal (B_g), do espaçamento entre as barras (a) e da espessura da barra (t) é possível calcular o número estimado de barras para a gradagem, através da expressão (37).

$$N = \frac{B_g}{a + t} \quad (37)$$

Substituindo os valores na expressão (37), tem-se:

$$N = \frac{1500}{30 + 10} = 37,5$$

Portanto, serão necessárias 37 barras para formar a câmara de grades.

- Produção de gradados

É possível estimar a quantidade de gradados gerados na gradagem de acordo com espaçamento das barras, como pode ser observado na tabela 26.

Tabela 26 - Produção de gradados de acordo com o espaçamento entre barras (Metcalf & Eddy, 2016).

Espaçamento entre barras (mm)	Peso específico (kg/m ³)	Volume de material retido (L / 1000 m ³)	
		gama	típico
12,5	700 a 1100	37 a 74	50
25	600 a 1000	15 a 37	22
37,7		7 a 15	11
50		4 a 11	6

Considerando o espaçamento das barras estipulado para o projeto (30 mm) e a tabela 24 apresentado, será estimado que o volume de material retido na grade será de 15 L/1000m³ e o peso específico igual a 800 kg/m³. Sendo assim, a produção de gradados para o projeto é apresentada na tabela 27.

Tabela 27 - Estimativa da produção de gradados do projeto.

Parâmetro	Unidade	Valor	
		ano 2022	ano 2042
Caudal médio	m ³ /d	21271,7	34050,2
Gradados produzidos	m ³ /1000m ³	0,015	
Peso volúmico dos gradados	kg/m ³	800	
Quantidade de gradados produzidos	m ³ /ano	116,5	186,4
	ton/ano	93,2	149,1

5.2.4 Decantação primária

A NBR 12209 (ABNT, 2011) define que o caudal de dimensionamento do decantador primário deve ser o caudal máximo afluente à unidade, e se este for superior a 250 L/s deve ser projetado mais de um decantador primário. A taxa de remoção superficial (carga hidráulica) deve ser compatível com a eficiência de remoção desejada, e ainda igual ou inferior a 90 m³/(m².d), quando preceder processo de lodo ativado. Para

o trabalho em questão, será considerado o dimensionamento de dois decantadores circulares (declive do fundo igual a 1:12) com limpeza mecânica. A taxa de remoção superficial inicialmente adotada será de $60\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{d})$.

- Diâmetro dos decantadores

A área superficial pode ser calculada conforme expressão (38).

$$A_s = \frac{Q_{\text{máx}}}{Ch} \quad (38)$$

Em que:

A_s é a área superficial, em m^2 ;

$Q_{\text{máx}}$ é o caudal de ponta, em m^3/d ;

Ch é a carga hidráulica, em $\text{m}^3/(\text{m}^2.\text{s})$.

Substituindo os valores na equação 38:

$$A_s = \frac{42145,9}{60} = 702,4 \text{ m}^2$$

Como serão utilizados dois decantadores primários, a área superficial de cada um será igual a $351,2 \text{ m}^2$. Portanto, o diâmetro de cada decantador circular será obtido através da expressão (39):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s}{\pi}} \quad (39)$$

Em que:

D é o diâmetro do decantador circular, em m;

A_s é a área superficial do decantador circular, em m^2 ;

Substituindo os valores na expressão (39), tem-se:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 351,2}{\pi}} = 21,2 \text{ m}$$

Sendo assim, o diâmetro de cada decantador primário será de $21,2 \text{ m}$.

- Profundidade dos decantadores

A NBR 12209 (ABNT, 2011) define que o tempo de retenção hidráulica para o caudal médio deve ser inferior a 3 horas e para o caudal de ponta deve ser superior a 1 hora.

O volume útil necessário pode ser calculado pela expressão (40):

$$V_m = Q_{m\acute{a}x} \cdot t_{rh} \quad (40)$$

Em que:

V_m é o volume útil, em m^3 ;

$Q_{m\acute{a}x}$ é o caudal de ponta, em m^3/d ;

t_{rh} é tempo de detenção hidráulica, em h.

Adotando o tempo de detenção hidráulica igual a 2h e substituindo os valores na expressão (40), tem-se:

$$V_m = \left(\frac{42145,9}{24} \right) \cdot 2 = 1756,1 \, m^3$$

Sendo assim, a profundidade útil de cada decantador será:

$$H_u = \frac{1756,1}{702,4} = 2,5 \, m$$

A altura utilizada para o dimensionamento será de 3,0 m. Desta forma para $H = 3,0 \, m$, tem-se $V = 3 \cdot 702,4 = 2107,2 \, m^3$.

- Verificação do tempo de retenção hidráulica

$$t_{rh \, m\acute{a}x} = \frac{2107,2}{\left(\frac{42145,9}{2 \cdot 24} \right)} = 2,4 \, h$$

$$t_{rh \, m\acute{e}d} = \frac{2107,2}{\left(\frac{34050,2}{2 \cdot 24} \right)} = 3,0 \, h$$

Portanto, cumpre a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Carga hidráulica sobre os descarregadores de saída

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), a taxa de escoamento (carga hidráulica) para o caudal de ponta através do descarregador de saída não pode exceder $500 \, m^3/(m \cdot d)$.

A carga hidráulica sobre os descarregadores de saída pode ser calculado pela expressão (41):

$$C_h = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{\pi \cdot D} \quad (41)$$

Em que:

C_h é a carga hidráulica sobre os descarregadores de saída, em $m^3/(m \cdot d)$;

$Q_{m\acute{a}x}$ é o caudal de ponta por decantador, em m^3/d ;

D é diâmetro do decantador primário, em m.

Substituindo os valores na equação 41:

$$C_h = \frac{(42145,9/2)}{\pi \cdot 21,2} = 316,6 \, m^3/(m \cdot d)$$

Portanto, cumpre a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Lamas produzidas nos decantadores primários

A tabela 28 apresenta os parâmetros típicos para lamas produzidas em decantadores primários e a tabela 29 apresenta a estimativa da quantidade de lamas produzidas.

Tabela 28 – Parâmetros típicos para lamas produzidas em decantadores primários (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Parâmetro	Unidade	Valor	
		Típico	Admitido
Massa específica relativa das lamas primárias	-	1,03 a 1,05	1,03
Concentração de sólidos nas lamas primárias	%	2 a 6	3,0

Para calcular a massa de sólidos secos produzidos será utilizada a expressão (41):

$$M_{sec} = Q_{méd} \cdot C_{SST} \cdot E_R \quad (41)$$

Em que:

M_{sec} é a massa de sólidos secos produzidos, em kg/d

$Q_{méd}$ é o caudal médio afluente, em m^3/d ;

C_{SST} é a concentração de sólidos suspensos totais, em kg/m^3 ;

E_R é a eficiência de remoção, em %.

Para calcular o volume de lamas será utilizada a seguinte equação:

$$V_{L1} = \frac{M_{sec}}{(\rho \cdot \gamma \cdot TS)} \quad (42)$$

Em que:

V_{L1} é o volume de lamas produzidas no decantador primário, em m³/d.

M_{sec} é a massa de sólidos secos produzidos, em kg/d

ρ é a massa específica relativa das lamas;

γ é a massa específica da água, igual a 1000 kg/m³;

TS é a percentagem de sólidos secos nas lamas primárias, em %.

O resumo dos resultados obtidos para a quantidade de lamas produzidas nos decantadores primários pode ser observado na tabela 29.

Tabela 29 - Quantidade de lamas produzidas nos decantadores primários

Parâmetro	Unidade	Ano 2022	Ano 2042
Caudal médio	m ³ /d	21271,7	34050,2
Concentração de SST	g/m ³	416,2	291,2
Eficiência de remoção	%	58	58
Massa de sólidos secos produzido	kg/d	5135	5751
Volume de lamas produzido para para um teor de sólidos secos igual a 3%	m ³ /d	166	186

5.2.5 Reator biológico - lamas ativadas

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), o caudal de dimensionamento para reatores de lamas ativadas deve ser o caudal médio afluente à ETAR. A norma também recomenda mais de uma linha de reatores biológicos operando em paralelo para projetos com caudal superior a 100 L/s. Para o dimensionamento em questão, será escolhido o sistema de lamas ativadas de mistura completa com operação contínua em reator aeróbio, denominado tanque de arejamento, seguido de decantação secundária com recirculação das lamas secundárias para o reator. Desta forma, a ETAR terá duas linhas de reatores biológicos de iguais dimensões e os cálculos realizados serão para apenas uma.

Alguns parâmetros típicos para projetos de lamas ativadas com mistura completa são apresentados na tabela 30.

Tabela 30 - Parâmetros típicos de projetos de lamas ativadas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Reator de mistura completa	Tempo de retenção de sólidos - TRS (d)	Relação alimento/microrganismo - F/M (Kg CBO/Kg SSVLM.d)	Carga volumétrica - F/V (Kg CBO/m ³ .d)	Concentração de sólidos suspensos no licor misto - SSLM (mg/L)	Tempo de retenção hidráulica - Trh (h)
	3 - 15	0,2 - 0,6	0,3 - 1,6	1500 - 4000	3 - 6

- Volume do tanque de arejamento (V_{ta})

O volume do compartimento aeróbio (tanque de arejamento), pode ser calculado através da expressão (43).

$$V_{ta} = \frac{Q \cdot S_0}{\left(\frac{F}{M}\right) \cdot X} \quad (43)$$

Em que:

V_{ta} é o volume do tanque de arejamento, em m³;

Q é o caudal afluente ao tanque de arejamento, em m³/d;

S_0 é a concentração de CBO afluente, em g/m³

F/M é a relação substrato/microrganismos, em g CBO/(g SSV.d)

X é a concentração de SSV do licor misto, em g SSVLM/m³.

A NBR 12209 (ABNT, 2011) recomenda que para sistemas de mistura completa, a relação F/M esteja entre 0,20 e 0,70 g CBO/(g SSVLM.d); a concentração de sólidos em suspensão no interior dos reatores biológicos deve estar compreendida no intervalo de 1500 a 4500 g/m³; e a idade das lamas seja entre 4 e 15 dias.

Para o dimensionamento em questão, a relação F/M adotada será de 0,3 g CBO/(g SSVLM.d); a concentração de SS será de 4000 g/m³ e o tempo de retenção de sólidos (TRS) considerado será de 8 dias. Será considerado o emprego de 4 tanques de arejamento com sistema de ar difuso, pois segundo Jordão & Pessoa (2011) tem sido habitual o uso de difusores em grandes estações de tratamento.

Segundo Metcalf e Eddy (2016), a relação SSV/SST pode variar de 0,80 a 0,90, sendo tipicamente utilizado o valor de 0,85. Portanto, utilizando SSV/SST = 0,85, a concentração estimada de SSV no licor misto será de 3400 g SSVLM/m³.

Conforme mostrado na tabela 18, considerando-se a instalação de decantadores primários com eficiência estimada em 35% na remoção de CBO, a concentração de CBO na entrada do tanque de arejamento será de 231,9 g/m³ em 2022 e 162,2 g/m³ em 2042.

Substituindo os valores na expressão (43):

$$V_{ta\ 2022} = \frac{21271,7 \cdot 231,9}{0,3 \cdot 3400} = 4836,2\ m^3$$

$$V_{ta\ 2042} = \frac{34050,2 \cdot 162,2}{0,3 \cdot 3400} = 5414,6\ m^3$$

- Dimensões dos tanques de arejamento

Considerando o dimensionamento de 4 tanques, para o ano de horizonte de projeto (2042), o volume de cada tanque será de 1354 m³. De acordo com a NBR 12.209/11, a profundidade mínima do reator com arejamento por ar difuso deve ser de 3 m. Neste estudo será adotada a profundidade de 5 m. Desta forma, a área superficial de cada tanque será de aproximadamente 271 m². Considerando a largura de cada tanque em 10 m, o comprimento será de 27,1 m.

- Cálculo do tempo de retenção hidráulica (T_{rh})

O tempo de tempo de retenção hidráulica pode ser calculado através da expressão (44):

$$T_{rh} = \frac{V_{ta}}{Q} \quad (44)$$

Em que:

t_{rh} é o tempo de retenção hidráulica, em h;

V_{ta} é o volume do tanque de arejamento, em m³;

Q é o caudal afluente ao tanque de arejamento, em m³/h.

Substituindo os valores na expressão (44), tem-se:

$$T_{rh\ 2022} = \frac{5414,6}{(21271,7/24)} = 6,1\ h$$

$$T_{rh\ 2042} = \frac{5414,6}{(34050,2/24)} = 3,8\ h$$

- Carga volúmica (F/V)

A carga volúmica define a quantidade de CBO₅ aplicada ao volume do tanque de arejamento, e pode ser calculada através da expressão (45).

$$(F/V) = \frac{Q \cdot S_0}{V_{ta}} \quad (45)$$

Em que:

F/V é a carga volúmica, em kg CBO/(m³.d)

Q é o caudal afluente ao tanque de arejamento, em m³/d.

S₀ é a concentração de CBO afluente, em kg/m³

V_{ta} é o volume do tanque de arejamento, em m³;

Substituindo os valores na expressão (45), tem-se:

$$\left(\frac{F}{V}\right)_{2022} = \frac{21271,7 \cdot 231,9 \cdot 10^{-3}}{5414,6} = 0,9 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

$$\left(\frac{F}{V}\right)_{2042} = \frac{34050,2 \cdot 162,2 \cdot 10^{-3}}{5414,6} = 1,0 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

- Verificação da quantidade de biomassa no reator biológico para o TRS considerado

O tempo de retenção de sólidos (TRS) é um parâmetro chave para operação e projeto de processos de lamas ativadas. É determinado pela divisão da massa de sólidos no tanque de arejamento pelos sólidos removidos diariamente, através de efluente e pelo processo de descarga, para o controle do processo (Metcalf & Eddy, 2016). A média do TRS pode ser calculado pela expressão (46):

$$TRS = \frac{V_{ta} X}{(Q - Q_w)X_e + Q_w X_R} \quad (46)$$

Em que:

TRS é o tempo de retenção de sólidos, em dias;

V_{ta} é o volume do tanque de arejamento, em m³;

X é a concentração de biomassa no reator, em g SSV/m³;

Q é o caudal afluente ao tanque de arejamento, em m³/d.

Q_w é o caudal de purga das lamas em excesso, em m³/d.

X_e é a concentração de biomassa no efluente, em g SSV/m³;

X_R é a concentração de biomassa na linha de recirculação de lamas ativadas do decantador, em g SSV/m³.

Desprezando-se as perdas de biomassa no efluente final, a expressão (44) pode ser escrita da seguinte forma:

$$TRS = \frac{V_{ta} X}{Q_w X_R} \quad (47)$$

A concentração de biomassa no tanque de arejamento também é função do TRS do sistema pode ser calculada de acordo com a expressão (48).

$$X = \left(\frac{TRS}{T_{rh}} \right) \left[\frac{Y (S_0 - S)}{1 + b (TRS)} \right] \quad (48)$$

Em que:

X é a concentração de biomassa no reator, em g SSV/m³;

TRS é o tempo de retenção de sólidos, em dias;

T_{rh} é o tempo de retenção hidráulica, em dias;

S_0 é a concentração de CQO afluente, em g/m³;

S é a concentração de CQO efluente, em g/m³;

Y é o coeficiente de síntese, em mg SSV/mg CQO;

b é o coeficiente específico de decaimento endógeno, em g SSV/(g SSV.d);

Os coeficientes cinéticos típicos para processos de lamas ativadas são apresentados na tabela 31.

Tabela 31 - Parâmetros típicos de projetos de lamas ativadas (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Coeficiente	Unidade	Típico
k	g CQO _{sb} /g SSV.d	6
KS	g/m ³ CBO	30
	g/m ³ CQO _{sb}	15
Y	g SSV/g CBO	0,6
	g SSV/g CQO	0,45
b	g SSV/g SSV.d	0,1

Para TRS igual a 8 dias, utilizando os parâmetros cinéticos em termos de CQO apresentados na tabela 28 e substituindo os valores do tempo de retenção hidráulico e

consumo de CQO na expressão (48), tem-se a concentração de biomassa no tanque de arejamento:

$$X_{2022} = \left(\frac{8}{6,1/24} \right) \left[\frac{0,45 (463,8 - 83,5)}{1 + 0,1 \cdot 8} \right] = 2993 \text{ gSSV/m}^3$$

$$X_{2042} = \left(\frac{8}{3,8/24} \right) \left[\frac{0,45 (324,5 - 58,4)}{1 + 0,1 \cdot 8} \right] = 3361 \text{ gSSV/m}^3$$

Utilizando a relação SSV/SST = 0,85, as concentrações de sólidos suspensos totais estimados para os anos de 2022 e 2042 serão, respetivamente, 3521 g/m³ e 3954 g/m³, e, portanto, respeitam a NBR 12209.

- Caudal de descarga de lamas em excesso (Q_w)

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), o valor mínimo da relação de recirculação das lamas ativadas, de decantadores secundários para reatores biológicos, deve ser tal que a concentração máxima de SST da lama recirculada não exceda o valor de 10000 g/m³. Desta forma, utilizando a relação SSV/SST = 0,85, a concentração de SSV não deve exceder 8500 g/m³. Rearranjando a expressão (47), o caudal de descarga de lamas pode ser calculado da expressão (49):

$$Q_w = \frac{V_{ta} \cdot X}{TRS \cdot X_R} \quad (49)$$

Em que:

Q_w é o caudal de descarga de lamas em excesso, em m³/d;

V_{ta} é o volume do tanque de arejamento, em m³;

X é a concentração de biomassa no reator, em g SSV/m³;

TRS é o tempo de retenção de sólidos, em dias;

X_R é a concentração de biomassa na linha de recirculação de lamas ativadas do decantador, em g SSV/m³.

Substituindo os valores na expressão (49), tem-se:

$$Q_{w\ 2022} = \frac{5414,6 \cdot 2993}{8 \cdot 8500} = 238 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{w\ 2042} = \frac{5414,6 \cdot 3361}{8 \cdot 8500} = 268 \text{ m}^3/\text{d}$$

Para determinar a quantidade de massa de lamas em excesso, pode-se utilizar a expressão (42) e os parâmetros da tabela 32.

Tabela 32 - Parâmetros típicos para lamas produzidas em decantadores secundários (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016).

Parâmetro	Unidade	Valor típico	
		Típico	Admitido
Massa específica relativa das lamas secundárias	-	1,05	1,05
Teor de sólidos nas lamas secundárias	%	0,4 a 1,2	0,8

Desta forma, o resultado da quantidade de lamas produzidas em excesso pode ser observado na tabela 33.

Tabela 33 - Quantidade de lamas secundárias produzidas em excesso.

Parâmetro	Unidade	Ano 2022	Ano 2042
Volume de lama secundária em excesso para para um teor de sólidos igual a 0,8%	m ³ /d	238	268
Massa de sólidos produzidos	kg/d	1999	2251

- Caudal de recirculação de lamas (Q_R)

O caudal de recirculação pode ser calculado através da expressão (50).

$$Q_R = \frac{X \cdot Q - X_R \cdot Q_w}{X_R - X} \quad (50)$$

Em que:

Q_R é o caudal de recirculação de lamas, em m³/d;

Q é o caudal afluente, em m³/d;

Q_w é o caudal de descarga de lamas, em m³/d;

X é a concentração de biomassa no reator, em g SSV/m³;

X_R é a concentração de biomassa na linha de retorno de lamas ativadas do decantador, em g SSV/m³.

Substituindo os valores na expressão (50):

$$Q_{R\ 2022} = \frac{2993.21271,7 - 8500.238}{8500 - 2993} = 11194\ m^3/d$$

$$Q_{R\ 2042} = \frac{3361.34050,2 - 8500.268}{8500 - 3361} = 21826\ m^3/d$$

- Massa de oxigénio adicionada

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011) a massa média de oxigénio a ser disponibilizada para o processo deve ser no mínimo uma vez e meia a carga média de CBO₅ aplicada ao tanque de arejamento quando não se tem nitrificação, e duas vezes e meia quando se tem nitrificação. A concentração de oxigénio dissolvido no tanque de arejamento a ser considerada no dimensionamento do equipamento de arejamento deve ser de pelo menos 1,5 mgO₂/L nos casos de lamas ativadas convencionais. Desta forma, a quantidade de oxigénio adicionado será dada pela seguinte equação:

$$M_{O_2} = 1,5 \cdot Q \cdot S_0 \quad (51)$$

Em que:

M_{O₂} é a massa de oxigénio adicionada ao tanque de arejamento, em kg/d;

Q é o caudal afluente ao tanque de arejamento, em m³/d;

S₀ é a concentração de CBO afluente, em kg/m³.

Substituindo os valores na expressão (51):

$$M_{O_2 \ 2022} = 1,5 \cdot 21271,7 \cdot 231,9 \cdot 10^{-3} = 7400 \text{ kg } O_2/d$$

$$M_{O_2 \ 2042} = 1,5 \cdot 34050,2 \cdot 162,2 \cdot 10^{-3} = 8284 \text{ kg } O_2/d$$

5.2.6 Decantação secundária

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), o decantador secundário deve ser dimensionado para taxa de escoamento superficial (carga hidráulica) igual ou inferior a 28 m³/m².d quando a idade das lamas for inferior a 18 dias ou a relação F/M for superior a 0,15 kg CBO₅/Kg SSVLM.d. Para o dimensionamento em questão serão utilizados 4 decantadores secundários.

Sendo adotada a carga hidráulica igual a 28 m³/m².d, a área mínima pode ser calculada pela expressão (38):

$$A_s = \frac{42145,9}{28} = 1505,2 \text{ m}^2$$

Como serão utilizados 4 decantadores secundários, a área superficial de cada decantador será igual a 376 m². Portanto, o diâmetro mínimo de cada decantador pode ser obtido através da expressão (39):

$$D = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4.376}{\pi}} = 21,9 \text{ m}$$

Será adotado o diâmetro de 23 m para cada decantador secundário. Desta forma, a área de cada decantador será de 415 m² e a área total será de 1660 m². Adotando a profundidade do decantador igual a 3,5 m, o volume de cada decantador será igual a 1452,5 m³ e o volume total igual a 4.357,7 m³.

- Verificação da carga hidráulica (C_h)

Utilizando a expressão (38), a carga hidráulica pode ser calculada da seguinte forma:

$$C_{h\ 2042} = \frac{42145,9}{1660} = 25,4 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

$$C_{h\ 2042} = \frac{37463}{1660} = 22,6 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

Portanto, as dimensões propostas atendem a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Verificação do tempo de retenção hidráulica (t_{rh})

De acordo com a NBR 12.209/11, o tempo de retenção hidráulico, relativo ao caudal médio deve ser igual ou superior a 1,5 h.

Utilizando a expressão (40), e usando o caudal médio, tem-se:

$$T_{rh\ 2022} = \frac{4357,7}{(21271,7/24)} = 4,9 \text{ h}$$

$$T_{rh\ 2042} = \frac{4357,7}{(34050,2/24)} = 3,1 \text{ h}$$

Portanto, as dimensões propostas atendem a NBR 12209 (ABNT, 2011).

O resumo dos resultados obtidos para o tratamento secundário pode ser observado na tabela 34.

Tabela 34 - Resumo de resultados do dimensionamento do tratamento secundário.

Parâmetro	Unidade	Ano 2022	Ano 2042
Tempo de retenção de sólidos (TRS)	d	8	8
Tempo de retenção hidráulico (Trh)	h	6,1	3,8
Quantidade de reatores	-	4	4
Volume de cada reator (Vta)	m ³	1354	1354
Largura de cada reator (W)	m	10	10
Comprimento de cada reator (L)	m	27,1	27,1
Altura de cada reator (H)	m	5	5
Carga volúmica (F/V)	kg/(m ³ .d)	0,9	1,0
Concentração de biomassa no reator (X)	g SSV/m ³	2993	3361
Massa de oxigénio adicionada (M _{O2})	kg O ₂ /d	7400	8284
Quantidade de decantadores secundários	-	4	4
Volume de cada decantador secundário (V _{ds})	m ³	1452,5	1452,5
Diâmetro de cada decantador secundário (D)	m	23	23
Altura do decantador secundário (H)	m	3,5	3,5
Caudal de descarga de lamas em excesso (Q _w)	m ³ /d	238	268
Massa de lamas produzidas em excesso (M _L)	kg/d	1999	2251
Caudal de recirculação de lamas (Q _R)	m ³ /d	11194	21826

5.3. Dimensionamento da fase sólida

5.3.1 Espessamento

Segundo a NBR 12209 (ABNT, 2011), os espessadores por gravidade devem ser dimensionados para uma taxa de aplicação de sólidos igual ou inferior a 50 kg SS/(m².d) e taxa de aplicação hidráulica (carga hidráulica) igual ou inferior a 12 m³/(m².d) para lama mista (lama primária + lama secundária). Para além disso, a norma faz recomendações adicionais, tais como profundidade útil mínima dos espessadores igual a 3,0 m, tempo de detenção hidráulico máximo de 24 horas e obrigatoriedade de remoção mecanizada de lama quando se utilizam diâmetros superiores a 3,0 m.

A tabela 35 apresenta a quantidade de lama mista afluyente aos espessadores.

Tabela 35 - Quantidade de lamas mistas afluentes aos espessadores.

Tipo de lama	Parâmetro	Unidade	Ano 2022	Ano 2042
Primária	Massa de sólidos produzida	kg/d	5135	5751
	Volume de lama produzida para para um teor de sólidos igual a 3%	m ³ /d	166	186
Secundária	Massa de sólidos produzida	kg/d	1999	2251
	Volume de lama produzida para para um teor de sólidos igual a 0,8 %	m ³ /d	238	268
Mista (prim. + sec.)	Massa de sólidos produzida	kg/d	7134	8002
	Volume de lama produzida	m ³ /d	404	454

- Área necessária para o espessamento

A área necessária para realizar o espessamento das lamas pode ser obtida pela expressão (52):

$$A_{esp} = \frac{M_{lm}}{t_{as}} \quad (52)$$

Em que:

A_{esp} é área necessária para o espessamento, em m²;

M_{lm} é a massa da lama mista, em kg/d;

t_{as} é a taxa de aplicação de sólidos, em kg/(m².d).

Desta forma, considerando a taxa de aplicação de sólidos igual a 50 kg/(m².d) e as informações presentes na tabela 31, tem-se:

$$A_{esp\ 2022} = \frac{7134}{50} = 143\ m^2$$

$$A_{esp\ 2042} = \frac{8002}{50} = 160\ m^2$$

- Dimensões do espessador

O diâmetro do espessador pode ser calculado pela equação 39:

$$D_{2022} = \sqrt{\frac{4 \cdot 143}{\pi}} = 13,5\ m$$

$$D_{2042} = \sqrt{\frac{4 \cdot 160}{\pi}} = 14,3\ m$$

Adotando o diâmetro igual a 15 m, a área será igual a 176,6 m². A profundidade adotada será de 4 m. Portanto o volume do espessador será igual a 706 m³.

- Verificação da taxa de aplicação de sólidos

Utilizando a expressão (52) em termos da taxa de aplicação de sólidos, tem-se:

$$t_{as\ 2022} = \frac{7134}{176,6} = 40,4\ kg/(m^2 \cdot d)$$

$$t_{as\ 2042} = \frac{8002}{176,6} = 45,3\ kg/(m^2 \cdot d)$$

Portanto, atende a NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Verificação da carga hidráulica

A carga hidráulica pode ser obtida pela expressão (53):

$$C_h = \frac{V_{lm}}{A_{esp}} \quad (53)$$

Em que:

C_h é a carga hidráulica, em m³/(m².d);

V_{lm} volume de lama mista afluente, em m³/d;

A_{esp} é área necessária para o espessamento, em m²;

Substituindo os valores na expressão (53), tem-se:

$$C_{h\ 2022} = \frac{404}{143} = 2,8\ m^3/(m^2 \cdot d)$$

$$C_{h\ 2042} = \frac{454}{160} = 2,8\ m^3/(m^2 \cdot d)$$

As cargas hidráulicas encontradas foram muito baixas e por este motivo tornarão o tempo de retenção hidráulico muito elevado, acima do valor determinado pela norma (24 horas). Sendo assim, para que haja compatibilidade dos valores encontrados, a norma orienta a diluição das lamas afluentes. Jordão & Pessoa (2011) recomendam que a carga hidráulica esteja entre 6 e 12 m³/(m².d). Fixando a carga hidráulica em 6 m³/(m².d), os volumes totais (lama + diluição) serão 858 m³/d em 2022 e 960 m³/d em

2022. Ou seja, faz-se necessário adicionar no mínimo 454 m³/d efluente recirculado às lamas em 2022 e 506 m³/d em 2042.

- Verificação do tempo de retenção hidráulico

Considerando o volume de lamas somado ao volume de diluição com efluente recirculado, é possível calcular o tempo de retenção hidráulico para o espessador através da expressão (44):

$$T_{rh\ 2022} = \frac{706}{(858/24)} = 19,7\ h$$

$$T_{rh\ 2042} = \frac{706}{(960/24)} = 17,7\ h$$

Portanto, considerando os volumes de diluição adicionados às lamas, os tempos de retenção hidráulico encontrados satisfazem a norma NBR 12209 (ABNT, 2011).

- Volume de lama produzida após o espessamento

Utilizando a expressão (42) e os parâmetros apresentados na tabela 36 é possível determinar o volume de lama produzida após o espessamento.

Tabela 36 - Parâmetros típicos para lamas mistas após o espessamento (adaptado de Metcalf & Eddy, 2016 e Jordão & Pessôa, 2011).

Parâmetro	Unidade	Valor típico	
		Típico	Admitido
Massa específica relativa das lamas mistas	-	1,03	1,03
Teor de sólidos nas lamas mistas após espessamento	%	2 a 6	4,0

$$V_{la\ 2022} = \frac{7134}{(1,03.1000.0,04)} = 173\ m^3/d$$

$$V_{la\ 2042} = \frac{8002}{(1,03.1000.0,04)} = 194\ m^3/d$$

Para o ano de 2022 o volume de recirculação será 404 – 173 = 231 m³/d e para o ano de 2042 será 454 – 194 = 260 m³/d.

5.3.2 Estabilização - digestão anaeróbia

De acordo com a NBR 12209 (ABNT, 2011), os digestores anaeróbios podem ser classificados em convencionais não homogêneos, convencionais homogêneos e de alta taxa. O volume útil dos digestores anaeróbios deve ser determinado com base na taxa de aplicação de sólidos em suspensão voláteis e no tempo de retenção

hidráulico, devendo-se obedecer certos limites, estabelecidos em função do tipo de digestor, conforme apresentado na tabela 37.

Tabela 37 - Taxas de aplicação de SSV e tempos de retenção hidráulico em função do tipo de digestor anaeróbio (adaptado de NBR 12209, 2011).

Tipo de digestão	Taxa de aplicação de SSV (kg SSV/(m ³ .d))	Tempo de retenção hidráulico (dias)
Convencional não homogeneizada	≤ 0,5	> 45
Convencional homogeneizada	> 0,5 e < 1,2	> 30
Alta taxa	> 1,2 e < 4,8	> 22 (não aquecido)
		> 18 (aquecido)

Para o dimensionamento em questão será adotado um digestor anaeróbio convencional não homogeneizado. Portanto, a taxa de aplicação de SSV utilizada será de 0,5 kg SSV/(m³.d).

- Volume necessário de digestores anaeróbios

O volume do digestor anaeróbio pode ser calculado pela expressão (54):

$$V_{da} = \frac{M_{SSV}}{t_{a\ SSV}} \quad (54)$$

Em que:

V_{da} é o volume do digestor anaeróbio, em m³;

M_{SSV} é a massa da fração volátil, em kg SSV/d;

$t_{a\ SSV}$ é taxa de aplicação de SSV, em kg SSV/(m³.d).

Utilizando a relação SSV/SST = 0,85 e substituindo os valores na expressão (54):

$$V_{da\ 2022} = \frac{0,85.7134}{0,5} = 12128\ m^3$$

$$V_{da\ 2042} = \frac{0,85.8002}{0,5} = 13603\ m^3$$

Para atender o tempo de detenção mínimo de 45 horas, tem-se:

$$V_{da\ 2022} = 45 \cdot 173 = 7785\ m^3$$

$$V_{da\ 2042} = 45 \cdot 194 = 8730\ m^3$$

Portanto, serão adotados quatro digestores anaeróbios com volume de 3400 m³ cada, obtendo-se um volume total de 13600 m³. Fixando a profundidade em 5 m, cada digestor terá diâmetro de 29,4 m.

5.3.3 Desidratação - leito de secagem

Para a determinação da área necessária de leitos de secagem, a NBR 12209 (ABNT, 2011) orienta que a taxa de aplicação de sólidos não poderá ultrapassar a 15 kg SS/(m².ciclo). Para o dimensionamento em questão, será considerada a taxa de aplicação de sólidos igual a 12,5 kg SS/(m².ciclo).

Considerando-se que, anteriormente à secagem, a lama sofrerá redução de 55% dos sólidos voláteis devido à digestão anaeróbia (Jordão & Pessoa, 2011), tem-se:

$$M_{ssv\ red\ 2022} = 0,55 \cdot 0,85 \cdot 7134 = 3335\ kg\ SSV/d$$

$$M_{ssv\ red\ 2042} = 0,55 \cdot 0,85 \cdot 8002 = 3740\ kg\ SSV/d$$

Em que:

$M_{ssv\ red}$ é a massa de sólidos suspensos voláteis após redução, em kg SSV/d.

Realizando a subtração da quantidade de lamas mistas, tem-se:

$$M_{ss\ sec\ 2022} = 7134 - 3335 = 3799\ kg\ SS/d = 1097397\ kg\ SS/ano$$

$$M_{ss\ sec\ 2042} = 8002 - 3740 = 4262\ kg\ SS/d = 1555630\ kg\ SS/ano$$

Em que:

$M_{ss\ sec}$ é a massa de sólidos suspensos resultante para a secagem, em kg SS/d ou kg SS/ano.

Adotando-se 12 ciclos de secagem por ano, tem-se:

$$M_{ss\ sec\ 2022} = 1097397 / 12 = 91450\ kg\ SS/ciclo$$

$$M_{ss\ sec\ 2042} = 1555630 / 12 = 129636\ kg\ SS/ciclo$$

Adotando-se a taxa de 12,5 kg SS / (m².ciclo), tem-se a seguinte área necessária de leitos de secagem de lamas:

$$A_{LS\ 2022} = 91450 / 12,5 = 7316\ m^2$$

$$A_{LS\ 2042} = 129636 / 12,5 = 10371\ m^2$$

Em que:

A_{LS} é a área total do leito de secagem, em m².

Portanto, será proposto a construção de 13 leitos de secagem de lamas, com largura de 20,0 m e comprimento de 40,0 para cada leito.

6. Resultados e discussões

Em resumo das soluções resultantes do dimensionamento dos processos unitários que compõem a fase líquida e a fase sólida da ETAR, é apresentado, na tabela 38, uma síntese das características geométricas obtidas.

Tabela 38 - Compilação do dimensionamento das unidades constituintes da ETAR.

Fase	Processo unitário	Descrição	Nº de unidades	Características geométricas de cada unidade.					
				W (m)	L (m)	H (m)	D (m)	A _s (m ²)	V (m ³)
Líquida	Gradagem	Canal de grades mecânicas.	2	1,5	10	0,5	-	15	7,5
	Desarenação	Tanques de desarenção.	2	3,3	20	0,5	-	66	33
	Decantação primária	Decantadores primários com pontes raspadoras de superfície e fundo.	2	-	-	3	21,2	353	1058
	Tratamento biológico	Reatores de lamas ativadas com sistema de ar difuso.	4	10	27,1	5	-	271	1355
	Decantação secundária	Decantadores secundários com pontes raspadoras de superfície e fundo.	4	-	-	3,5	23	415	1453
Sólida	Espessamento de lamas	Espessador gravítico.	1	-	-	4	15	177	707
	Estabilização de lamas	Digestor anaeróbio.	4	-	-	5	29,4	679	3393
	Desidratação de lamas	Leitos de secagem.	16	20	40	-	-	800	-

Nota: w - largura; L – comprimento; H – altura; D – diâmetro; A_s – área superficial; V – volume.

De acordo com os cálculos realizados neste trabalho, considerando apenas o dimensionamento de unidades operacionais, sem levar em consideração as unidades complementares (prédio administrativo, refeitório, casas de banho, entre outros), será necessária uma área mínima de 16 903 m² para construção da ETAR. Observa-se que os leitos de secagem ocupam aproximadamente 60% desta área total. Em alternativa o uso dos leitos de secagem, podem ser utilizados equipamentos como filtros prensa ou centrífugas para realizar a desidratação das lamas. Entretanto, seria necessário um maior investimento em equipamentos e mão de obra especializada. A simplicidade construtiva e operacional, assim como a disponibilidade de terreno, foram levadas em consideração para a escolha dos leitos de secagem.

Jordão e Pessoa (2011) apresentam em sua obra um gráfico (figura 27) em que é possível estimar as áreas mínimas e ótimas necessárias em função do caudal a ser tratado.

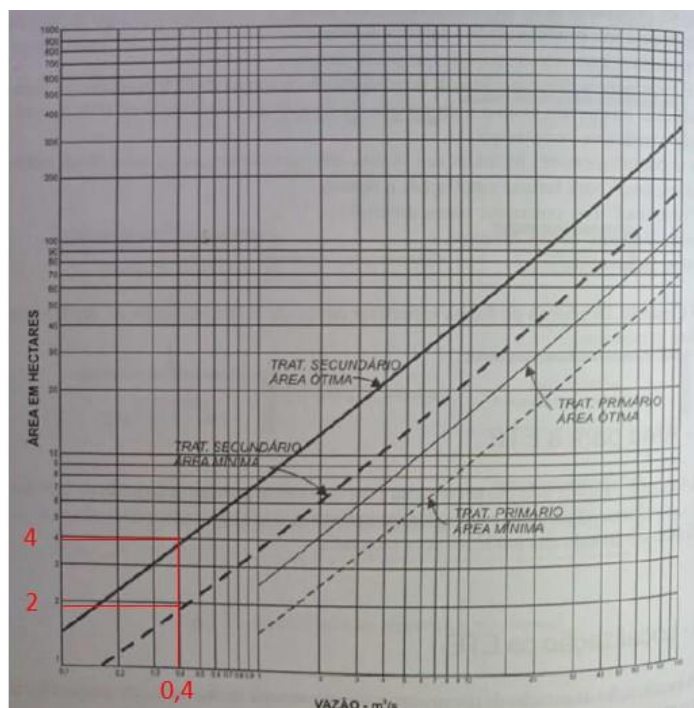


Figura 27 - Estimativa de área para construção de ETAR (Jordão & Pessôa, 2011).

De acordo com gráfico apresentado na figura 27, considerando o caudal médio para o ano de 2042 ($0,4 \text{ m}^3/\text{s}$), serão necessários aproximadamente 2 hectares de área mínima de terreno para a construção da ETAR, sendo a área de 4 hectares recomendada como ótima. Desta forma, os valores obtidos neste trabalho estão próximos dos valores propostos na literatura.

O pré-dimensionamento é um passo inicial importante para ajudar a determinar a localização de uma ETAR dentro de um município. A escolha da localização deve obedecer o zoneamento local, tendo em vista a proteção das populações vizinhas e os impactos ambientais gerados. Segundo Jordão & Pessôa (2011), os principais aspectos a serem considerados pelos projetistas e os responsáveis pelo planejamento do uso do solo são: possíveis odores desagradáveis, aerossóis, ruído, geração de tráfego e incômodos gerais. A legislação brasileira exige um Estudo de Impacte Ambiental (EIA) para instalação de uma ETAR que indique principalmente as medidas mitigadoras dos impactos causados nas fases de construção e operação, em particular em relação a odor e ruído. O Plano Municipal de Saneamento Básico de Magé (PMSB, 2013), indicou a localização aproximada para a construção da ETAR Vila Inhomirim, entretanto, não justificou sua escolha.

No estudo em questão é indicada uma localização para a construção da ETAR levando-se em consideração, principalmente, os seguintes aspectos: a proximidade do rio para o descarregamento do efluente tratado, a distância do centro urbano, a altimetria do terreno e proximidade da malha viária. Considerando uma área total de 4 hectares, proposta pela literatura, a figura 28 indica a localização sugerida para a construção da ETAR Vila Inhomirim (imagens do programa computacional Google Earth).

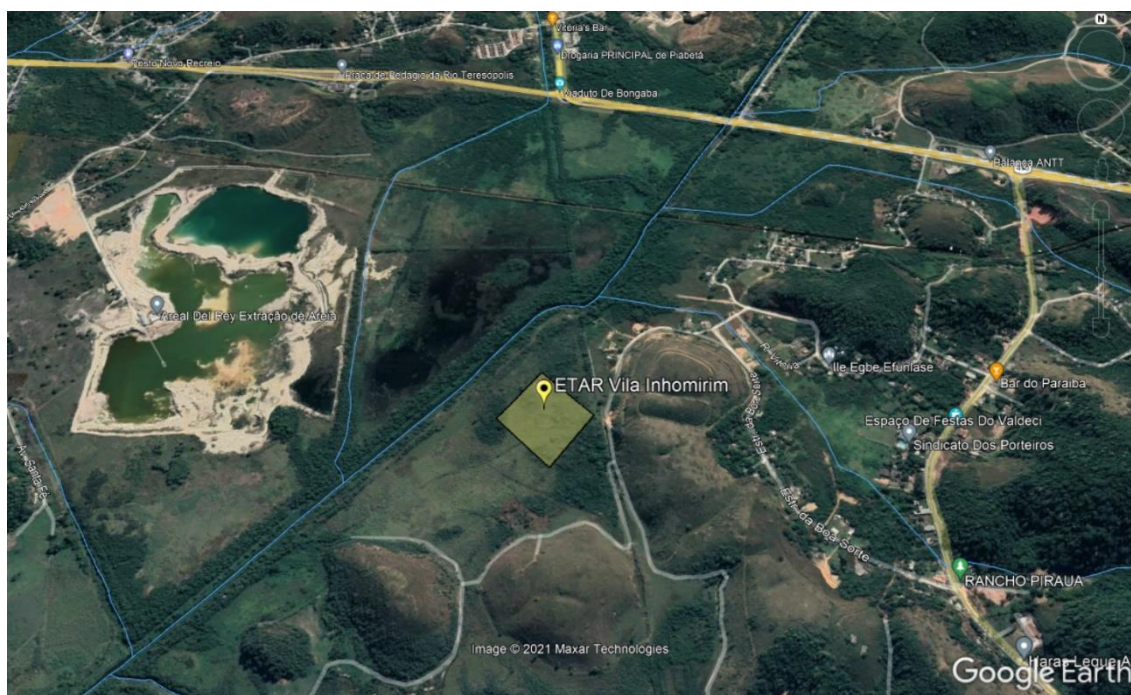


Figura 28 - Localização proposta para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).

A localização proposta apresentada na figura 28 está em região de planície, o que facilita o escoamento das águas residuais para a ETAR. O Rio Inhomirim, que receberá as águas residuais tratadas, está a 150 m da localização sugerida.

A figura 29 evidencia um raio de 3 km ao redor da ETAR, distância aproximada das aglomerações urbanas, localizadas ao norte. Para além disso, a rodovia BR-116, principal da rodovia da região, está a aproximadamente 1 km de distância, também ao norte. Verificou-se que a localização proposta para a construção da ETAR Vila Inhomirim por este trabalho é semelhante a localização sugerida pelo PMSB.

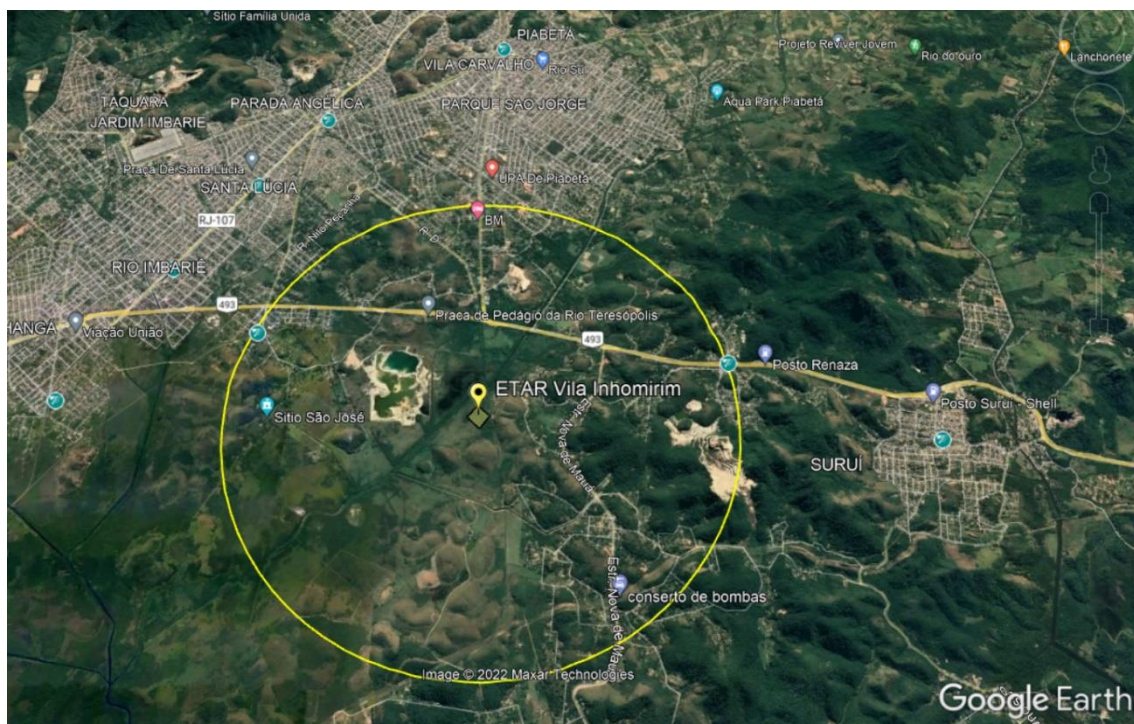


Figura 29 - Raio de 3km para a ETAR de Vila Inhomirim (autor).

7. Conclusões

Diferentemente da posição de destaque e prestígio que o município de Magé já alcançou no passado, a situação atual corresponde a uma realidade bem diferente. A alta taxa de pobreza, a baixa escolaridade da população adulta e as deficiências no setor de saúde colocam o município em uma posição desfavorecida comparado a outros municípios do estado do Rio de Janeiro. Esta disparidade também é evidenciada pela questão do saneamento básico, principalmente no que diz respeito ao tratamento das águas residuais, já que o município apresenta percentual de tratamento inferior à 3%.

Devido a sua localização geográfica, o não tratamento adequado das águas residuais no município impacta, além do próprio território, toda a região da Baía de Guanabara. Considerando que o município apresenta extensa área de florestas, em torno de 60% do território, e 11 unidades de conservação, que ocupam 76% do território, é preocupante que a perda da qualidade da água possa afetar a biodiversidade existente na região e provocar a contaminação dos aquíferos.

Além do meio ambiente, a saúde humana é outra preocupação existente, pois é de conhecimento amplo que diversas doenças estão relacionadas à ausência de saneamento básico. De forma a tentar resolver os problemas do município foi elaborado o plano municipal de saneamento básico, entretanto, pouco foi feito pelo poder público até a presente data. Elaborar documentos, definir planos e metas são tarefas extremamente importantes, todavia, executar o que foi planejado é crucial para atingir os objetivos traçados. Neste sentido, os desafios são grandes para que o município de Magé consiga atingir a universalização dos serviços de saneamento básico.

O Brasil possui um sistema legislativo abrangente e consolidado no que diz respeito à questão do saneamento básico, organizado em diferentes níveis de poder. No que se refere ao tratamento e lançamento das águas residuais, existem normas específicas que visam mitigar os impactos ambientais gerados, de modo a contribuir para o bem-estar social, saúde humana e preservação do meio ambiente. Entretanto, possuir um conjunto de normas é apenas o ponto inicial. Uma lei só é eficiente se for eficientemente aplicada, cumprida e assimilada pelos agentes sociais. Para que esta seja efetiva, é necessário estabelecer condições que viabilizem sua aplicação, como por exemplo, realizar investimentos financeiros em infraestrutura adequada e contratação

de técnicos especializados para a execução dos trabalhos, além de promover incentivos à educação ambiental para que se tenha um público instruído e sensibilizado.

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Magé diagnosticou ações relevantes a serem realizadas no município, entre elas, a necessidade de construção de novas ETAR. Como forma de contributo ao plano de saneamento, o presente trabalho realizou o pré-dimensionamento de uma ETAR para o distrito de Vila Inhomirim, em que residem aproximadamente 50 % da população total do município.

Os processos e operações unitários propostos para o tratamento das águas residuais atendem à legislação, tendo em vista que a qualidade do efluente tratado cumpre os limites de descarga legalmente exigidos.

O dimensionamento proposto foi realizado para o ano de término do projeto (2042), entretanto, conforme as verificações realizadas na etapa de dimensionamento, as condições de funcionamento para o ano inicial (2022) também foram satisfeitas, já que a estimativa de crescimento populacional no período não foi acentuada.

A localização proposta para a construção da ETAR é satisfatória e semelhante a localização sugerida pelo PMSB.

Como perspectivas de trabalho futuro, de forma a complementar alguns dos assuntos que foram analisados neste estudo, propõe-se realizar um estudo de viabilidade económica que incluam custos de: construção; compra ou desapropriação de terrenos; energia; projetos e supervisão; taxas legais; juros de empréstimos; depreciação; operação e manutenção da estação.

8. Referências bibliográficas

- ABCON, 2020 - Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços de Água e Esgoto. Panorama da participação privada no saneamento 2020. Disponível em: <https://www.abconsindcon.com.br/panoramas/>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- ABNT. NBR 9.649, 1986. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.
- ABNT. NBR 12.209, 2011. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.
- Alem Sobrinho, P e Tsutiya, M., 1999. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2. ed. 1999.
- ANA, 2017 - Agência Nacional de Águas e Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 30 mar 2021.
- AGENERSA, 2020 - Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro. Carta de serviços ao cidadão. Rio de Janeiro: AGENERSA, 2020. Disponível em: <http://www.agenersa.rj.gov.br/images/bannerCartaServicos/CartadeServicos.pdf>. Acesso em: 21 abr 2021.
- Atlas CBH-BG, 2021 - Atlas da Região Hidrográfica V, Baía de Guanabara e Sistemas Lagunares de maricá e Jacarepaguá. Disponível em: http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Atlas_CBH-BG.pdf. Acesso em: 15 mai 2021.
- AC PRH BG, 2020 – A Atualização e Complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistema Lagunares de Maricá e Jacarepaguá. Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/wp-content/uploads/2020/03/rhv-rp01.pdf>
- Balbino, M.L.C. & Machado G.A, 2011. Paradoxo das diretrizes ambientais brasileiras: posicionamento internacional e do ordenamento interno brasileiro frente às questões ambientais. Veredas do Direito, Belo Horizonte – v.8 – n.º16 – p.11-46 julho/dezembro 2011. Disponível em: <http://revista.domhelder.edu.br/index.php/veredas/article/view/210>. Acesso em: 19 mai 2021.
- Barrella, K. M., 2008 - Pesquisa de vírus entéricos humanos em lodos de esgoto originários de duas ETEs do Estado de São Paulo: estabelecimento e avaliação de metodologia para recuperação e detecção viral. Tese de Doutorado, Instituto de

- Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/42/42132/tde-19092008-130053/pt-br.php>. Acesso em: 08 ago 2021.
- BRASIL. Constituição 1988. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 18 mar 2021.
- BRASIL. Lei 14.026/2020, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n.º 9.984, de 17 de julho de 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 22 mar 2021.
- BRASIL. Lei 11.445/2007, de 15 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n.º 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 18 mar 2021.
- Capone, D., Jansen, J.M., Lopes, A. J., Siqueira, H., Costa, A., Capone, R., 2010. Micoses pulmonares. Revista HUPE, v.9, n.2(2010). <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistahupe/article/view/9179/7064>. Acesso em: 02 ago. 2021.
- Cassini, S. T., 2003 - Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.
- EMBRAPA, 2018 - Água e saneamento: contribuições da Embrapa. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1090194/agua-e-saneamento-contribuicoes-da-embrapa>. Acesso em: 02 ago 2021.
- ERSAR, 2016 - Entidade Reguladora de Águas e Resíduos de Portugal. Tratamento de Águas Residuais - Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico - Lisboa, 2016. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/site-comunicacao/site-noticias/documents/ct5-trataguasresiduais.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- Ferreira, W.F.C., Sousa, J.C.F., Lima, N., 2010 - Microbiologia, Lidel – Edições Técnicas, Lda, Lidel, Porto.
- FIRJAN, 2018 – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Banco de Dados - Estudos – Caxias e região II. Disponível em:

- <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/retratos-regionais.htm>. Acesso em: 01 set. 2021.
- Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/>. Acesso em: 02 jun 2021.
- Gonçalves, J.C., 2017. Análise das tecnologias correntes para o tratamento e secagem de lamas de ETAR. Dissertação de Mestre Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra – Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Halley, E. & Miller, G.A, 1991. “Backward” approach to sludge management. Water Engineering & Management. V.9, p.36-39, 1991.
- Henriques, J. D.; Palma, J. C.; Ribeiro, A. S., 2007 - IBEIRTEcnico 9 – Medição de Caudal em Sistemas de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais Urbanas. IRAR, 2007.
- IBGE, 2021 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. História de Magé. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/mage/historico>. Acesso em: 25 fev 2021.
- IBGE, 2020 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados de Magé. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/mage.html>. Acesso em: 18 mar 2021.
- IBGE, 2010 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>. Acesso em: 01 mar. 2021.
- INCT ETEs Sustentáveis, 2018. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETEs Sustentáveis. 1º fórum técnico ETEs Sustentáveis, 2018. Disponível em: <http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2018/12/NT-2-vers%C3%A3o-site.pdf>. Acesso em: 15 jul 2021.
- Jordão, E. P.& Pessoa, C. A., 2011. Tratamento de esgotos domésticos. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- Komaroff, AL., 2006. Is human herpesvirus-6 a trigger for chronic fatigue syndrome? - Journal of Clinical Virology. p. S39–46. [https://doi.org/10.1016/S1386-6532\(06\)70010-5](https://doi.org/10.1016/S1386-6532(06)70010-5).
- Luduvic, M., 2001. Processos de estabilização de lodos.In: Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 484p.
- MAGÉ, Lei Orgânica Municipal Magé, de 05 de abril de 1990. Disponível em: <<https://camaramage.rj.gov.br/legislacao/lei-organica/>>. Acesso em: 20 mar 2021.

- MAGÉ, Lei complementar n.º 006, de 15 de dezembro de 2016. Plano Diretor Municipal Participativo para o Desenvolvimento Sustentável de Magé Disponível em: <https://camaramage.rj.gov.br/legislacao/leis-municipais/>. Acesso em: 20 mar 2021.
- MAGÉ, Lei 2.221 de 2014. Disponível em: < <https://mage.rj.gov.br/leis-e-codigos/>. Acesso em: 20 mar 2021.
- Marçal, D. A. & Silva C. E, 2017 - Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). Eng. Sanit. Ambient. ,v.22, n.4, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017148242>.
- Martins, A. B. C., Rocha J. P., Santana, C. G, 2018. Análise dos impactos causados pelo lançamento de efluentes domésticos não tratados e sua relação com a capacidade de autodepuração de um corpo hídrico. Revista do CEDS, n. 9, 2018. Disponível em: <http://sou.undb.edu.br/public/publicacoes/analise-dos-impactos-causados-pelo-lancamento-de-efluentes-domesticos-nao-tratados-e-sua-relacao-com-a-capacidade-de-autodepuracao-de-um-corpo-hidrico-ana-beatriz-jhogenes-pereira-e-claudemir-gomes.pdf>. Acesso em: 05 ago 2021.
- Matthews, P.J. Sewage sludge disposal in the UK: A new challenge for the next twenty years. Journal of the Institution of Water Environmental Management, v.6, p.551-559,1992.
- Metcalf & Eddy. Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos. 5ª edição, 2016.
- Nações Unidas, 2016 - Banco Mundial: América Latina tem água em abundância, mas não saneamento. 22 set. 2016. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2016/09/1563721-banco-mundial-america-latina-tem-agua-em-abundancia-mas-nao-saneamento>>. Acesso em: 12 dez. 2017.
- Nações Unidas, 2021 - Água potável e saneamento: objetivo 6: assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. 2021. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>>. Acesso em: 09 ago 2021.
- Oberlaender, R.G.; Araujo, B.M., Santos, A.S., Bila, D.M., 2018. Estudo de Sistemas de Tratamentos de Esgoto adotados no município de Sapucaia/RJ, Afluentes do Rio Paraíba do Sul. III simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/76/A0023.pdf>
- Oguisso, Taka, & Schmidt, Maria José. (1999). Sobre a elaboração das normas jurídicas. Revista da Escola de Enfermagem da USP, 33(2), 175-

185. <https://doi.org/10.1590/S0080-62341999000200009>. Acesso em: 15 mai 2021.
- Oliveira, E.M.C; Andrade, E.L.B; Fernandes, A.I.A; Neto, R.F.V; Villar, S.B.B.L, 2016. Análise Comparativa de duas Estações de Tratamento de Esgoto na cidade de Natal/RN. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-024.pdf>
- PDRH-BG, 2005 - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/plano-de-bacia/>. Acesso em: 10 mar 2021.
- Pedroza, M.M.; Vieira,G.E.G; Sousa,J.F.; Pickler,A.C.; Leal, E.R.M.; Milhomen, C.C., 2010 - Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. Revista Liberato v. 11, n. 16, 2010. Disponível em: http://revista.liberato.com.br/ojs_lib/index.php/revista/article/view/160. Acesso em: 02 ago. 2021.
- PERHI-RJ, 2014 - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>. Acesso em: 17 mai 2021.
- PMSB, 2013 - Plano Municipal de Saneamento Básico – Água e Esgoto – Município de Magé. Disponível em: <https://psam.eco.br/pmsb/>. Acesso em: 03 mai 2021.
- PSRMRJ, 2020 - Plano de Saneamento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/consultapublica/>. Acesso em: 18 mai 2021.
- PMMA, 2020 - Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica. Mosaico Central Fluminense. Magé, RJ, 2020. Disponível em: <https://mage.rj.gov.br/conselho-de-meio-ambiente-aprova-plano-de-recuperacao-da-mata-atlantica/>. Acesso em: 25 mai 2021.
- PORTUGAL. Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto. Estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Disponível em: <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/236/1998/08/01/p/dre/pt/html>. Acesso em: 20 abr 2021.
- PORTUGAL. Decreto Regulamentar n.º 23/95, Diário da República Portuguesa n.º 194 – I Série B, de 23 de agosto de 1995. Disponível em: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/431873/details/maximized>. Acesso em: 06 out 2021.
- Prefeitura de Magé, 2021. Website Institucional – História. Disponível em: <https://mage.rj.gov.br/historia/>. Acesso em: 25 fev 2021.

- Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Macaé, 2020. Produto 4 - Tomo IV. Prognósticos e Alternativas para Universalização dos Serviços de Saneamento Básico - Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.macaerj.gov.br/sema/conteudo/titulo/revisao-do-plano-municipal-de-saneamento-basico>. Acesso em: 22 mar 2021.
- RIO DE JANEIRO, Constituição do Estado do Rio de Janeiro, promulgada a 5 de outubro de 1989. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/constest.nsf/PageConsEst?OpenPage>. Acesso em: 18 mar 2021
- RIO DE JANEIRO, Decreto n.º 42.930, de 18 de abril de 2011, institui o Pacto pelo Saneamento. Disponível em: http://www.silep.planejamento.rj.gov.br/decreto_42_930_-_18042011_-_cr.htm. Acesso em: 20 mar 2021
- TCE-RJ, 2008 -Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. Estudos Socioeconômicos dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro - Magé. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://sites.google.com/site/informacoesregionais/mage>. Acesso em 09 mar. 2021.
- SNIS, 2021 - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 10 mar 2021.
- SNIS, 2021 - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>> Acesso em: 22 mar 2021.
- Von Sperling M., 1996 - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª.ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA; Universidade Federal de Minas Gerais.
- Website Clima Tempo, 2021. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/306/mage-rj>. Acesso em 1 jun 2021.
- Whittaker, R. H. 1969. New concepts of Kingdoms of Organism. Science. 163: 150-160. DOI: 10.1126/science.163.3863.150
- WHO e UNICEF, 2017 - World Health Organization and the United Nations Children's Fund. PROGRESS on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines. Disponível em: <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/07/JMP-2017-report-launch-version_0.pdf>. Acesso em: 09 ago 2021.
- Wikipédia, 2021. Disponível em: https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_municipalit%C3%A9s_de_l%27%C3%89tat_de_Rio_de_Janeiro. Acesso 1 jun 2021.

ANEXO

Tabela 39 - Coeficientes K e u para o dimensionamento de canal Parshall.

Caudal mínimo (m ³ /s)	Caudal máximo (m ³ /s)	K	u	Limites de h (m)		Limite de h'/h
0,09 × 10 ⁻³	5,4 × 10 ⁻³	0,0604	1,550	0,015	0,21	0,5
0,18 × 10 ⁻³	13,2 × 10 ⁻³	0,1207	1,550	0,015	0,24	0,50
0,77 × 10 ⁻³	32,1 × 10 ⁻³	0,1771	1,550	0,03	0,33	0,5
1,5 × 10 ⁻³	111 × 10 ⁻³	0,3812	1,580	0,03	0,45	0,60
2,5 × 10 ⁻³	251 × 10 ⁻³	0,5354	1,530	0,03	0,61	0,60
3,324 × 10 ⁻³	0,457	0,6909	1,522	0,03	0,76	0,70
4,8 × 10 ⁻³	0,695	1,0560	1,538	0,03	0,76	0,70
12,1 × 10 ⁻³	0,937	1,4280	1,550	0,046	0,76	0,70
17,6 × 10 ⁻³	1,427	2,1840	1,566	0,046	0,76	0,70
35,8 × 10 ⁻³	1,923	2,9530	1,578	0,06	0,76	0,70
44,1 × 10 ⁻³	2,424	3,7320	1,587	0,06	0,76	0,70
74,1 × 10 ⁻³	2,929	4,5190	1,595	0,076	0,76	0,70
85,8 × 10 ⁻³	3,438	5,3120	1,601	0,076	0,76	0,70
97,2 × 10 ⁻³	3,949	6,1120	1,607	0,076	0,76	0,70
0,16	8,28	7,4630	1,600	0,09	1,07	0,80
0,19	14,68	8,8590	1,600	0,09	1,37	0,80
0,23	25,04	10,960	1,600	0,09	1,67	0,80
0,31	37,97	14,450	1,600	0,09	1,83	0,80

Fonte: ESAR, 2016