



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**MODELO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO DESCENTRALIZADOS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE**

GABRIELE DE SOUZA BATISTA

CAMPINA GRANDE – PB

2021

GABRIELE DE SOUZA BATISTA

**MODELO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO DESCENTRALIZADOS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa

Coorientadora: Ma. Elis Gean Rocha

CAMPINA GRANDE – PB

2021

GABRIELE DE SOUZA BATISTA

**MODELO DE SELEÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO DESCENTRALIZADOS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 21 de maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Patricia Hermínio Cunha Feitosa
Universidade Federal de Campina Grande
Presidente/Orientadora

Elis Gean Rocha

Ma. Elis Gean Rocha
Universidade Federal de Campina Grande
Coorientadora

Dayse Luna Barbosa

Profa. Dra. Dayse Luna Barbosa
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador interno

Whelton Brito dos Santos

Me. Whelton Brito dos Santos
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador externo

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu amor incondicional e misericórdia e a Virgem Maria por rogar por mim ao Pai nos momentos mais difíceis.

A minha mãe, Claudete, verdadeiramente o maior exemplo da minha vida, que apoiou com muito amor meus estudos e sonhos, sempre lutando para me proporcionar um futuro digno. Obrigada por sempre estar presente, como mãe e pai, e me ensinar a não desistir.

A minha avó, Bernadete, por ter sido tão presente em minha criação, dedicando-se a cuidar de mim com amor e paciência. Ao meu avô (*in memoriam*), Sebastião, pelo seu companheirismo e por sempre se orgulhar de minhas conquistas, você me traz muita saudade.

Ao meu namorado e melhor amigo, Mateus, por ser meu cúmplice e companheiro fiel durante toda a graduação. Seu amor, sua paciência e sua dedicação em me ajudar foram de grande importância para o desenvolvimento desse trabalho.

A todos os meus amigos, que de perto ou de longe, torciam e me incentivavam a seguir. Em especial ao meu Grupo 1 – Geovanna, Hamilton, Luma, Teresa, Milena e Mateus – pela amizade, carinho e apoio, nos bons momentos e também nos mais difíceis. Aprendemos, rimos e choramos muito juntos nesses cinco anos de curso.

A minha orientadora Patrícia, que me acompanha desde o primeiro ano da graduação, pela constante ajuda e suporte nesses anos, obrigada por acreditar no meu potencial e me incentivar crescer, humanamente e intelectualmente, com suas correções, palavras e ensinamentos.

A minha co-orientadora Elis, companheira de coleta e laboratório durante a minha graduação, pela sua paciência, atenção e dedicação em me ajudar, além de sua amizade, que me foram de grande importância.

A todos do Laboratório de Saneamento da UFCG, que nunca mediram esforços para me ajudar durante a época que fui monitora e pesquisadora na graduação, em especial Tiquinho, Igor, Cristina, Valmaria e Savana. A toda a equipe de elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico, por todo conhecimento compartilhado e pela ajuda nessa pesquisa.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG pelos ensinamentos ao longo da graduação. Em especial as professoras Dayse, Andréa, Marília e Izabelle pelo cuidado e lições tão bem ensinadas, e *in memoriam* do professor Eduardo Enéas de Figueiredo, a quem tive a oportunidade de ser aluna em minha graduação.

Enfim, a todos que contribuíram para a concretização deste sonho. Muito obrigada!

RESUMO

A precariedade dos serviços de esgotamento sanitário, principalmente no que tange o tratamento de efluentes, constitui uma realidade dos municípios brasileiros. Em municípios de pequeno porte, a problemática é acentuada pela limitação técnica e financeira, sendo fundamental que as tecnologias de tratamento sejam simples, sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente acessíveis. Desse modo, este trabalho tem por objetivo propor um modelo de seleção de tecnologias de tratamento de esgoto sanitário descentralizados para municípios de pequeno porte, com o auxílio do PROMETHEE II, pautando-se na priorização de critérios técnicos, ambientais, econômicos e sociais a partir das características das bacias de esgotamento. Na zona urbana do Distrito Sede de Casserengue, município escolhido para o estudo, os resultados mostraram que as tecnologias de *wetlands* construídos (A2) e os vermifiltros (A3) ocupam as melhores colocações nas bacias de esgotamento, não gerando lodo e apresentando as maiores taxas de eficiência de remoção da demanda bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos. Essas tecnologias alternativas possuem superioridade em relação aos critérios sociais e ambientais selecionados, priorizados pelos decisores, em comparação com o sistema convencional de lagoa anaeróbia + lagoa facultativa. A alternativa A4 (tanque séptico + filtro anaeróbio) obteve pior colocação no ranking das bacias estudadas. A robustez do método e a atribuição de preferência aos critérios para bacias com diferentes classificações, indicam que o modelo é replicável para municípios de pequeno porte. Assim, o trabalho contribui para a otimização da tomada de decisão de sistemas de tratamento de esgoto, propiciando melhor uso dos recursos, redução de vulnerabilidades, bem como o desenvolvimento municipal.

Palavras-chave: Tratamentos alternativos de esgoto; Saneamento ambiental; Modelo multicritério; PROMETHEE II.

ABSTRACT

The precariousness of sewage services, especially with regard to the treatment of effluents, is a reality in Brazilian municipalities. In small municipalities, the problem is accentuated by technical and financial limitations, making it essential for treatment technologies to be simple, sustainable, economically viable and socially accessible. Thus, this work aims to propose a selection model for decentralized sanitary sewage treatment technologies for small municipalities, with the help of PROMETHEE II, based on the prioritization of technical, environmental, economic and social criteria from the characteristics of sewage basins. In the urban area of the main district of Casserengue, a municipality chosen for the study, the results showed that the technologies constructed wetlands (A2) and the vermifilters (A3) occupy the best positions in the sewage basins, generating no sludge and presenting the highest rates efficiency of biochemical demand for oxygen and suspended solids removal. These alternative technologies have superiority in relation to the selected social and environmental criteria, prioritized by the decision makers, in comparison with the conventional system of anaerobic pond + facultative pond. The alternative A4 (septic tank + anaerobic filter) had a worse position in the ranking of the studied basins. The robustness of the method and the preference given to the criteria for basins with different classifications, indicate that the model is replicable for small municipalities. The work contributes to the optimization of decision-making for sewage treatment systems, providing better use of resources, reducing vulnerabilities, as well as municipal development.

Key words: Alternative sewage treatments; Environmental sanitation; Multicriterial model; PROMETHEE II.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Investimentos realizados em água e esgoto na Paraíba, em percentagem, entre os anos de 2014 e 2018.....	18
Tabela 2: Variação da população total, urbana e rural (2000 e 2010).....	32
Tabela 3: Consumo per capita de água conforme população total do município.....	39
Tabela 4: Critérios e pesos, com base em estudos, para seleção de sistemas de tratamento avaliados.....	44
Tabela 5: Indicadores relacionados à destinação de esgotos por domicílios Casserengue	51
Tabela 6: Estimativa populacional e das vazões sanitárias domésticas por bacia de esgotamento	56
Tabela 7: Dimensões calculadas para as alternativas de tratamento por bacias de esgotamento	57
Tabela 8: Critérios calculados para cada bacia de esgotamento sanitário	59
Tabela 9: Pesos finais dos critérios para cada classificação de bacias de esgotamento	65
Tabela 10: Pesos finais dos critérios para as bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue	67
Tabela 11: Ranking das alternativas por bacia de esgotamento	68
Tabela 12: Limites inferiores e superiores do intervalo de estabilidade	70
Tabela 13: Funções e valores calculados dos critérios para o sistema convencional de tratamento (Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa).....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais parâmetros de caracterização e monitoramento dos esgotos sanitários..	22
Quadro 2: Fatores de importância a serem considerados ao se selecionar e avaliar tecnologias de tratamento de esgotos.....	25
Quadro 3: Informações e indicadores para a caracterização do esgotamento sanitário do município.....	36
Quadro 4: Alternativas de sistemas de tratamento de efluentes consideradas	39
Quadro 5: Metodologias de classificação das bacias de esgotamento conforme parâmetros selecionados.....	47
Quadro 6: Considerações feitas no dimensionamento das tecnologias de tratamento de esgoto	56
Quadro 7: Critérios selecionados no estudo	58
Quadro 8: Classificação final das bacias de esgotamento estudadas.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Investimentos totais, em abastecimento e em esgotamento sanitário no Brasil, entre os anos de 2000 e 2018.....	17
Figura 2: Esquema de sistemas de esgotamento sanitário: a) centralizados; b) descentralizados individuais; c) descentralizados coletivos	20
Figura 3: Sistemas de transporte de esgotos	21
Figura 4: Mapa de localização do município de Casserengue.....	32
Figura 5: Comportamento do relevo do município: a) mapa hipsométrico; b) mapa de declividades	34
Figura 6: Fluxograma metodológico do estudo	36
Figura 7: Fluxograma da estruturação do modelo de tomada de decisão.....	42
Figura 8: Mapa do sistema de esgotamento sanitário da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue.....	53
Figura 9: Delimitação das sub-bacias de drenagem para a zona urbana do Distrito Sede	54
Figura 10: Bacias de esgotamento sanitário para a zona urbana do Distrito Sede	55
Figura 11: Identificação dos principais fundos de vale, corpos hídricos e área disponível para implantação da ETE das bacias de esgotamento do Distrito Sede de Casserengue	62
Figura 12: Delimitação das áreas urbanas do Distrito Sede associada as bacias de esgotamento em imagens de satélite.....	63
Figura 13: Série histórica de imagens de satélite dos corpos receptores das bacias de esgotamento em estudo.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
BNH	Banco Nacional da Habitação
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CESBs	Companhias Estaduais de Saneamento Básico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IGBE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPC-IG	Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo
MDE	Modelo de Elevação do Terreno
NBR	Norma Brasileira
NT	Nitrogênio Total
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
pH	Potencial Hidrogeniônico
Planasa	Plano Nacional de Saneamento
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation</i>
PT	Fósforo Total
SANECAP	Companhia de Saneamento da Capital
SANES	Companhia de Saneamento de Campina Grande
SES	Sistemas de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SSS	Sólidos Suspensos Sedimentáveis
SS/SST	Sólidos Suspensos Totais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 SANEAMENTO AMBIENTAL E O ESGOTAMENTO SANITÁRIO	15
2.1.1 Histórico	15
2.1.2 Marcos regulatórios legais do saneamento no Brasil e no estado da Paraíba.....	18
2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	19
2.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES	22
2.3.1 Classificação dos métodos de tratamento	23
2.3.2 Etapas de tratamento de esgoto	23
2.3.3 Estudos de concepção de sistemas de tratamento de efluentes	25
2.4 ESTUDOS DE TÉCNICAS PARA TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ESGOTO EM PEQUENAS CIDADES E COMUNIDADES RURAIS DISPERSAS	26
2.4.1 Wetlands construídos.....	27
2.4.2 Vermifiltro	28
2.4.3 Fossa verde	28
2.4.4 Filtro anaeróbio.....	29
2.4.5 Círculo de bananeiras	29
2.5 MÉTODO PROMETHEE COMO FERRAMENTA PARA ESCOLHA DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	30
3. ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.....	31
3.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO MUNICÍPIO	31
3.2 TERRITÓRIO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO	31
3.3 DEMOGRAFIA E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	32
3.4 TOPOGRAFIA, PEDOLOGIA E VEGETAÇÃO.....	33
3.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS	34
3.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	34
4. METODOLOGIA.....	36
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO	36

4.1.1 Levantamento de dados	36
4.1.2 Mapeamento do sistema atual.....	37
4.1.3 Delimitação e estudo das bacias de esgotamento sanitário	37
4.2 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ALTERNATIVAS.....	39
4.2.1 Tanques sépticos.....	40
4.2.2 Wetlands construídos.....	40
4.2.3 Vermifiltros	41
4.2.4 Filtro anaeróbio.....	41
4.3 MODELO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITERIAL NA SELEÇÃO DO SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	42
4.3.1 Seleção dos critérios	42
4.3.2 Definição dos parâmetros e pesos	46
4.3.3 Aplicação do PROMETHEE II	49
4.3.4 Análise de sensibilidade	49
4.4 COMPARAÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA ALTERNATIVA DEFINIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO	51
5.2 DELIMITAÇÃO E ESTUDO DAS BACIAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	54
5.3 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ALTERNATIVAS.....	56
5.4 DEFINIÇÃO E CÁLCULO DE CRITÉRIOS	57
5.4.1 Escolha dos critérios.....	57
5.4.2 Cálculo dos critérios	58
5.5 DEFINIÇÃO DE PESOS.....	60
5.5.1 Classificação das bacias de esgotamento.....	60
5.5.2 Tratamento estatístico e definição de pesos	65
5.6 APLICAÇÃO DO PROMETHEE II.....	67
5.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	69
5.8 COMPARAÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA ALTERNATIVA DEFINIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO.....	70
6. CONCLUSÕES.....	73

6.1 RECOMENDAÇÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICES	84
APÊNDICE A.....	84
APÊNDICE B.....	85
APÊNDICE C.....	87
ANEXOS.....	91
ANEXO A.....	91

1. INTRODUÇÃO

A complexidade da dinâmica da sociedade atual, através dos elementos socioeconômicos e culturais, resulta em diversas formas de relações com o meio natural, intensificando os impactos ambientais. A ocupação humana em ambientes predominantemente rurais ou em áreas de expansão urbana com crescimento inadequado e irregular traz consigo questões relacionadas à precariedade da infraestrutura de saneamento básico, refletindo na promoção da saúde e na qualidade de vida da população.

O setor de saneamento tem recebido maior atenção governamental nos últimos anos, tendo aumentado em 2,6 e 7,8% a parcela da população brasileira com acesso ao abastecimento de água e a coleta de esgotos, respectivamente, entre os anos de 2010 e 2018 (TRATA BRASIL, 2020). Entretanto, a área tem apresentado uma evolução muito lenta se comparado com outros setores da infraestrutura.

A realidade da maioria dos municípios brasileiros ainda é caracterizada por déficits na cobertura dos serviços de saneamento básico, principalmente na área de esgotamento sanitário. O estado da Paraíba, que apresenta aproximadamente 3.996.496 habitantes, em 2017, possuía cerca de 64,0% da população sem coleta de esgoto e apenas 47,0% do esgoto total coletado submetido à tratamento (TRATA BRASIL, 2018).

Em municípios de pequeno porte, áreas rurais e em áreas de povos e comunidades tradicionais, a vulnerabilidade aos efeitos da ausência de um sistema de esgotamento sanitário que garanta a coleta e o tratamento eficaz do esgoto são mais significativos. O aumento da incidência de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI), redução no desempenho escolar de crianças e diminuição do desempenho dos trabalhadores são algumas das consequências, gerando prejuízos nos âmbitos econômico e de saúde pública.

A disposição do efluente gerado nas atividades domésticas desses municípios e comunidades é desordenada, geralmente próximo aos locais de captação da água para o consumo. Nesse sentido, torna-se fundamental a busca por soluções alternativas descentralizadas para o serviço de esgotamento sanitário, atendendo as demandas de tratamento através de sistemas individuais, mais comuns em zonas rurais, ou em sistemas semicoletivos, para comunidades isoladas e de pequeno porte.

O processo de tomada de decisão para a escolha da tecnologia de tratamento de esgoto mais adequada vem sendo estudado no Brasil. No entanto, estas pesquisas estão direcionadas a sistemas centralizados e urbanos, tornando-se fundamental a busca por soluções alternativas

descentralizadas em pequenas comunidades e municípios de pequeno porte. Estudos e experiências em âmbito nacional e internacional apontam para as tecnologias de *wetlands* construídos, vermifiltros, fossa verde, filtro anaeróbio e círculo de bananeiras, como sustentáveis e passíveis de aplicação no contexto de pequenos municípios e comunidades rurais.

Brasil (2015) e Tonetti et al. (2018) referem-se a essas tecnologias como acessíveis, facilmente replicáveis, com baixo custo e fácil operação, que propiciam uma manutenção simples e utilizam materiais disponíveis na região ao qual serão implementadas. Dessa forma, o modelo se torna uma tecnologia social, sem a necessidade de assessoria profissional especializada para manutenção do sistema. Von Sperling (2014) afirma que a determinação das tecnologias para tratamento de esgotos tem sido realizada de maneira precária e pouco estruturada, analisando por muitas vezes apenas dados econômicos e de eficiência de tratamento.

Assim, diante das numerosas possibilidades, técnicas e de abordagens aplicáveis à tomada de decisão nesse processo, esta pesquisa objetiva propor um modelo de seleção de sistemas de tratamento de esgoto sanitário descentralizados para municípios de pequeno porte, a partir da análise multicriterial, levando em conta as peculiaridades das bacias de esgotamento sob a base de critérios técnicos, ambientais, econômicos e sociais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de seleção de sistemas de tratamento de esgoto sanitário descentralizados para municípios de pequeno porte.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o serviço de esgotamento sanitário existente no município em estudo;
- Dimensionar as tecnologias de tratamento de esgoto selecionadas para o município;
- Definir o sistema de tratamento de esgoto mais adequado para cada bacia de esgotamento do município estudado;
- Realizar análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo;
- Comparar a melhor tecnologia alternativa de tratamento de esgoto definida com sistemas convencionais de tratamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SANEAMENTO AMBIENTAL E O ESGOTAMENTO SANITÁRIO

2.1.1 Histórico

Os problemas de saúde pública e de poluição do meio ambiente impulsionaram o desenvolvimento de soluções de saneamento para a coleta e o tratamento dos esgotos, abastecimento de água segura para o consumo humano, coleta e tratamento dos resíduos sólidos e drenagem das águas de chuva. No Brasil, o saneamento básico está marcado, ao longo da história, por uma grande desigualdade de investimentos entre as regiões e por um grande déficit ao acesso, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto (LEONETTI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

As primeiras ações de implantação de infraestruturas e de organização da prestação de serviços públicos de saneamento básico em algumas cidades surgiram em meados do século XIX, com foco no abastecimento de água, e em menor escala, no esgotamento sanitário (REZENDE, 2011). Até o ano de 1969, o saneamento básico era gerido pelos municípios, com investimentos predominantemente proveniente de recursos públicos orçamentários e de fundos públicos, ressalvadas algumas inserções da iniciativa privada (NUNES, 2015). De acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1970, cerca de 50% da população urbana brasileira era abastecida de água e apenas 20% dessa população era servida de rede de esgotamento sanitário, com destino final do esgoto não adequado em sua maioria, reincidindo a questão da poluição dos recursos hídricos.

O Plano Nacional de Saneamento (Planasa) foi instalado pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) em 1968 e, definitivamente, em 1971, sendo, de acordo com Albuquerque (2014) a primeira grande iniciativa do estado no setor de saneamento, já que, na era pré Planasa, existiam um grande número de organismos atuando sem coordenação, com escassez de recursos financeiros, humanos e técnicos.

Esse programa federal permitiu a consolidação no país do formato institucional de prestação de serviços, dando origem as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) em todos os estados da federação, tornando as unidades as maiores prestadoras dos serviços públicos de abastecimento de água do Brasil, mas, a fraca atuação nos serviços públicos de esgotamento sanitário ainda era recorrente (REZENDE, 2011; ASSIS, 2018). Na Paraíba, ocorreu a unificação entre a CAGEPA, a SANECAP e a SANES, que eram entidades que

operavam paralelamente até 1972, quando passaram a funcionar como CAGEPA¹, em concordância com o modelo Planasa.

De acordo com o BNH (1984 apud COSTA, 1991), entre os anos de 1968 e 1984 os investimentos do Planasa em saneamento básico totalizaram cerca de 10,1 bilhões de dólares, sendo, mais de 70% deste investimento globais destinados aos serviços de abastecimento de água e o restante, ao esgotamento sanitário. O destino dos investimentos foi responsável pelo aumento considerável da população urbana abastecida de água potável, para cerca de 87%, e pelo avanço irrisório, da população urbana com acesso a rede de esgotamento sanitário, para cerca de 35% (IBGE, 1985), demonstrando que o Plano deu maior ênfase ao abastecimento de água – talvez pela maior visibilidade política (SAIANI; JÚNIOR, 2010).

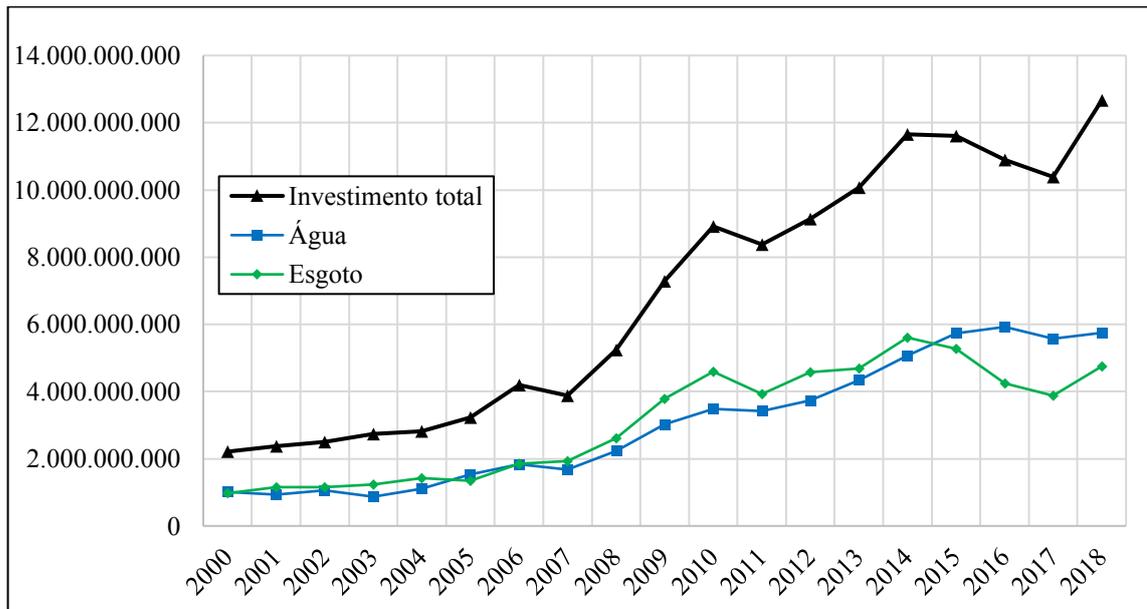
Cumprir mencionar que, não obstante os avanços obtidos, concentrados no abastecimento e na zona urbana, o Planasa não foi capaz de diminuir a diferença existente entre o nível dos serviços de saneamento nas regiões mais ricas e pobres do Brasil, tendo em vista que a expansão do plano se sucedeu de maneira distinta e desigual entre as regiões, tendo maior nível de atuação nas regiões Sul e Sudeste, que concentraram mais de 70% do total dos investimento, pois era onde a evolução demográfica urbana mostrava-se mais agravante (BRITTO et al., 2011 apud ASSIS, 2018).

Após o Planasa, a área de saneamento básico ficou um longo período sem a definição de uma diretriz básica para os serviços, apresentando política “desarticuladas e pontuais”. A partir do gráfico representado pela Figura 1, nota-se que o setor de saneamento básico só voltou a receber uma maior quantidade de recursos a partir de 2007, com o lançamento do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) pelo Governo Federal (ALBUQUERQUE, 2014).

Conforme o gráfico da Figura 1, entre os anos de 2007 e 2010, em que ocorreu o PAC 1, os investimentos anuais subiram cerca de R\$ 5 bilhões, já durante o PAC 2, que contempla investimentos para o período de 2011 a 2014, os investimentos anuais subiram cerca de R\$ 3 bilhões. Percebe-se que durante os quatro anos do programa, entre 2007 e 2014, o investimento em esgoto ultrapassou o investimento em abastecimento de água, demonstrando que o PAC demonstrou um comprometimento do Governo Federal a partir de intervenções intensificadas em outras áreas do saneamento, ao invés de focar apenas no abastecimento de água (ALMEIDA, 2016).

¹ CAGEPA. Linha do Tempo. Disponível em: <<http://www.cagepa.pb.gov.br/institucional/linha-do-tempo/>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

Figura 1: Investimentos totais, em abastecimento e em esgotamento sanitário no Brasil, entre os anos de 2000 e 2018



Fonte: Adaptado do SNIS (2020)².

Após o término do Programa de Aceleração do Crescimento, os investimentos em saneamento reduziram cerca de 2 bilhões (Figura 1) e, novamente, a aplicação de recursos em abastecimento de água ultrapassou a de esgotamento sanitário. Frente a isso, atualmente apenas 53% da população brasileira tem acesso a rede coletora de esgoto e, 46% do esgoto coletado é tratado³.

Dessa maneira, observam-se avanços, porém muito irrisórios para um país que tinha a meta de universalizar o saneamento até o ano de 2033, como previsto no Plano Nacional de Saneamento Básico, porém, de acordo com a Confederação Nacional de Indústria, haverá dificuldade para atingir a universalização até 2033, devendo o plano atrasar por no mínimo 20 anos (AMORA, 2016 apud RESENDE; FERREIRA; FERNANDES, 2016). Ademais, o foco apenas no abastecimento ainda é um problema recorrente em algumas regiões do Brasil, em que se tratam as soluções de saneamento de forma individualizada, sem relação entre as áreas de saneamento, principalmente no que se diz respeito a relação água e esgoto (LEONETTI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

² SNIS. Série histórica de 2000 a 2018. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em: 12 mai. de 2020.

³ TRATA BRASIL. Estatísticas de esgoto no Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 15 de mai. de 2020.

No estado da Paraíba, cerca de 70% dos municípios não possuem acesso a rede de esgoto, enquanto que, dos municípios consultados, todos possuem sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2019). Com base na Tabela 1, no ano de 2018, apenas 3,91% do investimento em água e esgoto no estado foi destinado ao esgotamento sanitário, valor que era cerca de 11% em 2017 e 2016. Os investimentos totais no período de 2014 a 2018 variaram instavelmente com período alternados de quedas e picos, apresentando uma redução de 62% entre 2016 e 2017 e um aumento de investimentos de 171% entre 2017 e 2018.

Tabela 1: Investimentos realizados em água e esgoto na Paraíba, em porcentagem, entre os anos de 2014 e 2018

Ano	Abastecimento de água	Esgotamento sanitário	Outros	Total (em reais)
2014	56,1%	40,2%	3,77%	89.576.604
2015	75,5%	22,1%	2,40%	55.582.437
2016	88,2%	11,4%	0,44%	182.949.788
2017	88,0%	10,5%	1,53%	68.955.330
2018	89,4%	3,9%	6,66%	186.636.799

Fonte: Adaptado de SNIS (2020).

2.1.2 Marcos regulatórios legais do saneamento no Brasil e no estado da Paraíba

Como em todo setor de infraestrutura, a existência de uma regulação, mesmo que tardia, se mostrou essencial no saneamento. Através da atuação da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), criada em 2003 juntamente com o Ministério das Cidades, ocorreu a promulgação da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, conhecida como a Lei do Saneamento e o marco regulatório do setor (NUNES, 2015; ALBUQUERQUE, 2014).

Esta legislação estabelece a Política Federal de Saneamento Básico, que em seu capítulo IX apresenta, dentre outros objetivos, “contribuir para o desenvolvimento nacional, a redução das desigualdades regionais, a geração de emprego e de renda e a inclusão social” (BRASIL, 2007).

Além disso, a Lei do Saneamento também definiu a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) que tornou-se sendo o eixo central da ação do Governo Federal dentro do marco regulatório do setor, tendo o papel articulador e orientador de esforços para atender às demandas das áreas do saneamento, a partir do planejamento do saneamento num horizonte de 20 anos (2014 a 2033) (BRASIL, 2013).

A Lei Federal nº 11.445/2007 traz o estabelecimento da obrigatoriedade da elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) por parte dos titulares dos serviços, com vista a garantir a universalização do acesso e dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2007). Os PMSB's contém o planejamento de ações no longo prazo (vinte anos) e seu conteúdo mínimo apresenta: (i) o diagnóstico da atual situação dos serviços de saneamento do município; (ii) os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo; (iii) os programas e projetos de ações compatíveis com os planos plurianuais; (iv) e os mecanismos de avaliação e controle das ações previstas (NUNES, 2015).

O Decreto nº 7.217/2010 foi promulgado com o objetivo de incentivar a elaboração dos Planos, estabelecendo a elaboração dos mesmos como condição para o acesso aos recursos orçamentários da União ou a recursos de financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade do Governo Federal, quando destinados a serviços de saneamento básico (BRASIL, 2010).

Recentemente, o Novo Marco do Saneamento, Lei nº 14.026/2020, atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a legislação relacionada à implementação de metas e diretrizes por parte dos entes federados. A principal mudança está relacionada ao estímulo aos investimentos privados, com incentivo à livre concorrência e a sustentabilidade econômica dos serviços, a fim de garantir a universalização dos serviços (BRASIL, 2020a).

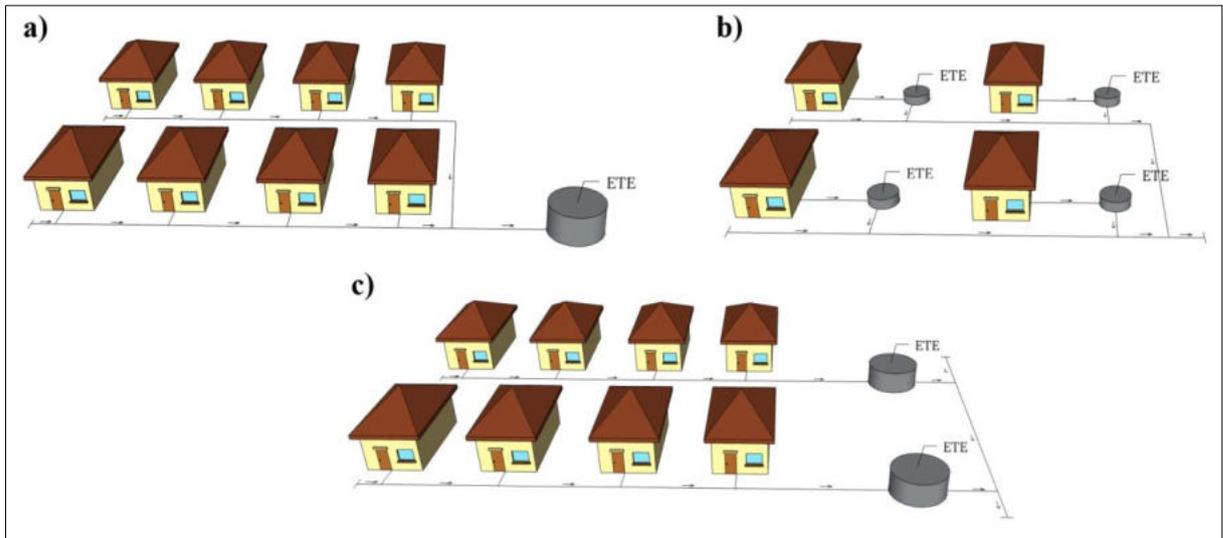
Na Paraíba, a legislação que aborda a política estadual de saneamento básico é a Lei nº 9.260 de 26 de novembro de 2010, que institui princípios e estabelece diretrizes da política estadual de saneamento básico. No artigo 18 desta lei, é estabelecido que o Estado deve cooperar com os municípios com o apoio ao planejamento da universalização dos serviços, na prestação de serviços, por meio da CAGEPA, na execução de obras e ações que viabilizem o acesso ao sistema de esgotamento sanitário e a outros serviços de saneamento básico (PARAÍBA, 2010).

2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Os sistemas de esgotamento sanitário (SES) são o conjunto de atividades, serviços e infraestruturas responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e disposição final de efluentes sanitários, de forma contínua e higienicamente segura (MUTTI, 2015). Tendo em vista que as águas residuárias são compostas dos esgotos sanitários e industriais, apresentando elevadas concentrações de poluentes e de potenciais organismos patogênicos, os SES são essenciais para a garantia da saúde da população e para a preservação ambiental (OLIVEIRA, 2015).

Considerando-se a logística de localização de estações de tratamento de efluentes em relação a fonte de geração do esgoto, os sistemas de esgotamento sanitário podem ser centralizados e descentralizados, sendo este último subdividido em soluções individuais e coletivas. A Figura 2 demonstra a diferenciação entre os sistemas.

Figura 2: Esquema de sistemas de esgotamento sanitário: a) centralizados; b) descentralizados individuais; c) descentralizados coletivos



Fonte: Adaptado de Ferreira e Oliveira (2018).

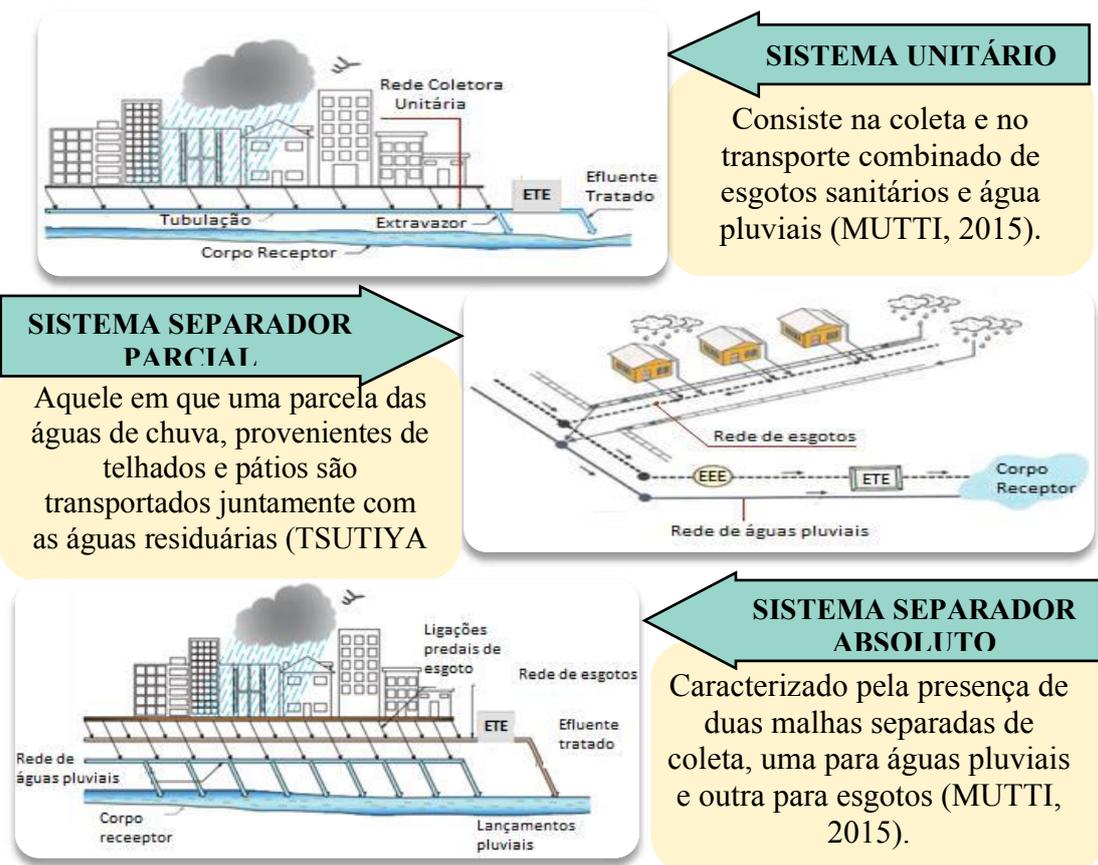
A inexistência de SES centralizado em municípios de pequeno porte e áreas rurais está associada ao alto custo de implantação e, principalmente, operação e manutenção. Devido a reduzida densidade populacional destas áreas, bem como as particularidades de relevo, a tarifação do serviço - quando aplicada -, provavelmente, não seria suficiente para cobrir os custos deste modal de saneamento. Assim, torna-se imperativo a busca por alternativas de esgotamento sanitário descentralizado, que podem atender as demandas no próprio lote do gerador (sistemas individuais) ou unir certa quantidade de geradores, destinando o efluente à um tratamento comum (sistemas coletivos) (BRASIL, 2018; MUTTI, 2015).

A proximidade entre a geração de efluente, tratamento e disposição final, em sistemas descentralizados, encoraja o reuso do esgoto, mas, gera a necessidade de escolha de sistemas de tratamento que prezem pelo controle de odor e de proliferação de vetores. No Brasil, pode-se enquadrar as estações “descentralizadas”, em conformidade com a legislação vigente, como as que são projetadas para atender uma vazão menor ou igual a 50 L/s ou com capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2006).

De acordo com o tipo de efluentes transportados, Tsutiya e Sobrinho (2011), estabelecem três conformações distintas para os sistemas de esgotamento sanitário urbanos: Sistema de esgotamento unitário, ou sistema combinado; sistema separador parcial; e sistema separador absoluto. A Figura 3 ilustra esses sistemas. No Brasil, adota-se o sistema com a separação absoluta da coleta de esgotos e águas pluviais, de acordo com a Instrução Normativa nº 26, de 10 de julho de 2017 (BRASIL, 2017).

A adoção deve-se principalmente a fatores climáticos e econômicos. Em regiões como o Brasil, em que o clima favorece uma variação de vazão entre as estações chuvosas e de estiagem, o sistema unitário e/ou o sistema absoluto parcial apresentariam a rede subutilizada na maior parte do ano. Ademais, as ETEs desse tipo de sistema têm as dimensões necessárias para tratar apenas as vazões dos efluentes sanitários, reduzindo os custos de construção e possibilitando a construção das obras por partes, o que viabiliza a adoção até para pequenos municípios e comunidades, considerando que muitos dispõem de recursos financeiros limitados (HAMPE, 2015; MUTTI, 2015; RADESCA, 2018).

Figura 3: Sistemas de transporte de esgotos



2.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento do esgoto objetiva remover ou reduzir a concentração de poluentes, quantificados por parâmetros físicos, químicos e biológicos (Quadro 1). A redução dos poluentes do esgoto garante a preservação do corpo hídrico ou solo ao qual vai ser lançado, eliminando os riscos para a saúde da população e minimizando os danos ambientais; ou de maneira a possibilitar a sua reutilização em determinadas atividades. (NUVOLARI, 2011; MIKOWSKI & TAKEUCHI, 2013).

Quadro 1: Principais parâmetros de caracterização e monitoramento dos esgotos sanitários

Parâmetro	Descrição
pH	Medida da acidez ou basicidade de uma solução aquosa.
Turbidez	É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de esgoto. É utilizado para indicar a qualidade do esgoto tratado.
DBO ₅	É a forma mais utilizada para determinar a quantidade de matéria orgânica no esgoto. Consiste na quantidade de oxigênio necessário para degradar a matéria orgânica do esgoto. A DBO-padrão é estabelecida procedendo-se a análise no quinto dia e mantendo-se durante o teste a temperatura da amostra em 20°C.
DQO	Indica o oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica carbonácea, biodegradável e não biodegradável, a partir da oxidação química com dicromato de potássio.
SST	Referem-se a pequenas partículas sólidas que se mantêm em suspensão no esgoto. Sua determinação serve para indicar o potencial de reuso de um esgoto e o tratamento correspondente.
Nitrogênio	Presente no esgoto fresco combinado sob a forma de proteína e ureia, a determinação da quantidade de nitrogênio é importante para a manutenção da atividade biológica nos processos de tratamento e no controle da poluição das águas.
Fósforo	É um nutriente essencial para o crescimento dos micro-organismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Seu excesso poderá conduzir a crescimento exagerado de algas e ocasionar o fenômeno de eutrofização de corpos hídricos.
Coliformes	As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente, e, por estarem presentes nas fezes humanas. Sua determinação serve para identificar a presença de bactérias patogênicas e a eficiência do processo de desinfecção.

Fonte: BRASIL (2015); Metcalf & Eddy (2016).

2.3.1 Classificação dos métodos de tratamento

As instalações de tratamento são compostas por unidades nas quais se processam as operações unitárias, ou processos unitários, que são os responsáveis pela remoção de substâncias indesejáveis, ou a transformação destas em outras mais simples. Embora esses processos ocorram em combinações diversas nos sistemas de tratamento, selecionados em função do poluente a ser removido e do grau de eficiência desejado, costuma-se classificá-la separadamente, em função dos fenômenos atuantes, predominantes, em (BRASIL, 2015; METCALF & EDDY, 2016):

- a) **Processos físicos unitários:** predominam as forças físicas relacionadas aos processos de gradeamento, homogeneização e mistura, sedimentação, flotação e filtração.
- b) **Processos químicos unitários:** a remoção de constituintes é efetuada por meio de compostos químicos ou reações químicas conhecidas, por meio de processos de coagulação química e floculação, precipitação química, adsorção e desinfecção.
- c) **Processos biológicos unitários:** utiliza-se a atividade biológica para a remoção dos poluentes, a partir de processos de oxidação ou estabilização biológica da matéria orgânica, remoção biológica de nutrientes e digestão de lodo.

2.3.2 Etapas de tratamento de esgoto

Um sistema convencional de tratamento de esgoto, normalmente centralizado e de grande porte, consiste no direcionamento de todo o esgoto doméstico coletado para uma ETE, que pode abranger os seguintes níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário ou avançado. De modo geral, o termo primário refere-se à aplicação de processos físicos unitários, o secundário a processos químicos e biológicos e, o terciário, à combinação dos três (TONETTI et al., 2018; METCALF & EDDY, 2016)

O tratamento preliminar refere-se basicamente à remoção de sólidos grosseiros, como pedaços de madeira, trapos, flotáveis, areia e graxas, que possam ocasionar problemas operacionais ou de manutenção aos processos de tratamento e sistemas auxiliares. A remoção ocorre por meio de grades e desarenadores. Depois de separados do esgoto, esses sólidos devem ser dispostos de maneira adequada, devendo ser direcionados preferencialmente a um aterro sanitário (METCALF & EDDY, 2016; TONETTI et al., 2018).

O tratamento primário visa remover os sólidos em suspensão sedimentáveis (SSS), incluindo a parte da matéria orgânica em suspensão grossa, sendo predominante o mecanismo

físico de sedimentação e a fase de digestão e estabilização da matéria orgânica sedimentada pela via anaeróbia, a partir de decantadores primários, precipitador químico e decanto/digestor conjugado (tanques sépticos). Normalmente se obtém nesta etapa os percentuais de remoção de 40 a 70% nos sólidos em suspensão, de 25 a 40% na DBO e nos coliformes (BRASIL, 2015).

O tratamento secundário é responsável pela remoção de matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos e, eventualmente, de microrganismos e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Este processo é realizado por uma unidade de tratamento biológico, na qual bactérias e outros microrganismos se alimentam de matéria orgânica, removendo-a assim do esgoto. Dependendo da tecnologia empregada no tratamento secundário, poderá ou não existir a etapa de tratamento primário, podendo-se conseguir neste nível de tratamento os percentuais de remoção de 60 a 99% na DBO e nos coliformes e de 10 a 50% nos nutrientes (TONETTI et al., 2018; BRASIL; 2015).

Nas etapas de tratamento primário e secundário forma-se o lodo que, após separados, devem ser direcionados para outras unidades de tratamento responsáveis pelo seu adensamento, digestão biológica, secagem e disposição final adequada. Em diversos países o aproveitamento do lodo já é uma técnica comum, sendo o reuso agrícola o método mais empregado, e no Brasil as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas, sendo a destinação o aterro sanitário (TONETTI et al., 2018; GODOY, 2013).

Por fim, o tratamento terciário envolve a remoção de componentes específicos, como os nutrientes e a desinfecção do esgoto tratado, a partir de processos como cloração, ozonização, filtração rápida, adsorção por carvão, calagem e osmose reversa. Essa etapa do tratamento é pouco comum nas ETEs brasileiras, tendo em vista seu alto custo além de ser dispensável com base no destino e composição final requerida para o efluente (METCALF & EDDY, 2016; TONETTI et al., 2018; SAMUEL, 2011).

No caso de pequenas comunidades rurais ou isoladas, os sistemas de tratamento descentralizado de esgoto doméstico podem ser simplificados, apresentando algumas peculiaridades.

O tratamento preliminar nestes casos só é adotado em sistemas semicoletivos que atendem um número maior de domicílios interligados por uma pequena rede local de coleta de esgoto, com a instalação de grades e uma caixa de areia para o pré-tratamento do esgoto, anteriormente ao início da unidade de tratamento escolhida. Nos sistemas unifamiliares, a curta distância entre a residência e o sistema de tratamento inviabiliza a utilização do tratamento

primário, tendo em vista o aumento da frequência de manutenção, geração de odores desagradáveis e o aparecimento de animais vetores de doenças (TONETTI et al, 2018).

Nos sistemas descentralizados convencionais, normalmente é atingido o nível de tratamento secundário, com remoção de SST e da matéria orgânica carbonácea. Quanto à remoção de nutrientes do esgoto, a maioria das alternativas comumente utilizadas nesta aplicação pouco colaboram para alcançar esse objetivo, tendo em vista que o tratamento terciário exige uma maior complexidade operacional, instalação de outras unidades de tratamento e maior consumo de energia, tornando-se, no momento, tecnicamente e financeiramente inviável para localidades isoladas (DECEZARO, 2018).

2.3.3 Estudos de concepção de sistemas de tratamento de efluentes

Atualmente, são muitos os processos conhecidos e com domínio pleno na tecnologia do tratamento de esgoto. A seleção do melhor tratamento em cada situação deve considerar as condições locais, os objetivos, a eficiência desejada, e a relação custo/benefício incluindo-se as despesas operacionais. Para que a eleição conduza realmente à alternativa mais adequada para a situação em análise, critérios ou pesos devem ser atribuídos a diversos aspectos, vinculados a realidade (BRASIL, 2015; VON SPERLING, 2014).

Os mais variados critérios são utilizados para a seleção de tecnologia de tratamento de esgoto, sendo alguns deles convergentes entre os autores e outros mais específicos. Em suma, o Quadro 2 apresenta os principais critérios, a partir das análises de diversos autores.

Quadro 2: Fatores de importância a serem considerados ao se selecionar e avaliar tecnologias de tratamento de esgotos

Critério	Descrição
Aplicabilidade do processo	Avaliada com base em estudos, experiência e dados de estações com o mesmo tratamento em funcionamento ou em fase de testes.
Características do local	Condições climáticas, topografia, geologia, área disponível.
Características do efluente	Afetam os tipos de processo a serem usados (químicos ou biológicos) e os requisitos para a sua adequada operação.
Restrições ambientais	As possibilidades de problemas ambientais e restrições quanto aos possíveis ruídos do processo.
Requisitos de energia	Deve-se verificar se o processo necessita de energia elétrica e, se necessitar, a quantidade e o custo.
Requisitos de pessoal	Quantidade de pessoas e o nível de capacitação necessários para o funcionamento adequado do sistema.
Fatores técnicos	Vazão aplicável, tempo de detenção hidráulica, produtos químicos necessários, possibilidades de ruídos.

Quadro 2: Fatores de importância a serem considerados ao se selecionar e avaliar tecnologias de tratamento de esgotos (continuação)

Critério	Descrição
Eficiência do sistema	Eficiência de remoção de DBO, nitrogênio, fósforo, coliformes, além da redução da turbidez, à vista de garantir a qualidade da água do corpo receptor ou a aplicabilidade de reutilização do efluente.
Subprodutos do tratamento	Devem ser verificados os tipos e qualidade dos subprodutos sólidos, líquidos e gasosos.
Fatores econômicos	Custos de construção, operação e manutenção.
Vida útil	O período, após a ETE entrar em funcionamento, que o tratamento mantém suas propriedades relevantes acima dos níveis mínimos aceitáveis.
Flexibilidade de expansão	Possibilidade de expansão do sistema, de maneira gradual, à medida que as demandas se elevam.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014), Metcalf & Eddy (2001 apud REAMI, 2011), Alves (2003) e Oliveira (2004).

Particularmente para as pequenas localidades, são desejáveis as opções tecnológicas mais simples, preferencialmente naturais, para o tratamento de esgotos predominantemente domésticos, que atendam os seguintes requisitos (BRASIL, 2015):

- Baixo custo de implantação e de operação, com nenhuma ou mínima dependência de fornecimento de energia, equipamentos e peças;
- Adequada eficiência na remoção de poluentes com simplicidade operacional e de controle;
- Tecnologia aplicável em pequena escala (sistemas descentralizados), mas com flexibilidade para expansões futuras e aumento de eficiência no processo;
- Reduzido problema com o manejo e disposição do lodo produzido e possibilidade de recuperação de subprodutos utilizáveis;
- Elevada vida útil e experiência prática na utilização da tecnologia.

2.4 ESTUDOS DE TÉCNICAS PARA TRATAMENTO ALTERNATIVO DE ESGOTO EM PEQUENAS CIDADES E COMUNIDADES RURAIS DISPERSAS

As tecnologias convencionais de tratamento de esgoto utilizadas pelas companhias de saneamento são inviáveis em ETE's de comunidades rurais e pequenos municípios, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção como pela dispersão populacional existente, principalmente na zona rural (FIGUEIREDO, 2019; SARTORI, 2010).

Assim, há a necessidade de desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e fácil operação para o tratamento do esgoto doméstico. De acordo com a literatura, além dos tanques

sépticos, que correspondem a um tratamento comumente utilizado em áreas isoladas e rurais, destacam-se quatro soluções com estudos e implantação em âmbito nacional e internacional: *wetlands* construídos, vermifiltros, fossa verde, filtro anaeróbio e círculo de bananeiras.

2.4.1 *Wetlands* construídos

O sistema de *wetlands* construídos é uma opção de tratamento bastante viável para pequenas comunidades. Constitui um sistema alagado construído especificamente para o tratamento de águas residuais, simulando e acelerando os processos naturais, através da relação água, substrato, plantas, animais invertebrados e microrganismos (ZANELLA, 2008; ZINATO & GUIMARÃES, 2017).

Piagge et al. (2019), a partir de estudo de custos de implantação do sistema, destaca a viabilidade de utilização para o tratamento de esgoto sanitário de pequenos municípios ou locais de baixa população, apresentando como principais vantagens o baixo custo de implantação e operação e a facilidade de aquisição.

Carneiro (2018) em seu estudo de avaliação do sistema de *wetlands* de fluxo vertical para sistemas individuais de tratamento de esgoto, na ETE de Mangabeira na cidade de João Pessoa, aponta uma remoção média de 87,8% da DQO e 74,3% da DBO, em 1 ano de monitoramento. Mendonça (2015), obteve também resultados satisfatórios a partir do sistema híbrido de *wetlands* de fluxo vertical e horizontal, com o tratamento primário realizado em tanque séptico, instalado na ETE experimental no estado de São Paulo, apontando para eficiências de remoção média de 96% da DBO, 90% da DQO, 40% para o NT, 60% para o PT e 74% para SST.

No âmbito internacional, a tecnologia das *wetlands* construídos já é bastante disseminada e indicada em pequenas comunidades e zonas rurais, tendo em vista seu potencial ambiental e seu baixo custo. O estudo de Vera et al. (2011) em 11 ETE's de pequenas comunidades da Espanha com sistemas de *wetlands* em funcionamento por oito anos verifica a eficiência do tratamento por *wetlands* a partir da remoção superior a 78% de DBO₅ e SST da água residual.

No Egito, a instalação de uma unidade de fluxo vertical construída nas proximidades de uma ETE, indicou, após dois anos de análises, uma eficiência média de remoção de DQO, DBO e SST no efluente final foi de 88%, 90%, 92%, respectivamente (ABOU-ELELA, HELLAL, 2012). Na China, o tratamento por *wetlands* com preenchimento de embalagens de ferro-

carbono é uma alternativa para remoção de poluentes de águas residuais rurais, apresentando uma remoção de 95,8% de DQO e de mais de 67% de DBO₅ (XIA et al., 2016).

2.4.2 Vermifiltro

O vermifiltro é um tipo de filtro biológico aeróbio de fluxo descendente e intermitente, composto, geralmente, por três camadas: uma camada superior de substrato orgânico onde se desenvolvem os microrganismos e minhocas de espécies detritívoras; a segunda camada, formada de cascalho e a terceira, por brita, servem de apoio e aeração ao sistema, permitindo a drenagem do líquido clarificado até a tubulação de saída localizada no fundo do reator (SARTORI, 2010; MADRID et al., 2019).

Os estudos de Liu et al. (2013) e Nie et al. (2014) destacam o desempenho da tecnologia em escala plena no tratamento de efluentes domésticos de vilas rurais na China, a partir da eficiência de remoção de DQO, DBO, nitrogênio amoniacal e SST de, respectivamente, 67,6%, 78,0%, 92,1% e 89,8%, baixa produção de lodo e versatilidade do sistema, que pode funcionar efetivamente sob uma variedade de condições naturais e socioeconômicas, a um custo razoável.

Na Índia, a técnica também é amplamente estudada, com destaques para os estudos de Kumar et al. (2014) e Arora et al. (2014), que obtiveram redução de DBO de mais de 90%. No Brasil, Sartori (2010), a partir do sistema Desarenador + tanque séptico + vermifiltros com minhocas e diferentes tipos de materiais orgânicos filtrantes, obteve remoções de 91% nos valores de turbidez, 80% da DBO, 80% da DQO, 86% dos SST e 60% do NT.

2.4.3 Fossa verde

A fossa verde, também denominada de bacia de evapotranspiração, ecofossa e fossa bioséptica, consiste em um sistema de biorremediação, a partir da ação de materiais filtrantes e a utilização de plantas, que promovem a digestão anaeróbica, consumindo a matéria orgânica presente no efluente. Alguns estudos como Netto et al. (2015), Jéssica et al. (2015) e Coelho, Reinhardt, Araújo (2018) apontam para a utilização de fossa verde como alternativa de tratamento de águas negras em sistemas individuais na zona rural de municípios do Nordeste e semiárido brasileiro.

Lofti (2016) concluiu que esse tratamento apresenta valores médios de eficiência de 73% para a remoção da DBO, 98% para remoção de coliformes totais, 96% para redução de *E. coli.*, 37% de remoção de P e 73% de remoção de NTK. Ademais, Silva & Netto (2014) e Netto

et al. (2015), ainda destacam o baixo custo, a baixa demanda de manutenção e a possibilidade de plantação de espécies frutíferas no sistema, sem contaminação dos frutos.

2.4.4 Filtro anaeróbio

O filtro anaeróbio é um reator biológico de fluxo ascendente, composto de uma câmara inferior varia e uma superior preenchida por um material suporte filtrante submerso no qual a biomassa adere-se ou fica retida nos interstícios, formando um biofilme responsável pela degradação do esgoto (ABNT, 1997a). De acordo com Figueiredo (2019), como o material de recheio tradicional, pedra britada e anéis de plástico, apresentam custo elevado ao sistema, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas sobre materiais alternativos, como os anéis de bambu e a casca de coco verde (*Cocos nucifera*), apresentando sucesso.

Tonetti et al. (2011) apontam para uma remoção de matéria orgânica que alcançou a média de $76 \pm 12\%$ em relação à DQO e $71 \pm 15\%$ em termos de DBO, em um sistema com enchimento de anéis de bambu. Gomes (2015) obteve uma remoção de 50% e 71% da DBO e da DQO, respectivamente, de 87% de SST e 80% da turbidez afluente utilizando um filtro anaeróbio com preenchido com cascas de coco verde enquanto que Figueredo (2019), que utilizou o sistema filtro anaeróbio com casca de coco verde + tanque séptico obteve eficiência média de remoção de DQO de 72,6%.

2.4.5 Círculo de bananeiras

Consiste em uma área de disposição de água cinza ou efluentes tratados para fertirrigação localizada de árvores. Uma escavação no solo em forma de bacia é preenchida com matéria orgânica de difícil decomposição (madeira, brita e palha), ao redor da qual se cultivam plantas com alta demanda por água, principalmente espécies como bananeira (*Musa sp*), taioba (*Xanthosoma sagittifolium*), mamoeiro (*Carica papaya*), entre outras plantas que apresentem folha largas, a fim de promover a evaporação de grandes quantidades de água, consumindo os nutrientes em seu processo de crescimento, permitindo, assim, que a bacia nunca encha (BRASIL, 2015; JUNIOR 2012).

A Funasa explicita que o círculo de bananeiras é indicado para sistemas individuais de tratamento de esgoto em áreas rurais e isoladas, destacando o baixo custo e a simplicidade de implantação, operação e manutenção (BRASIL, 2015; BRASIL, 2018b). Os estudos de Figueiredo, Santos e Tonetti (2018), Martinetti, Teixeira e Shimbo (2009) e Paes (2014), contemplam casos bem sucedidos de implantação da tecnologia. Com base nas pesquisas de

Ercole (2003), Martinetti (2009) e Benetti (2015), a tecnologia apresenta remoção de DBO_5 entre 50 e 70%, de nitrogênio entre 10 e 80% e de fósforo, entre 20 e 50%.

2.5 MÉTODO PROMETHEE COMO FERRAMENTA PARA ESCOLHA DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A tomada de decisão sobre o sistema de tratamento de esgoto a ser adotado em uma determinada região, pode ser uma tarefa complexa, que depende de diferentes critérios – econômicos, técnicos, ambientais e sociais. Dessa forma, Hunt (2013) afirma que os métodos multicritérios podem auxiliar na tomada de decisão quanto à melhor alternativa para a realidade local, por meio da classificação das tecnologias quanto às diversas variáveis envolvidas.

Nesse sentido, o método PROMETHEE, destaca-se pela facilidade dos decisores entenderem os conceitos e parâmetros inerentes ao método, o que simplifica o processo de modelagem de preferências e, conseqüentemente, aumenta a efetividade da aplicação do método multicritério. Sua utilização é preferível quando os pesos de critérios são definidos e a ordenação de desempenho das alternativas é requerida (SILVA, SCHRAMM, CARVALHO, 2014; GOFFI, 2017).

Diversos estudos que envolvem processos de tomada de decisão no campo do saneamento ambiental já utilizam a família de métodos PROMETHEE. Dentre esses, destacam-se os estudos de Alves (2003), Dantas, Aisse e Garcia (2003), Campos (2011) e Goffi (2017), em sua maioria voltados para o âmbito do tratamento de efluentes.

Em seu estudo sobre a aplicação do PROMETHEE II como modelo de apoio à decisão em projetos de saneamento, Campos (2011) aponta que o método propicia uma análise bem detalhada e compreensível sobre as potencialidades das alternativas, estruturando o processo de decisão no saneamento. Goffi (2017), que utilizou o método para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes para pequenas comunidades e centros urbanos concluiu que o mesmo demonstrou elevado potencial para a redução da subjetividade na determinação dos processos de tratamento de esgotos garantindo que todos os aspectos essenciais sejam considerados em função dos cenários avaliados.

3. ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

3.1 CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO MUNICÍPIO

De acordo com Frigo e Salvador (2016), os pequenos municípios apresentam limitações financeiras e de mão de obra especializada, sendo as alternativas sustentáveis de tratamento de efluentes mais viáveis, por conta do baixo custo, facilidade e praticidade de construção, operação e manutenção.

Sendo assim, a escolha do município para o estudo foi realizada em consonância com a Funasa (BRASIL, 2020b), que estabelece que os municípios de pequeno porte apresentam população total de até 50.000 habitantes. Ademais, optou-se por áreas em que não existiam sistemas convencionais de tratamento de efluentes, com ou sem rede de coleta de esgoto, pois a aplicação de sistemas de tratamento alternativos poderia tornar o sistema atual obsoleto.

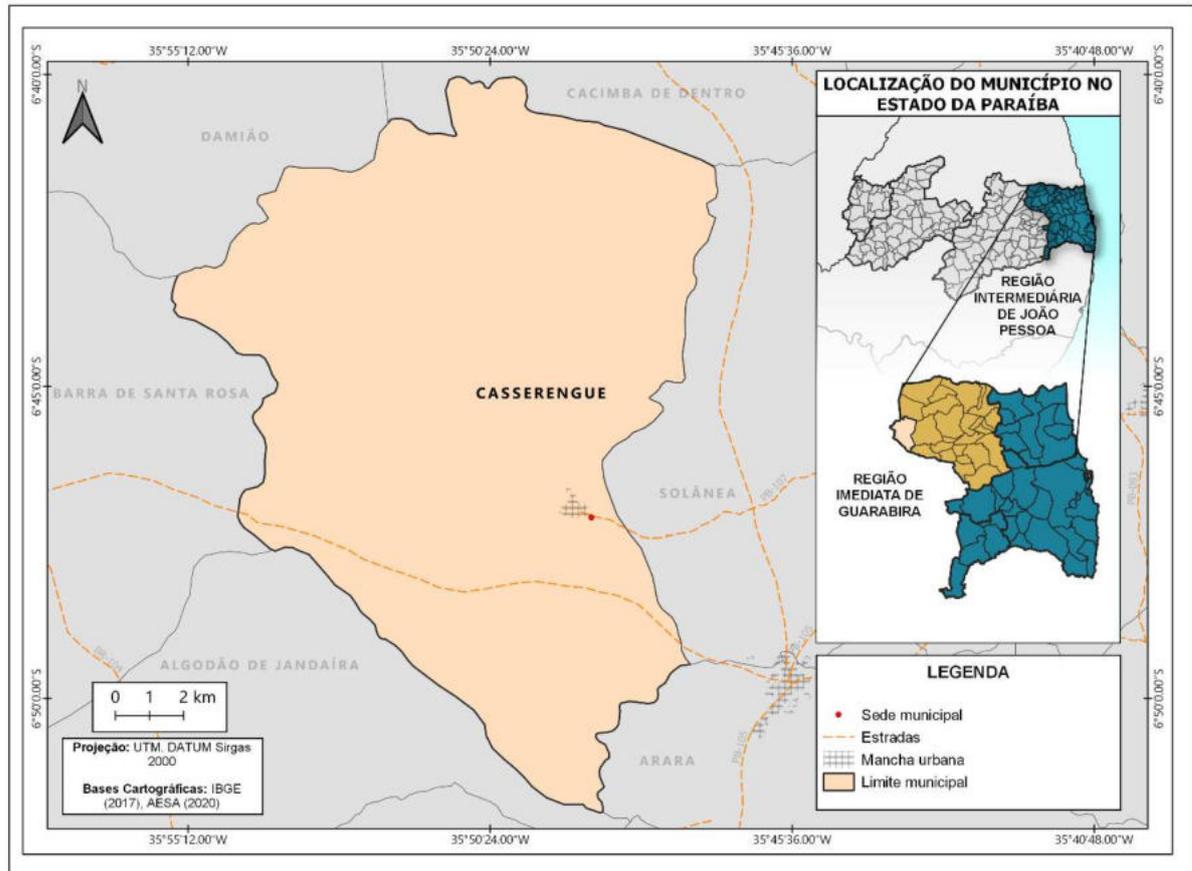
Dentre as diversas opções no estado da Paraíba que atendiam aos critérios estabelecidos, escolheu-se o município de Casserengue, levando em consideração sua participação no TED 003/2019, parceria entre FUNASA e UFCG, que tem por objetivo a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico de 50 municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, a fim de subsidiar o desenvolvimento do PMSB e reduzir a deficiência do setor de saneamento do município.

3.2 TERRITÓRIO, LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Casserengue pertence à Região Intermediária de João Pessoa e à Região Imediata de Guarabira (Figura 4). O acesso é feito, a partir do município de João Pessoa, pelas rodovias BR 230, BR 104, PB 105 e PB 107.

Com uma área total territorial de 202,8 km², conforme o IBGE (2019b), Casserengue tem zona urbana formada pela sede municipal - com bairros e os conjuntos habitacionais - Frei Damião, Ventania e José Miguel - e zona rural marcada pela presença de povoados, sítios, comunidades e assentamentos.

Figura 4: Mapa de localização do município de Casserengue



Fonte: IBGE (2017), AESA (2020).

3.3 DEMOGRAFIA E ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

Em 2010, de acordo com o último censo do IBGE (2011), a população de Casserengue era de 7.058 habitantes, com densidade demográfica de 35,05 hab/km². Desse total, 3.600 (51,0%) residentes na zona rural e 3.458 (49,0%) na zona urbana. Em 2020, estima-se que o município possui uma população de 7.499 habitantes (IBGE, 2020b). A Tabela 2 apresenta a evolução populacional do município, segundo dados dos censos demográficos do IBGE realizados entre os anos de 2000 e 2010.

Tabela 2: Variação da população total, urbana e rural (2000 e 2010)

Ano	População			Taxa de crescimento			Taxa de urbanização
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total	
2000	2.566	4.002	6.568	-	-	-	39,07%
2010	3.458	3.600	7.058	34,76%	-10,04%	7,46%	48,99%

Fonte: IBGE (2000, 2011).

Observa-se a tendência de crescimento populacional, ao avaliar a população total entre 2000 e 2020, e a predominância da ruralidade no município. Entretanto, é perceptível o fenômeno do êxodo rural, que promove o aumento da taxa de urbanização e redução da população rural, que intensifica a preocupação a respeito da infraestrutura da cidade.

Com base no IBGE (2011), o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de Casserengue em 2010 era de 0,514, sendo considerado baixo e ocupando o penúltimo lugar no estado. Segundo o Atlas da Extrema Pobreza (IPC-IG, 2015), pesquisa com foco no Norte e Nordeste do Brasil, o município, entre os 223 analisados da Paraíba, ocupa a primeira colocação com maior taxa de extrema pobreza, sendo 44% da população vivendo nessas condições.

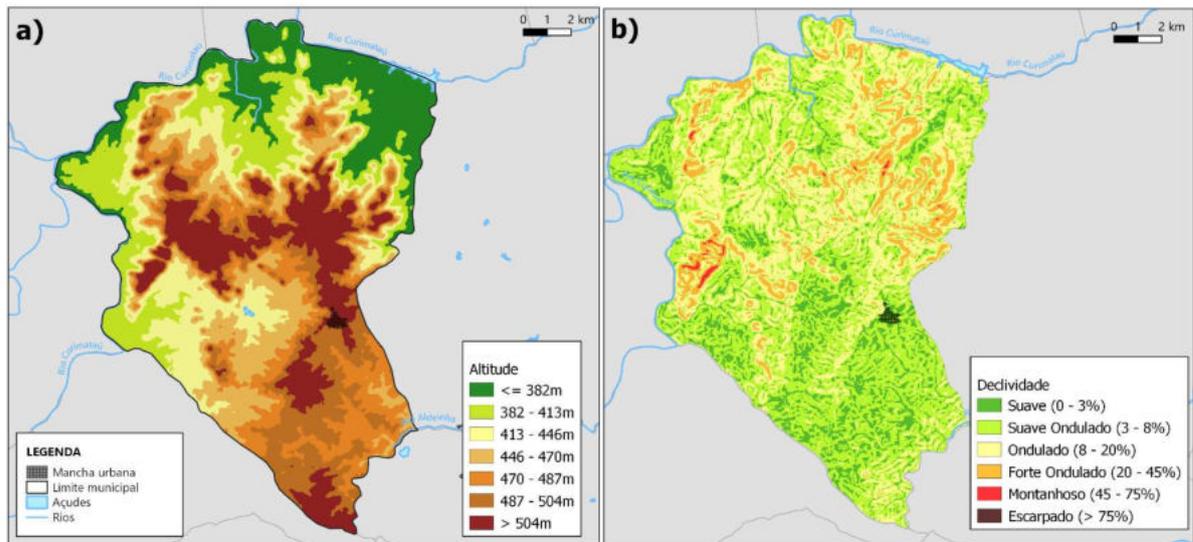
3.4 TOPOGRAFIA, PEDOLOGIA E VEGETAÇÃO

Inserido na unidade geoambiental dos Serrotes, Inselbuergues e Maciços Residuais, Casserengue compreende um relevo movimentado, com elevações formadas por grandes penhascos rochosos e vales profundos (CPRM, 2005). Quanto à declividade, de acordo com a classificação da Embrapa (1979), o relevo constitui-se predominantemente ondulado. O mapa hipsométrico e o mapa de declividades da Figura 5, apresentam o comportamento do relevo do município.

Conforme a Embrapa (2006), os Neossolos, são dominantes e ocupam 94% do território municipal, sendo subdivididos em: Neossolo Litólico Eutrófico, distribuído na porção central, com profundidade rasa, e o Neossolo Regolítico Eutrófico, ocupando a faixa sul, contemplando toda a zona urbana, sendo rasos e arenosos. Já os Latossolos Amarelos Distróficos, que estão mais presentes na porção norte, são profundos, argilosos e com boa drenagem.

O município encontra-se inserido no bioma da Caatinga (IBGE, 2019a), caracterizado por apresentar uma vegetação com características de adaptação ao longo período de seca, composta por árvores baixas, trocos tortuosos, apresentando folhas que caem no período da seca e espinhos. A cobertura vegetal do município é a Savana-Estépica Arborizada, com características da Caatinga Hipoxerófila e pequenas áreas de Florestas Caducifólia (CPRM, 2005).

Figura 5: Comportamento do relevo do município: a) mapa hipsométrico; b) mapa de declividades



Fonte: Adaptado de TOPODATA (2008); IBGE (2019b); AESA (2020b).

3.5 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Com base nos critérios estabelecidos pela Portaria Interministerial nº 01/2005, que atualiza a delimitação do semiárido nordestino, o município encontra-se inserido no Polígono das Secas (BRASIL, 2005). Com clima semiárido quente (CPRM, 2005), as temperaturas máximas na região de Casserengue variam de 25 a 30°C, enquanto as mínimas oscilam entre 19 a 22°C, conforme dados do Clima Tempo (2020) de 30 anos de observação.

De acordo com os dados históricos da ANA (2020) tratados conforme a metodologia de Monteiro (1976), estimou-se que a precipitação média anual em anos chuvosos, normais e secos, é igual a 658,4 mm/ano, 356,9 mm/ano e 220,5 mm/ano, respectivamente. Em geral, o município apresenta um regime de chuvas irregular e com precipitações pluviométricas concentradas entre os meses de fevereiro e julho, caracterizando o período chuvoso. Entre os meses de agosto a dezembro, tem-se o período mais seco do ano (AESA, 2020a).

3.6 ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Casserengue está inserido na bacia hidrográfica do rio Curimataú, de domínio federal, que tem como rio principal o Curimataú, principal corpo hídrico do município. Nesta região, todos os cursos d'água que cortam a área urbana e rural têm regime de escoamento intermitente, ou seja, reduzem o volume ou secam completamente nos períodos de estiagem, e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005).

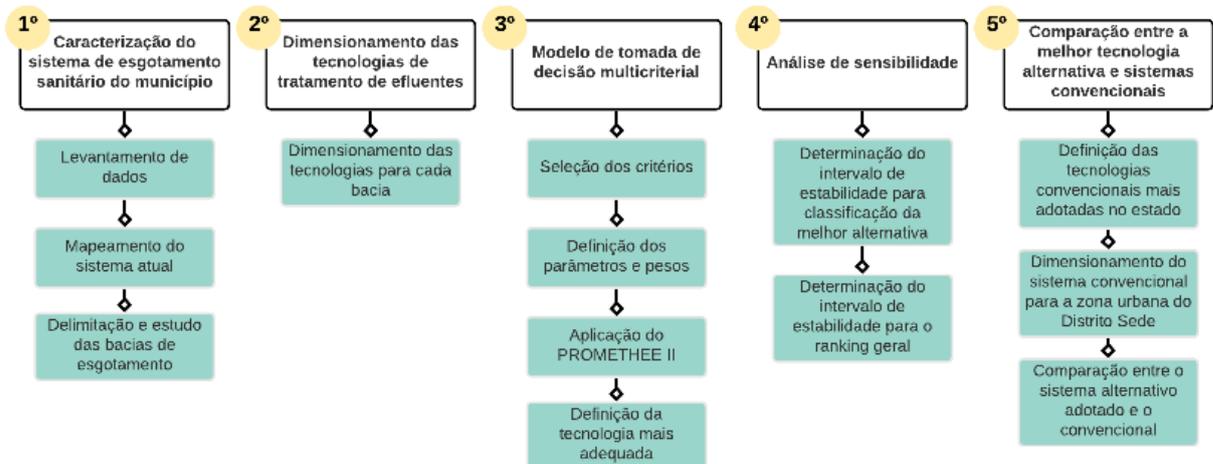
Como principal corpo de acumulação de água no município, tem-se o açude Cacimba de Várzea. Segundo a ANA (2016), um levantamento de campo indicou que, por problemas de qualidade nas águas do reservatório, o mesmo não pode ser destinado para utilização no abastecimento urbano, abastecimento rural, dessedentação de animais, irrigação ou indústria.

Tendo em vista que a região apresenta baixo potencial para captação de água subterrânea - com qualidade da água bastante comprometida, devido à alta salinidade - o abastecimento é realizado a partir das águas provindas do açude Canafistula II, localizado no município de Borborema/PB, por meio de um sistema integrado que abastece também o município de Arara (CRPM, 2005, ANA, 2019).

4. METODOLOGIA

A metodologia baseou-se em cinco etapas apresentadas no fluxograma da Figura 6 e detalhadas posteriormente.

Figura 6: Fluxograma metodológico do estudo



Fonte: A autora (2021).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO

4.1.1 Levantamento de dados

Os dados foram levantados a partir de reuniões realizadas com a prefeitura municipal de Casserengue e com base nas pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possibilitando a obtenção de informações e indicadores do sistema de esgotamento sanitário do município. O Quadro 3 apresenta as informações e indicadores que deverão ser levantados.

Quadro 3: Informações e indicadores para a caracterização do esgotamento sanitário do município

Item	Informação/indicador necessário	Fonte
1	Prestador do serviço	Prefeitura
2	Sistemas de esgotamento existentes e respectivas áreas de atendimento	Prefeitura
3	Infraestrutura do sistema convencional existente (redes de coleta de esgoto, estações elevatórias, interceptores, ETE, emissários, etc.)	Prefeitura
4	Características ambientais e de entorno das instalações dos serviços como ETE e corpos receptores do efluente tratado	Prefeitura

Quadro 3: Informações e indicadores para a caracterização do esgotamento sanitário do município (continuação)

Item	Informação/indicador necessário	Fonte
5	Quantidade de domicílios atendidos por rede de esgoto ou pluvial	IBGE, 2011
6	Quantidade de domicílios que usam fossa séptica	IBGE, 2011
7	Quantidade de domicílios que usam fossa rudimentar	IBGE, 2011
8	Quantidade de domicílios que lançam esgoto <i>in natura</i> em vala	IBGE, 2011
9	Quantidade de domicílios que lançam esgoto <i>in natura</i> em rio, lago ou mar	IBGE, 2011
10	Quantidade de domicílios que não possuem banheiro	IBGE, 2011
11	Internações por diarreia (por mil habitantes)	IBGE, 2016

Fonte: A autora (2021).

4.1.2 Mapeamento do sistema atual

A elaboração de mapas foi realizada com o auxílio do software QGis versão 3.14.16, contemplando apenas a zona urbana do Distrito Sede do município. Inicialmente, para o desenvolvimento do mapeamento do sistema atual, foram utilizadas as informações apresentadas nos itens 2 e 3 do Quadro 3 e as bases cartográficas fornecidas pela AESA (2020b), TOPODATA (2008) e IBGE (2011). Com base na delimitação dos setores censitários do IBGE, foi possível a inserção dos componentes da infraestrutura do sistema, bem como a delimitação das áreas de atendimento de cada alternativa de esgotamento sanitário presentes no município.

4.1.3 Delimitação e estudo das bacias de esgotamento sanitário

De acordo com Pires (2018), o estudo do esgotamento sanitário limitado por bacias garante que as soluções sejam concebidas com maior aproveitamento possível do escoamento por gravidade e uma maior abrangência de atendimento. Pires (2018) ainda destaca o aumento da facilidade de adoção de medidas para correção imediata de problemas relacionados ao esgotamento, quando os gestores realizam as tomadas de decisão com base no comportamento das bacias.

Para a delimitação das bacias de esgotamento, inicialmente, demarcou-se as sub-bacias de drenagem. Assim, obteve-se no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA, 2008), o modelo digital de elevação do terreno do município (MDE), que apresenta dados de altitude da área. A partir da função *r.watershed* do QGis, foi gerada a shape

das sub-bacias, agrupadas manualmente para formar bacias maiores, sendo uma para cada exutório do território urbano municipal.

Com base na shape gerada de sub-bacias de drenagem e sobrepondo a shape da mancha urbana do Distrito Sede – delimitada a partir de imagens de satélite do Google Earth –, foi possível traçar as bacias de esgotamento sanitário da zona urbana, considerando apenas as áreas habitadas.

a) Estimativa da população residente por bacia

A estimativa populacional foi realizada a partir dos dados dos setores censitários do IBGE, relativos ao ano de 2010, baseando-se na metodologia estabelecida por Pires (2018). Com o auxílio do software QGis, foi possível determinar quais setores censitários pertencem, parcial ou completamente, a cada sub-bacia de drenagem. Para os setores censitários que não possuíam 100% da área inserida em uma sub-bacia, atribuiu-se uma porcentagem relativa à área de interseção entre o setor e a sub-bacia, com relação a área total do setor.

Assim, de posse da variável “Moradores em domicílios particulares permanentes”, obtida a partir do Censo do IBGE (2011), pôde-se estimar a quantidade de habitantes por sub-bacia de drenagem da zona urbana municipal, fazendo as ponderações entre os habitantes do setor e a porcentagem de sua área inclusa na sub-bacia. Como as bacias de esgotamento são a delimitação das sub-bacias de drenagem apenas para a área habitada da zona urbana, as populações em ambas serão iguais.

Contudo, o Distrito Sede tem apresentado crescimento da área de ocupação urbana, configurando uma expansão da cidade dentro dos setores censitários considerados como rurais em 2010. Essas áreas foram delimitadas e o número de domicílios contabilizados a partir de imagens de satélite do Google Earth, sendo a população da área de expansão estimada pelo produto dos domicílios com a variável “Média do número de moradores em domicílios particulares permanentes” do Censo 2010 do IBGE (2011).

b) Estimativa da vazão sanitária por bacias

De maneira geral, Von Sperling (2014) determina que a vazão doméstica média de esgoto é dada pela Equação 1.

$$Q_{med} = \frac{P \cdot q \cdot C}{86400} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: a vazões são dadas em L/s; C é a relação entre o volume de esgotos recebido na rede de esgoto; P é a população; e, q é o consumo de água “per capita”, em L/s.

Pela norma técnica NBR 7.229 (ABNT, 1997b), o valor do coeficiente de retorno de esgoto (C) foi estimado em 0,8. A partir da Tabela 3, determinou-se o consumo per capita de água (q) no município a partir de sua população total.

Tabela 3: Consumo per capita de água conforme população total do município.

População (hab)	Consumo per capita (L/hab/dia)
até 6.000	de 100 a 150
de 6.000 até 30.000	de 150 a 200
de 30.000 até 100.000	de 200 a 250
acima de 100.000	de 250 a 300

Fonte: BRASIL (2015).

4.2 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ALTERNATIVAS

De acordo com os estudos bibliográficos realizados para pequenos municípios, escolheu-se avaliar as tecnologias com maior potencial de implantação em áreas urbanas: as *wetlands* construídos, o vermifiltro e o filtro anaeróbio com material filtrante alternativo.

Com base no IBGE (2008), dos 16,1% municípios paraibanos que possuem tratamento de esgoto, um terço utiliza o tanque séptico de sistema condominial, denominado popularmente de fossão, sendo a solução mais adotada no estado. Sendo assim, essa tecnologia também foi considerada nesse trabalho com uma alternativa de tratamento de efluentes e como predecessora em sistemas que necessitem de um pré-tratamento, como é o caso dos filtros anaeróbios.

Nesse sentido, o Quadro 4 apresenta as alternativas de sistema de tratamento consideradas no estudo, bem como o tipo de sistema de esgotamento sanitário que são capazes de atender, com base nos estudos de Von Sperling (2014) e Tonetti et al. (2018).

Quadro 4: Alternativas de sistemas de tratamento de efluentes consideradas

Alternativa	Sistema de tratamento	Tipo de sistema atendido no estudo
A1	Tanque séptico	Semicoletivo
A2	<i>Wetlands</i> construídos	Semicoletivo
A3	Vermifiltro	Semicoletivo
A4	Tanque séptico + Filtro anaeróbio	Semicoletivo

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014) e Tonetti et al. (2018).

Mediante os dados populacionais e as estimativas de vazão média anual por bacia de esgotamento, conforme sugere Von Sperling (2014), foram dimensionados todos os tratamentos apresentados para posterior avaliação e escolha do sistema que melhor se adapte à realidade local.

4.2.1 Tanques sépticos

O dimensionamento foi feito conforme a norma técnica NBR 7.229 (ABNT, 1997b). Inicialmente, calculou-se o volume útil total do tanque, conforme Equação 2, com valores dos parâmetros estabelecidos pela norma.

$$V = 1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot L_f) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: V é o volume útil do tanque, em L; N é o número de habitantes contribuintes; C é a contribuição de despejos, em L/hab.dia; T é o período de detenção, em dias; K é a taxa de acumulação do lodo fresco; e, L_f é a contribuição de lodo fresco, em L/hab.dia.

Calculado o volume útil, determinou-se a profundidade do tanque em concordância com os limites de profundidade estabelecidos pela ABNT (1997b). Assim, pôde-se calcular a área da base do tanque, de acordo com a Equação 3, determinando-se, posteriormente, as dimensões da base do tanque.

$$A = \frac{V}{h} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: A é a área da base do tanque, em metros quadrados; e, h é a profundidade útil estabelecida, em metros.

4.2.2 *Wetlands* construídos

Seguindo método proposto por Brasil (2018a), primeiramente determinou-se o tipo de WC mais indicado para o tratamento desejado, conforme o nível de tratamento e os poluentes presentes no efluente. Dessa forma, associando a degradação da matéria orgânica carbonácea em um modelo de cinética de primeira ordem, a área superficial requerida para o sistema foi obtida através da Equação 4.

$$A = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \cdot p \cdot n} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde: A é a área superficial requerida, em m²; Q é a vazão afluyente, em m³/dia; C_o é a concentração afluyente em termos de DBO₅, em mg/L; C_e é a concentração efluente em termos de DBO₅, em mg/L; p é a profundidade média do filtro, em m; n é a porosidade do material filtrante; e, K_T é a constante de reação de cinética de primeira ordem, em d⁻¹.

Sendo K_T dependente da constante de reação a 20°C (K₂₀), da temperatura média local (T) e do coeficiente de temperatura (θ) conforme a Equação 5.

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{T-20} \quad \text{Equação (5)}$$

4.2.3 Vermifiltros

Como ainda não há normas ou padrões para o dimensionamento de vermifiltros, este estudou baseou-se em pesquisas científicas. Utilizou-se a taxa de aplicação superficial diária para a determinação da área superficial dos vermifiltros. Conforme o trabalho de Xing, Li e Yang (2010) foi adotada uma carga hidráulica de referência que atenda uma taxa de 6 m³/m².dia.

Ademais, determinou-se o tempo de detenção hidráulica (TDH) a partir da Equação 6, que apresenta valores ideais na faixa de 1 a 2 horas, de acordo com o estudo de Sinha, Bharambe e Chaudhari (2008).

$$TDH = \frac{\rho \cdot V_s}{Q} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde: ρ é a porosidade média do meio filtrante; V_s é o volume do meio filtrante, em m³; e, Q é a vazão do efluente sanitário, m³/h.

4.2.4 Filtro anaeróbio

O dimensionamento foi realizado a partir da NBR 13.969 (ABNT, 1997a), com volume determinado a partir da Equação 7.

$$V = 1,6 \cdot N \cdot C \cdot T \quad \text{Equação (7)}$$

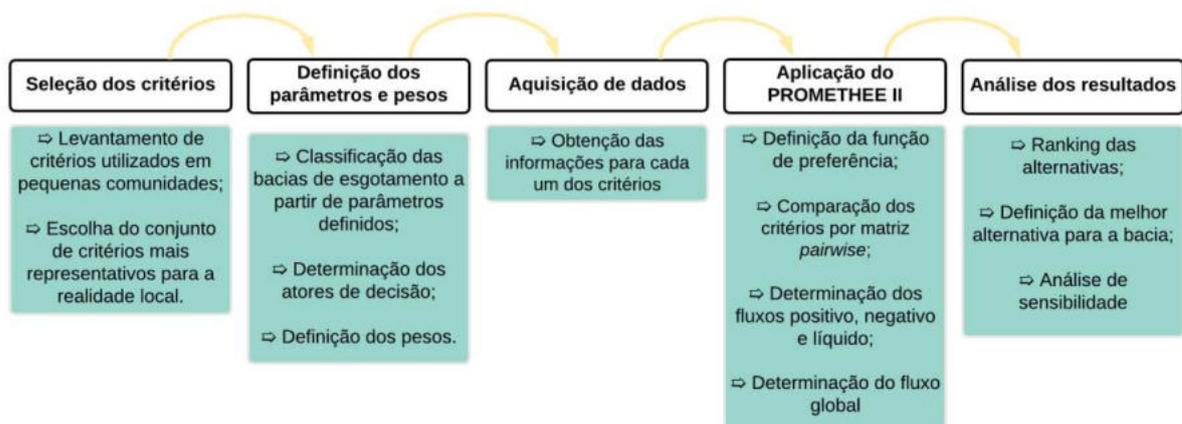
Onde: V é o volume útil do filtro, em litros; N é o número de contribuintes; C é a contribuição de despejos, em L/hab.dia; e, T é o período de detenção no filtro, em dias.

Analogamente ao tanque séptico, com base no volume útil pôde-se determinar as dimensões do filtro, sendo a altura do material de enchimento fixada em 1,20 m. Tanto a altura acima do material de enchimento (nível da calha vertedora) quanto o fundo falso devem ter altura de 0,60 m, resultando numa altura total de 1,80 m, para qualquer volume de dimensionamento do filtro (ABNT, 1997a).

4.3 MODELO DE TOMADA DE DECISÃO MULTICRITERIAL NA SELEÇÃO DO SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A Figura 7 esquematiza a metodologia aplicada para tomada de decisão, por bacias de esgotamento sanitário da zona urbana, entre os sistemas de tratamento de efluentes selecionados.

Figura 7: Fluxograma da estruturação do modelo de tomada de decisão



Fonte: A autora (2021).

4.3.1 Seleção dos critérios

Os mais variados critérios são utilizados para a seleção de tecnologia de tratamento de esgoto, sendo alguns deles convergentes entre os autores e outros mais específicos. A definição dos critérios é essencial para apoiar os processos de tomada de decisão, uma vez que a classificação das alternativas é baseada nesses elementos, devendo realmente avaliar a adequação da tecnologia para o cenário considerado de tomada de decisão.

Dessa maneira, pautando-se em pequenas comunidades e municípios de pequeno porte, pôde-se elencar os critérios e pesos definidos em estudos relevantes apresentados na Tabela 4, considerando a adequação dos critérios em quatro sistemas: econômico, técnico, ambiental e social. Assim, conforme a literatura, o cenário do estudo e a realidade dos pequenos municípios, foi escolhido um conjunto equilibrado de critérios que permite realizar uma avaliação holística em relação às tecnologias de tratamento de efluentes especificadas.

Com os indicadores definidos, serão obtidas as funções para o cálculo dos mesmos a partir da análise de trabalhos específicos referentes a cada tecnologia, tomando como principais referências os estudos de Von Sperling (2007), Benetti (2015) e Tonetti et al. (2018). Em geral, as funções utilizam o número de habitantes da bacia de esgotamento para a estimativa dos valores dos indicadores.

Em funções de critérios econômicos que possuem como base diferentes anos de referência, utilizou-se o INCC (Índice Nacional de Custos da Construção), que corresponde a inflações anuais dos produtos da construção civil, a fim de padronizar os valores de custo para o ano-base de 2020. Os valores do INCC anuais foram obtidos a partir da FGV (2020).

Para os critérios que não possuem uma escala quantitativa, fez-se necessária a conversão da qualidade associada a uma pontuação. Assim, as qualidades classificadas em baixo (+), médio (++/+++/++++) e alto (+++++) foram convertidas, respectivamente, na escala de pontuação de 1 a 5 pontos.

Tabela 4: Critérios e pesos, com base em estudos, para seleção de sistemas de tratamento avaliados

Sistema	Critério/Autores	Goffi (2017)	Molinos-Senante et al. (2015)	Molinos-Senante et al. (2014)	Tan et al. (2014)	Kalbar et al. (2013)	Kalbar et al. (2012)	Hunt (2013)	Margarido, Navega, Philippon (2012)	Refsgaard (2006)
ECONÔMICO	Custo de implementação	0,080	0,124	0,109				0,095	0,041	
	Custo de operação e manutenção	0,125	0,124	0,216				0,076	0,041	
	Custo do ciclo de vida	0,339			0,560	0,114	0,122			
	Custo por família									0,136
	Necessidade de mão de obra					0,101	0,108			
	Área do terreno necessária	0,085		0,017		0,101	0,108	0,048	0,007	
TÉCNICO	Confiabilidade	0,061	0,045	0,017		0,051	0,054	0,067	0,176	
	Durabilidade					0,051	0,054			
	Replicabilidade					0,101	0,108			
	Flexibilidade					0,051	0,054			
	Perenidade				0,100					
	Robustez				0,120					
	Resistência a variações do afluente e a cargas de choque							0,010	0,235	
	Dependência de variáveis climáticas							0,010	0,035	
	Solo							0,095	0,082	
	Simplicidade operacional e de manutenção							0,095	0,118	
	Complexidade da construção e operação	0,061			0,120					
AMBIENTAL	Eficiência de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos		0,098							
	Eficiência de remoção de matéria orgânica	0,115		0,031	0,100			0,095	0,047	0,184
	Eficiência de remoção de sólidos suspensos			0,026				0,095	0,018	

Tabela 4: Critérios e pesos, com base em estudos, para seleção de sistemas de tratamento avaliados (continuação)

Sistema	Critério/Autores	Goffi (2017)	Molinos-Senante et al. (2015)	Molinos-Senante et al. (2014)	Tan et al. (2014)	Kalbar et al. (2013)	Kalbar et al. (2012)	Hunt (2013)	Margarido, Navega, Philippon (2012)	Refsgaard (2006)
AMBIENTAL	Eficiência de remoção de fósforo		0,030	0,026				0,019		0,395
	Eficiência de remoção de nitrogênio		0,030	0,023				0,019	0,006	
	Coliformes fecais							0,019	0,006	
	Ovos helmintos							0,019	0,047	
	Consumo de energia			0,019					0,016	0,068
	<i>Carbon footprint</i>		0,313							
	Eutrofização					0,101	0,041			
	Aquecimento global					0,025	0,027			
	Comportamentos sustentáveis					0,101	0,108			
	Produção de lodo	0,035	0,061	0,021				0,019	0,012	
	Potencial de reúso		0,055	0,020						
Potencial de reciclagem dos produtos contidos no efluente		0,022	0,014						0,037	
SOCIAL	Adaptação local									0,184
	Odores		0,018	0,168				0,095	0,047	
	Ruído		0,015	0,082				0,048	0,035	
	Impacto visual		0,023	0,042						
	Aerossóis							0,048	0,024	
	Insetos e vermes							0,048	0,012	
	Aceitação pública	0,117	0,031	0,104		0,101	0,108			
	Participação social					0,101	0,108			

Fonte: Adaptado de Goffi (2017).

4.3.2 Definição dos parâmetros e pesos

a) Parâmetros das bacias de esgotamento

As características das bacias de esgotamento foram consideradas para o desenvolvimento do modelo, a partir do uso de parâmetros associados. Conforme a CETESB (1988), escolheu-se quatro parâmetros considerados relevantes na caracterização das bacias de pequenos municípios:

- I. Área disponível para implantação da ETE: Refere-se ao espaço físico disponível na bacia de esgotamento, ou na sub-bacia de drenagem associada, adequado para implantação da estação de tratamento, de modo a influenciar na área do terreno necessária para implantação da tecnologia;
- II. Urbanização: Refere-se à aglomeração ou dispersão de habitantes no território da bacia de esgotamento. Tal parâmetro exerce influência sobre os requisitos sociais, relacionados a ruído, odores e vetores, e sobre os requisitos técnicos requeridos para o sistema de tratamento, haja vista que bacias mais urbanizadas irão produzir maior volume de esgoto;
- III. Classificação do corpo receptor quanto a duração do fluxo: Refere-se à classificação do corpo receptor, sendo considerados no estudo os rios intermitentes, cujos leitos secam ou congelam durante algum período do ano e os perenes, que são os que correm durante o ano todo. Tal parâmetro influencia na capacidade de depuração do corpo receptor.
- IV. Uso da água do corpo receptor: Refere-se ao uso das águas do corpo hídrico após o lançamento do esgoto tratado, influenciando na qualidade de tratamento requerida para o efluente.

A fim de caracterizar as bacias de esgotamento sanitário da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue conforme os parâmetros selecionados, utilizou-se as metodologias apresentadas pelo Quadro 5. Assim, cada bacia foi classificada de acordo com cada um dos quatro parâmetros apresentados.

Quadro 5: Metodologias de classificação das bacias de esgotamento conforme parâmetros selecionados

Parâmetro		Metodologia	Classificação
P1	Área disponível para implantação da ETE	Com o auxílio do software QGIS e das imagens de satélite do Google Earth, mapeou-se os principais fundos de vale de cada bacia de esgotamento, determinando-se, nesses locais, a área disponível para a locação da Estação de Tratamento de Esgotos. Assim, a área disponível da bacia é classificada como alta, quando é superior a área do tratamento com maiores requisitos de espaço na bacia; e, é classificada como baixa, quando a área é maior ou igual a área do tratamento com menores requisito de espaço e menor que a área do tratamento com o segundo menor requisito de espaço.	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa • Alta
P2	Urbanização	Com base na metodologia de classificação de áreas urbanas do IBGE (2020a), a partir do software QGIS e das imagens de satélite do Google Earth, pôde-se identificar a forma de aglomeração e dispersão na ocupação do território estudado, sendo as bacias classificadas como de alta urbanização, aquelas que possuem maior número de edificações e tendência de expansão urbana, e de baixa urbanização, aquelas que possuem menor quantidade de residências, maior distância entre os lotes e grandes áreas verdes desabitadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa • Alta
P3	Classificação do corpo receptor quanto a duração do fluxo	Com o auxílio das imagens históricas de satélite do Google Earth, foi possível verificar se os corpos hídricos presentes nos fundos de vale identificados em cada bacia de esgotamento apresentavam espelho d'água em seu curso, classificando o rio como perene; ou apresentavam espelho d'água em determinadas épocas e apenas vegetação nas demais, classificando o rio como intermitente.	<ul style="list-style-type: none"> • Perene • Intermitente
P4	Uso da água do corpo receptor	Com o auxílio do software QGIS, utilizou-se a shape de disponibilidade hídrica superficial da ANA (2013) sobreposta a imagens de satélite do Google Earth, a fim de identificar o nome do rio e os seus usos. Se o rio em estudo não estiver incluído na shape da ANA (2013), não há uso para abastecimento humano do curso de água legalizado, então, analisa-se a partir de imagens de satélite, se ele desagua em algum outro rio ou açude utilizado para abastecimento público, caracterizando um uso humano, ou se nas margens de seu curso tem-se a presença de atividades agrícolas que possam captar água do corpo receptor, caracterizando um uso agrícola.	<ul style="list-style-type: none"> • Uso humano • Uso agrícola

Fonte: A autora (2021).

b) Pesos dos critérios

Os pesos consistem nas medidas da importância que cada critério tem para o agente de decisão, sendo os ajustados no modelo de acordo com o caso a ser analisado. Neste trabalho, optou-se pela utilização de agentes de decisão que compõem a equipe de elaboração do Planos Municipais de Saneamento Básico de 50 municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, TED 003/2019 parceria FUNASA/UFCG, ao qual Casserengue é um dos municípios beneficiados, sendo eles:

- I. Técnicos municipais com formação na área de Engenharia Civil ou Engenharia Ambiental;
- II. Membros da equipe técnica da UFCG com formação na área de Engenharia Civil ou Engenharia Ambiental, com ênfase em saneamento ambiental e tratamento de esgotos.

Por meio de um questionário, os agentes de decisão foram capazes de fornecer pesos representativos para cada uma das classificações dos parâmetros das bacias de esgotamento sanitário. Para tanto, os agentes atribuíram pesos aos critérios selecionados, numa escala de 0 a 4, em função do julgamento do nível de importância do critério para cada classificação dos parâmetros das bacias. Assim, o valor “0” foi atribuído para critérios sem importância; “1” para critérios com baixa importância; “2” para critérios com média importância; “3” para critérios com alta importância; e “4” para critérios com altíssima importância.

Vale salientar que como as características dos critérios podem ser heterogêneas, os decisores podem ter dificuldades em expressarem suas preferências quanto ao grau de importância de cada critério. Assim, com o intuito de detectar e eliminar *outliers*, realizou-se a média expurgada dos pesos atribuídos pelos agentes de decisão, conforme indica Francisco et al. (2008), que é igual a média dos pesos que satisfazem o intervalo apresentado pela Equação 9.

$$\bar{x} - s \leq x_i \leq \bar{x} + s \quad \text{Equação (9)}$$

Onde: \bar{x} é a média dos pesos relativos a um critério; s é o desvio-padrão dos pesos relativos a um critério; e x_i é o peso analisado para o critério.

O peso final dos critérios, para cada bacia de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue, foi dada pela soma dos pesos atribuídos aos critérios em cada uma das classificações dos parâmetros relativos à bacia estudado.

4.3.3 Aplicação do PROMETHEE II

A fim de identificar a alternativa com melhor desempenho considerando vários critérios e permitir a comparação entre eles com métricas incomparáveis ou imensuráveis foi escolhido o método PROMETHEE II (*Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation II*), a partir da metodologia expressa por Brans, Vincke e Mareschal (1986), por estabelecer uma ordem completa entre as alternativas, garantindo o equilíbrio entre os critérios e a classificação sob diversos aspectos.

A partir dos pesos obtidos e os valores estabelecidos para os critérios, o método foi aplicado com o auxílio do software Visual PROMETHEE 1.4 - *Academic Version*. Neste, as configurações para cada critério foram comparadas por meio de uma matriz de uma maneira *pairwise*. Para cada comparação, considerou-se uma função de preferência $F_j(a,b)$ do tipo “usual”, de acordo com Goffi (2017), que assume valores entre zero e um. Uma alternativa foi pontuada com 1 se seu desempenho fosse superior à configuração alternativa emparelhada e com 0 se seu desempenho fosse equivalente ou inferior para a alternativa emparelhada.

Cada comparação emparelhada recebeu um *score* de função de preferência do critério, que foram multiplicados pelos pesos atribuídos aos indicadores e somados a fim de resultar em um único número para cada comparação. As somas ponderadas para cada configuração foram somadas e divididas pelo número de configurações alternativas para calcular os fluxos positivos $Q^+(a)$ e fluxos negativos $Q^-(a)$. A classificação final baseou-se no cálculo do fluxo líquido $Q(a)$, dado pela diferença entre o $Q^+(a)$ e $Q^-(a)$, que varia de -1 a +1, sendo a melhor alternativa para a bacia aquela que apresentou maior valor positivo de $Q(a)$.

4.3.4 Análise de sensibilidade

Como o resultado da classificação das alternativas depende dos pesos correspondentes aos critérios, uma pequena mudança em seus valores pode alterar o ranking. De acordo com Rivas (2016), os pesos resultam de um julgamento subjetivo dos agentes de decisão, sendo importante realizar análises de sensibilidade a fim de enxergar possíveis mudanças no ranqueamento, possibilitando ao tomador de decisão obter informações sobre a robustez de seu modelo.

Dessa forma, calculou-se os valores mínimos e máximos que os pesos de cada critério para cada bacia de esgotamento podem assumir, sem que haja mudanças na posição no ranking da alternativa de tratamento com melhor colocação e que não se tenha mudanças no

ranqueamento. Logo, quanto maior o intervalo, mais robusto é o modelo. O cálculo do intervalo de sensibilidade dos pesos dos critérios, foi realizado a partir da ferramenta *Visual Stability Intervals* do software Visual PROMETHEE 1.4 - *Academic Version*.

4.4 COMPARAÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA ALTERNATIVA DEFINIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO

A partir do levantamento dos dados de tratamento de esgoto frente a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), foi determinado o sistema de tratamento convencional com maior percentual de adoção à nível estadual. Assim, foi possível calcular os indicadores para a tecnologia de tratamento - selecionados conforme o Tópico 4.3.1 – a partir dos estudos de Von Sperling (2007). Para tanto, considerou-se um sistema de atendimento coletivo e centralizado para a zona urbana do Distrito Sede de Casserengue.

Desse modo, com a determinação da tecnologia adequada para cada uma das bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede, foi possível a comparação desta solução com o sistema convencional de tratamento, a partir dos critérios econômicos, técnicos, ambientais e sociais estabelecidos, buscando averiguar possíveis vantagens do tratamento alternativo em detrimento do convencional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO MUNICÍPIO

O município de Casserengue tem a Prefeitura como única prestadora do serviço de esgotamento sanitário, ofertando coleta e transporte para algumas áreas, não havendo cobrança de taxas aplicadas para a população e sendo a prestação feita sem a celebração de contrato e independente do serviço do abastecimento de água. A Tabela 5 apresenta os valores dos principais indicadores relacionados à destinação de esgotos por domicílios para Casserengue.

Tabela 5: Indicadores relacionados à destinação de esgotos por domicílios Casserengue

Destinação do esgoto (% de domicílios)	Zona Urbana	Zona Rural	Total
Rede de esgotos ou pluvial	59,2%	-	30,5%
Fossa séptica	1,2%	1,3%	1,2%
Fossa rudimentar	26,8%	35,6%	31,1%
Esgoto <i>in natura</i> em vala	8,3%	8,7%	8,5%
Esgoto <i>in natura</i> em rio, lago ou mar	-	-	-
Outro escoadouro	3,7%	0,8%	2,3%
Sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário	0,8%	53,6%	26,4%

Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Nota-se que a destinação de esgoto no município é predominantemente realizada por sistemas individuais de fossas rudimentares, que são construídas de forma precária para o recolhimento das águas negras. O uso recorrente das fossas rudimentares, acarreta a incidência de contaminação por DRSAl, além da possibilidade de contaminação do lençol freático e dos rios que podem ser utilizados como fonte de abastecimento nessas localidades.

O uso de fossas rudimentares aliado aos altos índices de domicílios sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário, totalizando 26,4% dos domicílios do município e 53,6% dos domicílios na zona rural, influencia diretamente na alta taxa de internações por diarreia do município. Em 2016, o IBGE (2016) aponta que Casserengue apresentava 10,5 internações por mil habitantes, sendo 288,9% e 517,6% mais alta que a média estadual (2,7) e nacional (1,7), respectivamente.

No ano de 2010, o IBGE (2011) aponta que o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) da zona urbana de Casserengue era composto por soluções coletivas, com 59,2% de domicílios atendidos por rede de esgotos ou pluvial sem etapa de tratamento, além de soluções individuais,

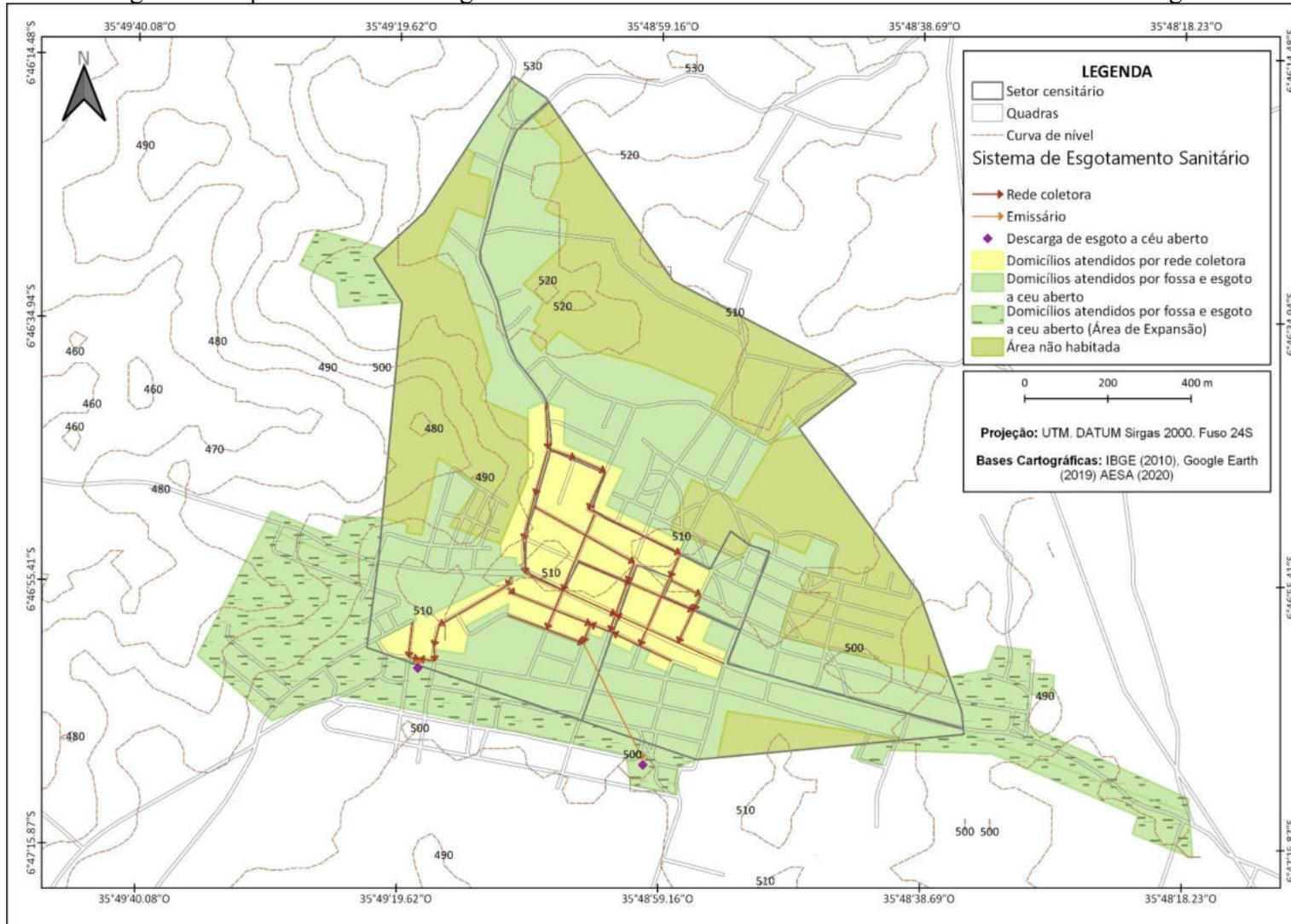
como fossas sépticas e rudimentares. Em 2013, de acordo com a ANA (2017b), 59,4% dos domicílios eram atendidos por sistema de coleta e transporte dos efluentes, sem tratamento, 1,3% por soluções individuais e, os 39,3% restantes, não possuíam nem coleta e nem tratamento.

Em 2013, cerca de 98,7% da vazão total efluente da zona urbana era encaminhada sem tratamento até um rio enquadrado como Classe 2, sendo 39,3% proveniente do esgoto coletado por tubulações e 59,4% do esgoto lançado a céu aberto (ANA, 2017).

O mapeamento do SES atual realizado na zona urbana de Casserengue pode ser observado na Figura 8. Nota-se que, aproximadamente 18% da área urbana habitada do município apresenta domicílios que são atendidos por sistema coletivo de rede de coleta e transporte de esgotos e 82% por fossas com a presença de esgoto a céu aberto. Importante destacar que mesmo nas áreas onde há rede coletora existem domicílios que utilizam fossas como solução para a destinação do esgoto.

O sistema coletivo apresentado no mapa da Figura 8, tem funcionamento por gravidade, com rede construída com tubulações em PVC de 150 mm. Os efluentes coletados na rede coletora principal são transportados por coletores de esgoto com extensão de aproximadamente 4,0 km e um emissário, com 327,0 m de comprimento também construído em PVC de 150 mm, que transporta o efluente para pontos difusos de despejo a céu aberto, afetando comunidades adjacentes, tendo em vista que não possui unidade de tratamento para o esgoto coletado.

Figura 8: Mapa do sistema de esgotamento sanitário da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue

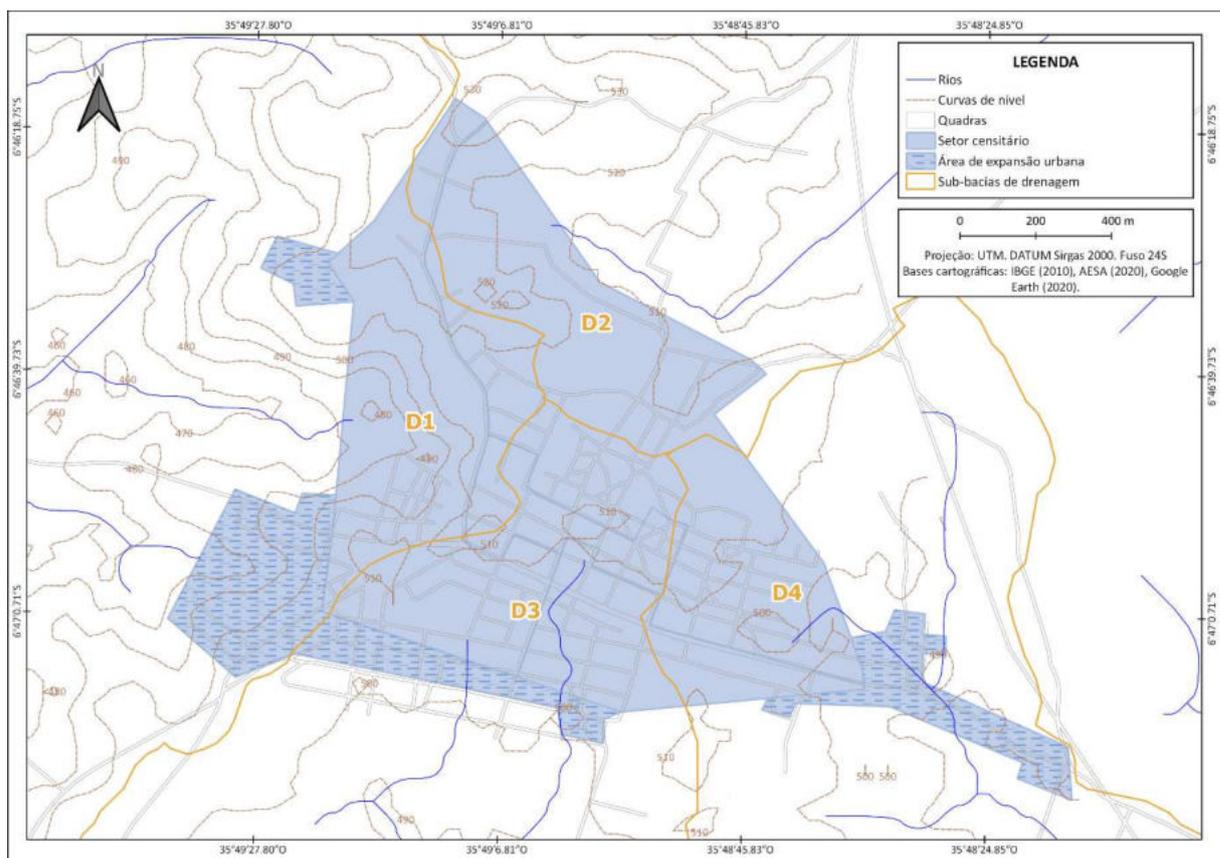


Fonte: Adaptado de IBGE (2011), Google Earth (2020) e AESA (2020b).

5.2 DELIMITAÇÃO E ESTUDO DAS BACIAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A zona urbana do Distrito Sede de Casserengue foi dividida em quatro sub-bacias de drenagem (Figura 9), D1, D2, D3 e D4, com áreas de 0,37 km², 0,34 km², 0,30 km² e 0,27 km², respectivamente. No entorno da sede municipal, as sub-bacias apresentam rios com leito natural com fraca densidade de mata ciliar, baixa taxa de urbanização e a presença de atividade antrópicas.

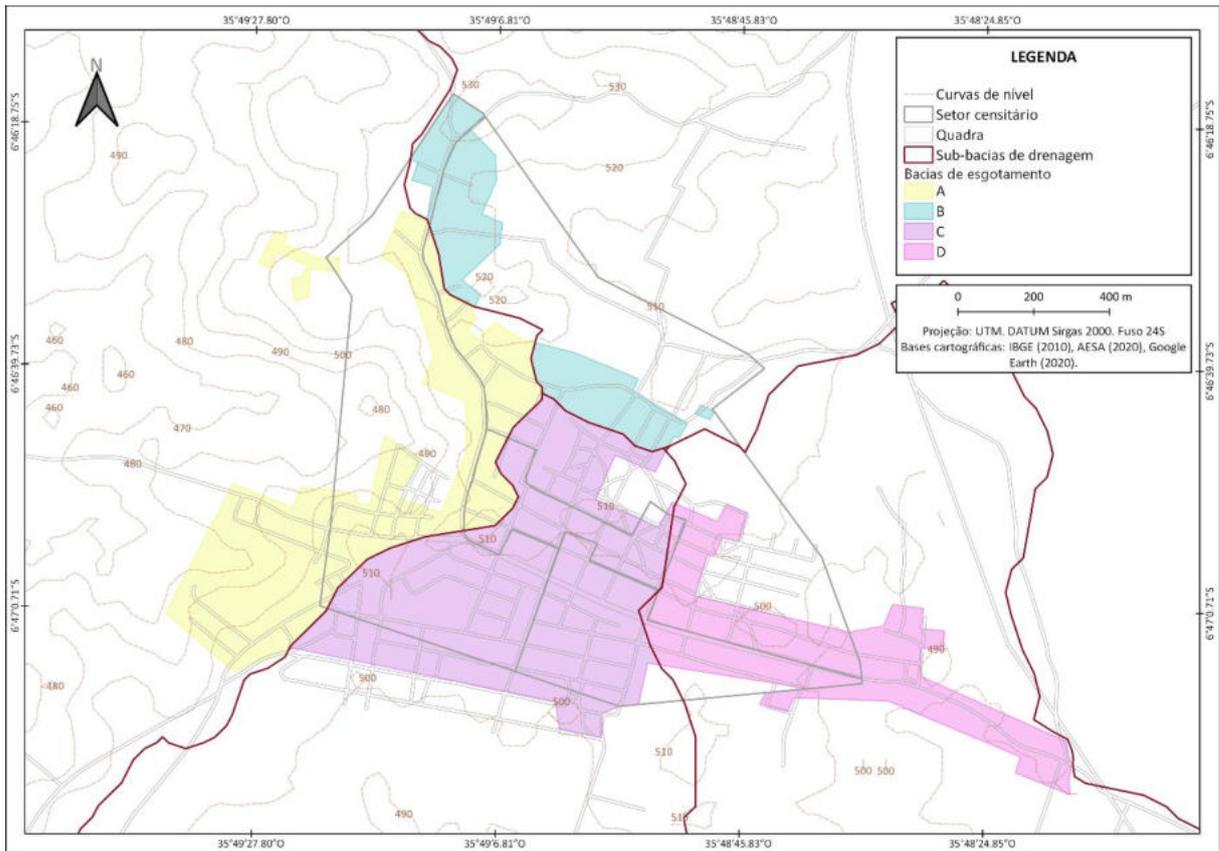
Figura 9: Delimitação das sub-bacias de drenagem para a zona urbana do Distrito Sede



Fonte: Adaptado de IBGE (2011) e Google Earth (2020).

A partir da conformação das sub-bacias de drenagem e com base na mancha urbana do Distrito Sede, delimitou-se as bacias de esgotamento sanitário da zona urbana do distrito, denominadas A, B, C e D, apresentadas no mapa da Figura 10.

Figura 10: Bacias de esgotamento sanitário para a zona urbana do Distrito Sede



Fonte: Adaptado de IBGE (2011) e Google Earth (2020).

A Tabela 6 apresenta a estimativa da população por bacia de esgotamento (conforme detalhamento no Apêndice A). As bacias A, C e D possuem um caráter mais urbano, no tocante a presença do maior número de edificações, menor distância entre os lotes e a tendência de expansão urbana, detendo assim as maiores populações. O setor B, por sua vez, detém a menor quantidade de habitantes e a maior taxa de ocupação por domicílio, características de áreas de transição rural-urbano.

A partir do estudo populacional, calculou-se as vazões de esgoto sanitário de cada bacia (Tabela 6), conforme a Equação 1, levando em conta apenas as contribuições domésticas. Sabendo que a população estimada do município para 2020 é de 7.499 habitantes de acordo com o IBGE (2020b), considerou-se um consumo per capita de água de 150L/hab.dia, conforme a Tabela 3.

Tabela 6: Estimativa populacional e das vazões sanitárias domésticas por bacia de esgotamento

Bacia	Nº de domicílios IBGE	Nº de domicílios área de expansão	Nº total de domicílios	Taxa de habitantes por domicílio	População total	Vazão média (L/s)
A	247	113	360	3,41	1.229	1,71
B	135	-	135	3,54	478	0,66
C	244	13	257	3,45	886	1,23
D	183	45	228	3,51	800	1,11
Distrito Sede	809	171	980	3,48	3.393	4,71

Fonte: Adaptado de IBGE (2011) e Google Earth (2020).

5.3 DIMENSIONAMENTO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ALTERNATIVAS

Para o dimensionamento das tecnologias de tratamento escolhidas, inicialmente fez-se algumas considerações necessárias, apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6: Considerações feitas no dimensionamento das tecnologias de tratamento de esgoto

Tecnologias de tratamento	Considerações
Tanque séptico	Estabeleceu-se um intervalo de limpeza de 1 ano.
<i>Wetlands</i> construídos	Estabeleceu-se o fluxo sub-superficial horizontal, pois de acordo com Brasil (2018a) este tipo de sistema é recomendado para o tratamento secundário de esgoto sanitário, com foco na remoção de DBO e SST. Ademais, o substrato escolhido foi de pedra britada, apresentando porosidade de 0,5 (BRASIL, 2018a).
Vermifiltro	Analogamente a pesquisa de Sinha, Bharambe e Chaudhari (2008), o meio filtrante escolhido apresenta uma camada de solo com as minhocas e as demais com pedra britada de diferentes granulometrias, resultando em uma porosidade de 0,82.
Filtro anaeróbio	Adotou-se o material de recheio alternativo de casca de coco verde (<i>Cocos nucifera</i>) por possuir um menor custo associado, alta durabilidade e pelo êxito quanto a remoção de DBO e SST de acordo com as pesquisas de Gomes (2015), Cabral et al. (2017) e Figueiredo (2019).

Fonte: A autora (2021).

A partir das Equações 2 a 7 e das considerações apresentadas no Quadro 6, dimensionou-se as tecnologias de tratamento de cada uma das quatro alternativas selecionadas para o estudo. A Tabela 7 apresenta um resumo com as dimensões requeridas para o cada um dos sistemas de tratamento, por bacia de esgotamento.

Sob a ótica da Tabela 7, nota-se a proporcionalidade direta entre o número de habitantes e a área requerida total para o sistema. Para a bacia B, com menor população, as áreas calculadas

para os sistemas são as menores, quando se compara com a bacia A, com maior população. Em relação aos requisitos de espaço, a alternativa de tratamento A2 foi a que obteve as maiores áreas necessárias. Os vermifiltros (A3) possuem a menor área requerida e uma das menores profundidades (1,0 m), valor acima apenas do tratamento por *wetlands* construídos (0,7 m).

Tabela 7: Dimensões calculadas para as alternativas de tratamento por bacias de esgotamento

Alternativa de tratamento		Bacia de esgotamento							
		A		B		C		D	
		Área (m ²)	Dimensões						
A1	Tanque séptico	58,0	Módulos: 3 D: 5,0 m h: 2,5 m	24,0	Módulos: 1 D: 5,0 m h: 2,5 m	42,0	Módulos: 2 D: 5,2 m h: 2,5 m	38,0	Módulos: 2 D: 4,9 m h: 2,5 m
A2	<i>Wetlands</i> construídos	367,9	Módulos: 9 L: 2,0 m C: 20,5 m h: 0,7 m	143,0	Módulos: 3 L: 2,0 m C: 23,8 m h: 0,7 m	265,2	Módulos: 6 L: 2,0 m C: 22,1 m h: 0,7 m	239,6	Módulos: 6 L: 2,0 m C: 20,0 m h: 0,7 m
A3	Vermifiltros	24,6	Módulos: 2 D: 4,0 m h: 1,0 m	9,6	Módulos: 2 D: 2,5 m h: 1,0 m	17,7	Módulos: 2 D: 3,4 m h: 1,0 m	16,0	Módulos: 2 D: 3,2 m h: 1,0 m
A4	Tanque séptico	156,3	Módulos: 3 D: 5,0 m h: 2,5 m	62,3	Módulos: 1 D: 5,0 m h: 2,5 m	112,8	Módulos: 2 D: 5,2 m h: 2,5 m	102,2	Módulos: 2 D: 4,9 m h: 2,5 m
	Filtro anaeróbio		Módulos: 3 D: 6,5 m h: 1,2 m		Módulos: 1 D: 7,0 m h: 1,2 m		Módulos: 2 D: 6,7 m h: 1,2 m		Módulos: 2 D: 6,4 m h: 1,2 m

Nota: D (diâmetro), L (largura), C (comprimento), h (profundidade).
Fonte: A autora (2021).

5.4 DEFINIÇÃO E CÁLCULO DE CRITÉRIOS

5.4.1 Escolha dos critérios

A partir dos critérios de seleção de tecnologias de tratamento de efluentes apresentados pela Tabela 4, escolheu-se dez considerados relevantes pela literatura e representativos para a realidade de pequenos municípios, apresentados no Quadro 7. Estabeleceu-se um número reduzido de critérios pois, de acordo com Gomes e Gomes (2012), isso simplifica a seleção e evita o uso de diversos atributos em um mesmo nível de igualdade, que dificulta a percepção das características mais significativas do problema.

Quadro 7: Critérios selecionados no estudo

Classificação	Critérios		Descrição
ECONÔMICOS	C1	Custo de implementação	Custo necessário para construção da estação de tratamento, incluindo máquinas, equipamentos, instalações e tubulações. Unidade: Reais (R\$).
	C2	Custo de operação e manutenção	Custo necessário com energia, pessoal, produtos químicos, gestão e manutenção de resíduos. Unidade: Reais por ano (R\$/ano).
	C3	Área do terreno necessária	Área física necessária para a construção e instalação da ETE. Unidade: Metros quadrados (m ²).
TÉCNICOS	C4	Confiabilidade	Probabilidade de falhas mecânicas de operação e processo e o impacto das falhas na qualidade do efluente. Unidade: Adimensional.
	C5	Simplicidade de operação e manutenção	Leva em consideração o nível de habilidade e treinamento exigido do operador, dificuldades envolvidas a operações rotineiras e emergenciais no funcionamento e manutenção do sistema. Unidade: Adimensional.
AMBIENTAIS	C6	Eficiência de remoção da matéria orgânica	Capacidade de o sistema remover a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do efluente. Unidade: Porcentagem (%).
	C7	Eficiência de remoção de sólidos suspensos	Capacidade de o sistema remover os sólidos suspensos (SS) do efluente. Unidade: Porcentagem (%).
	C8	Produção de lodo	Quantidade do subproduto lodo produzida pelo sistema de tratamento. Unidade: Metros cúbicos por ano (m ³ /ano).
SOCIAIS	C9	Odores	Possibilidade de não emitir de odores no processo de tratamento pelo sistema. Unidade: Adimensional.
	C10	Vetores	Possibilidade de não gerar e atrair vetores (insetos e vermes) ao sistema, normalmente associada ao fator odor. Unidade: Adimensional.

Fonte: A autora (2021).

5.4.2 Cálculo dos critérios

A partir da definição dos critérios, utilizou-se funções selecionadas na literatura (Apêndice B) para estimar os valores dos indicadores para cada uma das alternativas de tratamento de esgoto, por bacia de esgotamento sanitário, com resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Critérios calculados para cada bacia de esgotamento sanitário

BACIA A				
Alternativa de tratamento/ Critério	A1	A2	A3	A4
C1 (R\$)	113.258,61	184.045,24	389.326,47	297.303,85
C2 (R\$/ano)	5.309,00	9.202,26	35.393,32	22.651,72
C3 (m ²)	58,0	367,9	24,6	156,3
C4 (pts)	4	4	4	3
C5 (pts)	3	5	3	4
C6 (%)	32,5	85,0	90,0	82,5
C7 (%)	60,0	90,0	92,5	85,0
C8 (m ³ /ano)	288,84	0	0	737,46
C9 (pts)	2	2	4	2
C10 (pts)	3	2	2	4
BACIA B				
Alternativa de tratamento/ Critério	A1	A2	A3	A4
C1 (R\$)	44.022,79	71.537,03	151.328,33	115.559,82
C2 (R\$/ano)	2.063,57	3.576,85	13.757,12	8.804,56
C3 (m ²)	24,0	143,0	9,6	62,3
C4 (pts)	4	4	4	3
C5 (pts)	3	5	3	4
C6 (%)	32,5	85,0	90,0	82,5
C7 (%)	60,0	90,0	92,5	85,0
C8 (m ³ /ano)	112,27	0	0	286,64
C9 (pts)	2	2	4	2
C10 (pts)	3	2	2	4
BACIA C				
Alternativa de tratamento/ Critério	A1	A2	A3	A4
C1 (R\$)	81.646,00	132.674,76	280.658,14	214.320,76
C2 (R\$/ano)	3.827,16	6.633,74	25.514,38	16.329,20
C3 (m ²)	42,0	265,2	17,7	112,8
C4 (pts)	4	4	4	3
C5 (pts)	3	5	3	4
C6 (%)	32,5	85,0	90,0	82,5
C7 (%)	60,0	90,0	92,5	85,0
C8 (m ³ /ano)	208,22	0	0	531,62
C9 (pts)	2	2	4	2
C10 (pts)	3	2	2	4
BACIA D				
Alternativa de tratamento/ Critério	A1	A2	A3	A4
C1 (R\$)	73.760,69	119.861,12	253.552,38	193.621,81
C2 (R\$/ano)	3.457,53	5.993,06	23.050,22	14.752,14
C3 (m ²)	38,0	239,6	16,0	102,2
C4 (pts)	4	4	4	3
C5 (pts)	3	5	3	4
C6 (%)	32,5	85,0	90,0	82,5

Tabela 8: Critérios calculados para cada bacia de esgotamento sanitário (continuação)

BACIA D				
Alternativa de tratamento/ Critério	A1	A2	A3	A4
C7 (%)	60,0	90,0	92,5	85,0
C8 (m ³ /ano)	188,11	0	0	480,28
C9 (pts)	2	2	4	2
C10 (pts)	3	2	2	4

Fonte: A autora (2021).

Observa-se que os custos associados a implementação, operação e manutenção (critérios C1 e C2), são mais altos para o tratamento por vermifiltração (A3) e menores para a alternativa com tanques sépticos (A1). O sistema de *wetlands* construídos (A2), destaca-se positivamente no quesito de simplicidade de operação e manutenção, apresentando pontuação máxima associada. Para o critério técnico “Confiabilidade” apenas o sistema tanques séptico + filtro anaeróbio (A4) possui uma pontuação diferente e mais baixa em comparação com as demais alternativas.

Em relação aos indicadores ambientais (C6, C7 e C8), as alternativas A2 e A3 são superiores em detrimento das demais, com maiores eficiência de remoção de DBO e SS e volume anual de lodo gerado igual a zero. Para os critérios sociais, a alternativa A3 possui menor probabilidade de gerar odores no processo, enquanto a alternativa A4 apresenta maior chance de não gerar e atrair vetores.

Ademais, nota-se que apenas os critérios C1, C2, C3 e C8 são variáveis quando se trata do mesmo sistema de tratamento em bacias de esgotamento diferentes, tendo em vista que se relacionam diretamente com as características da bacia – o número de habitantes ou vazão de esgoto –, tendo maiores valores associados na bacia A e menores valores na bacia C. Para os demais critérios, o valor estabelecido do indicador é intrínseco ao sistema de tratamento, sendo igual em todas as bacias quando se refere a uma determinada alternativa de tratamento de esgoto.

5.5 DEFINIÇÃO DE PESOS

5.5.1 Classificação das bacias de esgotamento

a) Área disponível para implantação da ETE

Devido à topografia e as características de drenagem natural das bacias de esgotamento, identificou-se os fundos de vale a serem analisados em cada bacia, conforme apresentado pela

Figura 11. Os fundos de vale das bacias A e C, são localizados mais distantes da mancha urbana, cerca de 280 a 440 m, não possuem habitações em suas proximidades, o que propicia a instalação das estações de tratamento. Na bacia A, o fundo de vale é constituído de ampla cobertura vegetal e preservação das margens dos rios, enquanto na bacia C tem-se a presença de vegetação rasteira e áreas com atividades agrícolas. Com base na Figura 11, a área disponível para a implantação da ETE nos fundos de vales das bacias A e C são iguais a 162.004 m² e 205.461 m², respectivamente, sendo maiores que a área necessária para instalação do tratamento com *wetlands*, que requer maiores espaços, classificando as bacias como de alta área disponível.

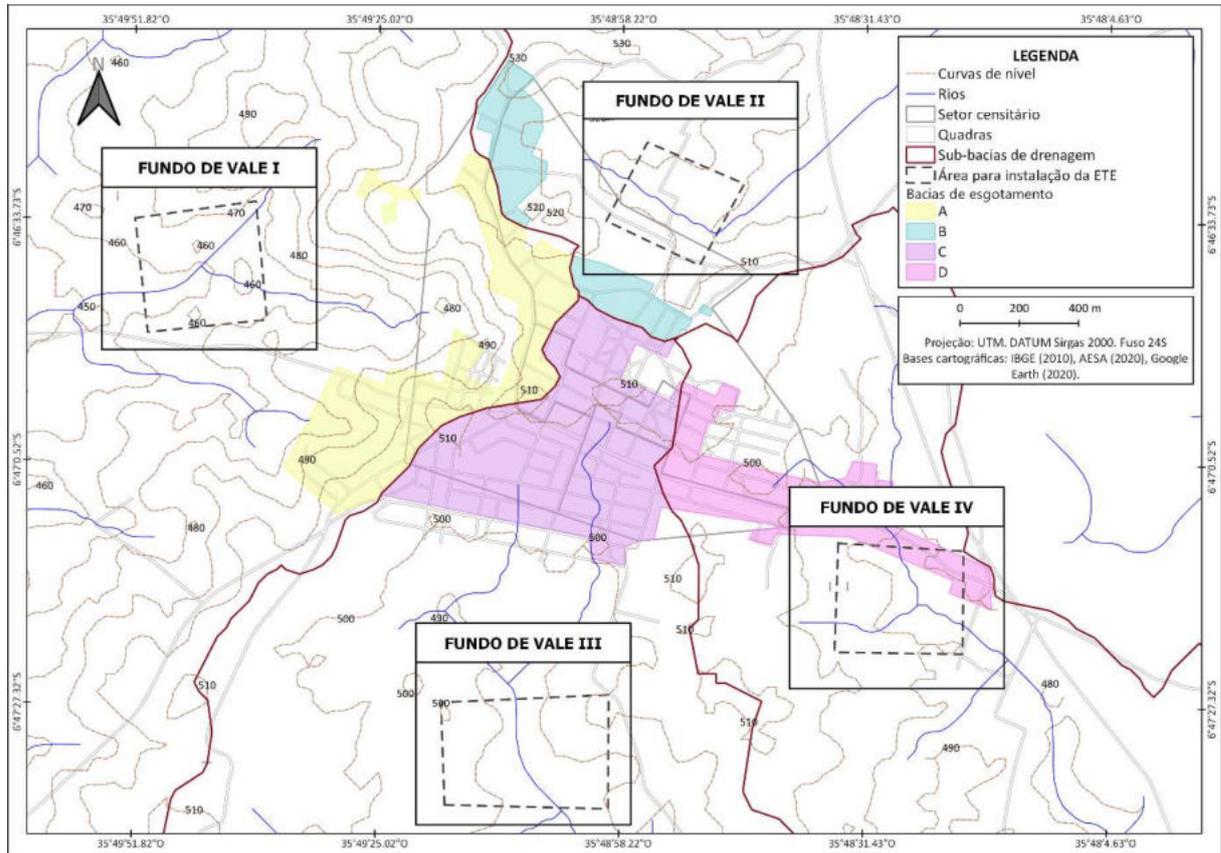
Na bacia B, o fundo de vale possui vegetação rasteira e áreas com atividades agrícolas. Embora esteja localizado próximo à mancha urbana, à menos de 100 m, a urbanização na bacia é baixa, com residências mais dispersas e sem tendência de expansão urbana. Assim, a área disponível para a instalação da ETE (Figura 11) é de 108.656 m², maior que a área necessária para atender qualquer dos tratamentos dimensionados para a bacia, classificando-a como de alta área disponível.

O fundo de vale da bacia D evidencia a existência de cobertura vegetal reduzida, com domicílios e rodovias próximos as margens do rio e a presença de áreas com atividades agrícolas. Está localizado na área urbanizada, no limite municipal, o que corrobora para que a ETE não seja instalada nesse fundo de vale, tendo em vista que a população que habita nas proximidades poderia ser afetada tanto pela emissão de odores e proliferação de vetores provindos tanto da estação, quanto pela possibilidade de contaminação a partir do corpo receptor.

Como o fundo de vale da bacia C apresenta topografia local que favorece o escoamento dos efluentes da bacia D por gravidade, além de possuir área disponível suficiente para atender todos os sistemas de tratamento da bacia, escolheu-se esse fundo de vale para implementação da ETE da bacia D. Dessa maneira, a bacia também é classificada como de alta área disponível.

Vale salientar que se faz necessário o Estudo de Impacto Ambiental para avaliar a adequação das áreas escolhida para a instalação das estações de tratamento descentralizadas, bem como verificar as condições do entorno, o tipo de propriedade, avaliando a necessidade de desapropriação, compra ou aluguel do terreno.

Figura 11: Identificação dos principais fundos de vale, corpos hídricos e área disponível para implantação da ETE das bacias de esgotamento do Distrito Sede de Casserengue



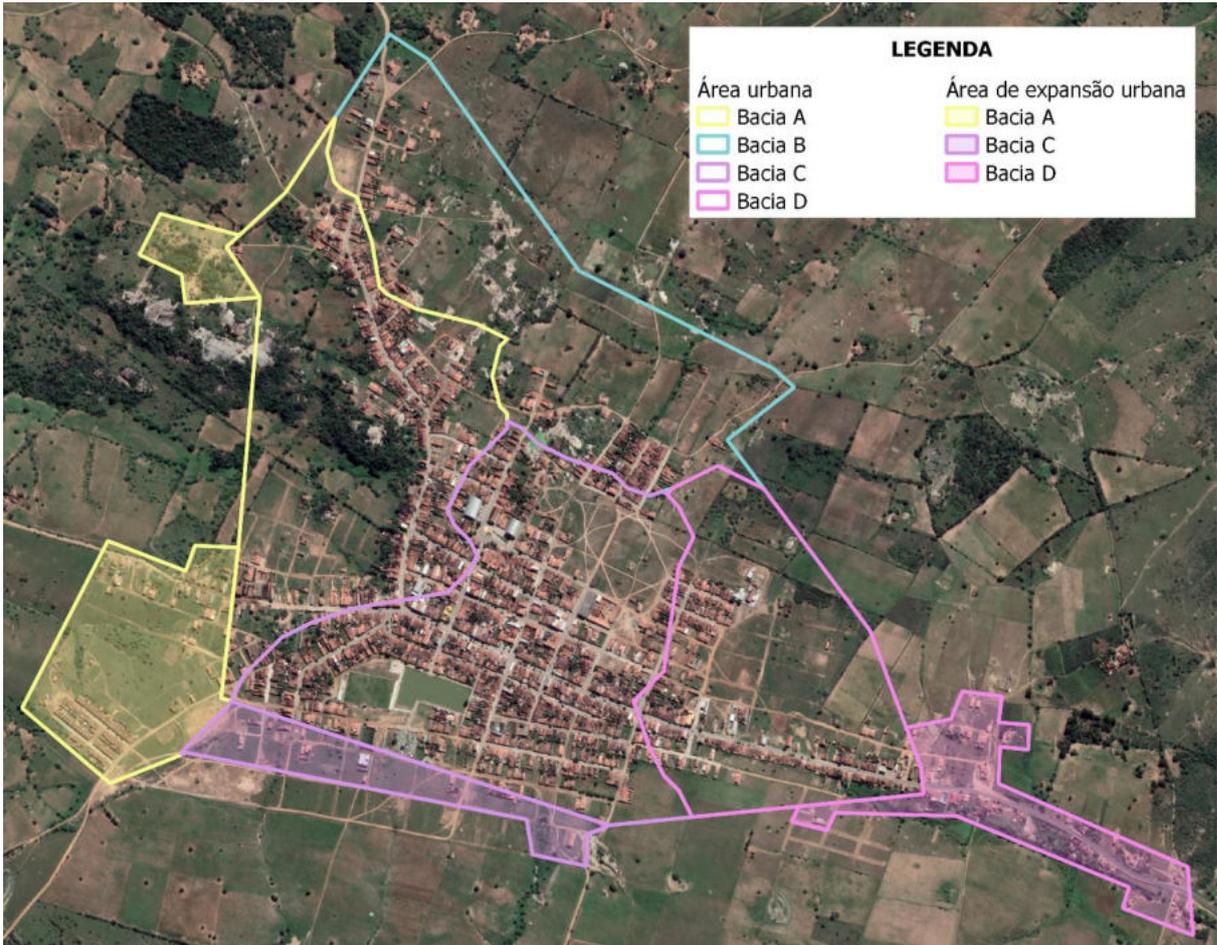
Fonte: A autora (2021).

b) Urbanização

A Figura 12 apresenta a delimitação das áreas urbanas do Distrito Sede associada a cada uma das quatro bacias de esgotamento, em imagens de satélite. Na bacia C, observa-se fortes características de urbanização, com a presença de atividades comerciais e de prestação de serviços, distância reduzida entre os lotes das habitações e menos de 10% de área não habitada. Desse modo, a bacia foi classificada como de alta urbanização. Na bacia B, a maior distância entre os lotes das edificações, presença de algumas áreas com atividades agrícolas e alta presença de áreas verdes e não habitadas - que correspondem a mais de 50% da área - indicam que a bacia possui um caráter de transição rural-urbano, classificando-a como uma bacia de baixa urbanização.

Nas demais bacias, A e D, apesar de serem parcialmente habitadas, a tendência de expansão urbana aliada a presença de novos loteamentos ainda não ocupados indicam a predisposição ao crescimento da população urbana e da área habitada, sendo classificadas como bacias de alta urbanização.

Figura 12: Delimitação das áreas urbanas do Distrito Sede associada as bacias de esgotamento em imagens de satélite



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

c) Uso da água do corpo receptor

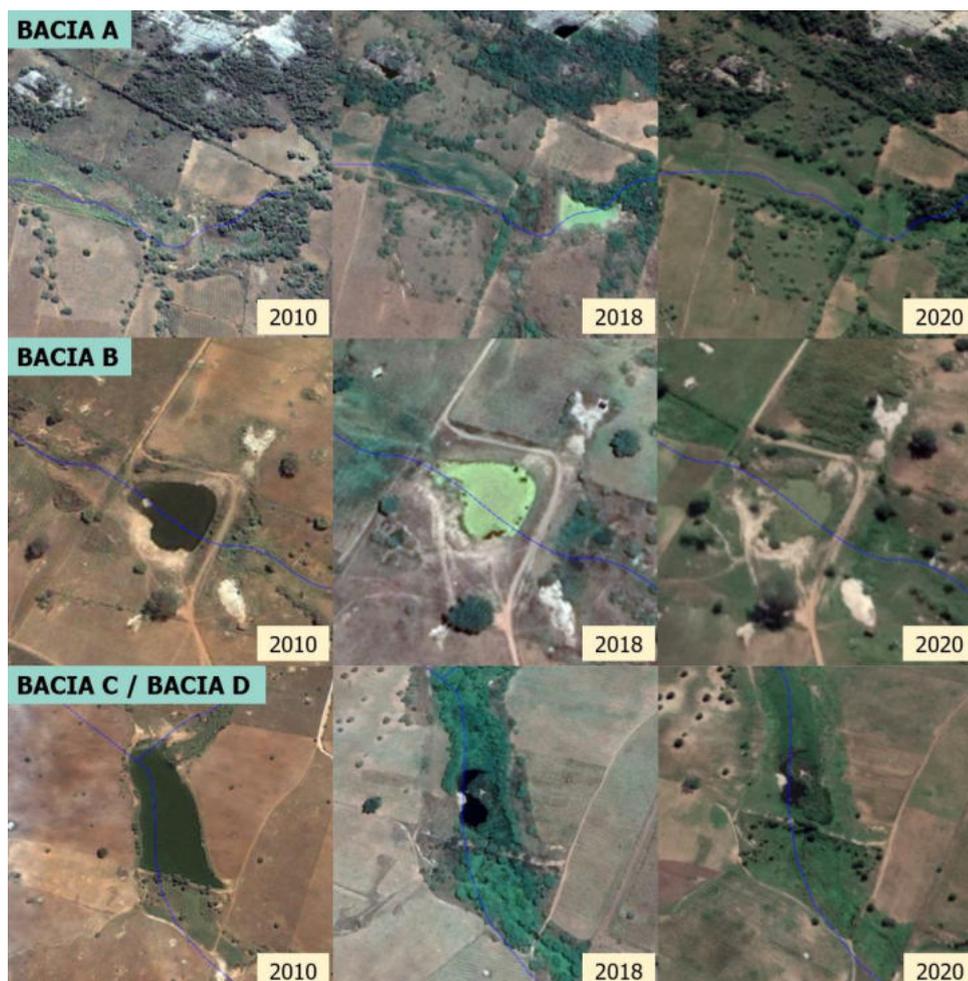
Os corpos receptores dos efluentes das bacias de esgotamento apresentam em suas margens áreas com o desenvolvimento de atividades antrópicas relacionadas à agropecuária, que possivelmente utilizam a água destes rios.

Vale salientar que o rio que recebe as cargas sanitárias da bacia A, desagua em um corpo hídrico secundário que encaminha suas águas ao rio Curimataú, represado no Açude Cacimba da Várzea. Entretanto, o açude não abastece nenhuma localidade devido à problemas relacionados a qualidade de água e por isso a classificação de uso humano não foi considerada para o corpo receptor da bacia. De toda forma, para a execução da ETE, deve ser realizada a avaliação da capacidade de depuração do corpo receptor, a fim de verificar se o efluente tratado afetará a qualidade da água do açude em algum grau.

d) Classificação do corpo receptor quanto a duração do fluxo

A Figura 13 mostra os corpos receptores das bacias de esgotamento a partir de imagens históricas de satélite. Nota-se que todos os rios estudados apresentam água em seu curso em alguns períodos, como no ano de 2018, sendo no restante do tempo secos, contando apenas com a umidade que favorece o desenvolvimento de vegetação que delimita o curso. Assim, nas bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue, os corpos receptores são classificados com intermitentes, em relação a duração de seu fluxo.

Figura 13: Série histórica de imagens de satélite dos corpos receptores das bacias de esgotamento em estudo



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

e) Classificação final das bacias de esgotamento

O Quadro 8 apresenta um resumo com a classificação das bacias de esgotamento estudadas de acordo com os quatro parâmetros de caracterização selecionados. As bacias A, C

e D possuem a mesma classificação, enquanto que a bacia B difere apenas na urbanização, que é dita como baixa.

Quadro 8: Classificação final das bacias de esgotamento estudadas

Parâmetros/Bacias		Bacia A	Bacia B	Bacia C	Bacia D
P1	Área disponível para implantação da ETE	Alta	Alta	Alta	Alta
P2	Urbanização	Alta	Baixa	Alta	Alta
P3	Classificação do corpo receptor quanto a duração do fluxo	Intermitente	Intermitente	Intermitente	Intermitente
P4	Uso da água do corpo receptor	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Agrícola

Fonte: A autora (2021).

5.5.2 Tratamento estatístico e definição de pesos

Durante o período de 19 de abril a 03 de maio, o questionário (Anexo A), foi enviado por e-mail para 31 agentes de decisão que compõem a equipe de elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico de 50 municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, TED 003/2019. Destes, 14 questionários foram respondidos, 45,2% do total, correspondendo a uma participação de 87,5% dos membros da equipe técnica da UFCG e 30,4% dos técnicos municipais selecionados para participar da pesquisa.

Os pesos obtidos de cada um dos agentes de decisão obtidos por meio de questionários são apresentados no Apêndice C. A partir do método da média expurgada (Equação 9), fez-se possível detectar os *outliers*. Nota-se que a maior quantidade de valores atípicos se fez presente nos questionários respondidos pelos técnicos municipais, tendo em vista que não são especialistas na área de saneamento ambiental e tratamento de esgotos. Os pesos finais dos critérios para cada classificação dos parâmetros das bacias, obtidos após a eliminação dos *outliers*, são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Pesos finais dos critérios para cada classificação de bacias de esgotamento

Critérios/Parâmetros	Área disponível		Urbanização		Classificação do rio quanto ao fluxo		Uso da água	
	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Perene	Intermitente	Humano	Agrícola
C1	3,70	3,00	3,58	3,58	2,50	3,78	4,00	3,00
C2	3,64	3,75	3,58	3,64	3,45	3,80	4,00	2,88
C3	4,00	1,58	2,50	3,75	2,67	2,83	2,50	2,50
C4	3,64	3,64	2,71	3,64	3,50	3,91	4,00	2,60
C5	3,00	3,00	3,00	3,00	3,15	3,15	3,80	2,56
C6	3,45	2,86	2,88	3,67	2,75	3,75	4,00	2,10
C7	3,45	2,86	2,89	3,64	2,92	3,62	4,00	2,33

Tabela 9: Pesos finais dos critérios para cada classificação de bacias de esgotamento (continuação)

Critérios/Parâmetros	Área disponível		Urbanização		Classificação do rio quanto ao fluxo		Uso da água	
	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Perene	Intermitente	Humano	Agrícola
C8	3,00	3,00	3,00	3,00	2,71	3,67	3,62	2,40
C9	4,00	3,00	2,56	4,00	3,15	3,75	4,00	3,00
C10	3,75	3,64	2,50	4,00	3,31	3,75	4,00	3,50

Fonte: A autora (2021).

A produção de lodo (C8) possui alta importância na maioria das classificações das bacias, tendo média importância apenas em rios com uso agrícola, em que o lodo poderia ser reutilizado na agricultura, e em rios perenes, em que a maior capacidade de depuração em relação a corpos receptores de fluxo intermitentes, pode ter sido usada como justificativa na atribuição de menores pesos para o critério pelos agentes decisores.

Em relação ao parâmetro P1, para bacias com classificação de baixa área disponível o critério de área requerida (C3) foi considerado muito importante, com peso máximo atribuído, enquanto para uma bacia com alta área disponível o critério apresenta menor peso associado. Em bacias altamente urbanizadas, os critérios de confiabilidade (C4), de eficiência de tratamento (C6 e C7) e sociais (C9 e C10) são ditos em uma faixa de alta a altíssima importância, tendo em vista que em áreas com aglomeração populacional, o volume de esgoto associado é maior e a produção de odores e vetores afeta de maneira mais significativa a população. Em contrapartida, em bacias de baixa urbanização, esses critérios possuem média importância.

Para os parâmetros P3 e P4, nas bacias com corpos receptores classificados com fluxo intermitente e uso humano, os critérios ambientais (C6, C7 e C8) e o critério C4 apresentam importância alta a altíssima. Em rios com fluxo intermitente a capacidade de depuração da matéria orgânica é menor, de modo que uma baixa eficiência no tratamento dos efluentes afeta a qualidade dos recursos hídricos, a vida aquática e possibilita o aumento de DRSAI. Em corpos receptores com uso destinado ao consumo humano, a eficiência do tratamento é exigida a fim de reduzir os riscos sanitários e os custos nas Estações de Tratamentos de Água (ETA).

Assim, a partir da Tabela 9 e conforme a classificação das bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue com os parâmetros selecionados (Quadro 8), os pesos dos critérios podem ser atribuídos, sendo apresentados pela Tabela 10.

Tabela 10: Pesos finais dos critérios para as bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede de Casserengue

Crítérios/Bacias	Bacia A	Bacia B	Bacia C	Bacia D
Custo de implementação (C1)	13,36	13,36	13,36	13,36
Custo de operação e manutenção (C2)	14,06	14,01	14,06	14,06
Área do terreno necessária (C3)	10,67	9,42	10,67	10,67
Confiabilidade (C4)	13,78	12,86	13,78	13,78
Simplicidade de operação e manutenção (C5)	11,71	11,71	11,71	11,71
Eficiência de remoção da matéria orgânica (C6)	12,37	11,58	12,37	12,37
Eficiência de remoção de sólidos suspensos (C7)	12,44	11,69	12,44	12,44
Produção de lodo (C8)	12,07	12,07	12,07	12,07
Odores (C9)	13,75	12,31	13,75	13,75
Vetores (C10)	14,89	13,39	14,89	14,89

Fonte: A autora (2021).

Nas bacias de esgotamento estudadas, a área do terreno necessária possui o menor peso associado, devido à alta disponibilidade de área na região. Mesmo assim, os critérios econômicos apresentam o maior peso associado, correspondendo a 30% do peso total nas bacias. Os critérios ambientais também exprimem alta importância nas bacias, representando 29% do peso total, haja vista que as bacias encaminham os efluentes à corpos receptores intermitentes. O critério “Vetores” é dito o mais importante nas bacias A, C e D, pela alta urbanização associada.

5.6 APLICAÇÃO DO PROMETHEE II

A modelagem de preferência para as bacias de esgotamento estudadas foi desenvolvida no software Visual PROMETHEE 1.4 - *Academic Version*, com base nos valores atribuídos aos critérios para cada tecnologia (Tabela 8) e nos pesos obtidos (Tabela 10). No contexto da escolha de sistemas de tratamento de esgoto, minimizou-se o valor dos critérios C1, C2, C3 e C8, pois a tecnologia será tanto melhor quanto menor for o valor destes, e maximizou-se os demais critérios. A Tabela 11 expõe o ranking das alternativas por bacia de esgotamento e o fluxo líquido $Q(a)$ associado.

Tabela 11: Ranking das alternativas por bacia de esgotamento

Ordem	Bacia A		Bacia B		Bacia C		Bacia D	
	Alternativa	$Q(a)$	Alternativa	$Q(a)$	Alternativa	$Q(a)$	Alternativa	$Q(a)$
1º	A3	0,1295	A2	0,1509	A3	0,1295	A3	0,1295
2º	A2	0,1284	A3	0,1081	A2	0,1284	A2	0,1284
3º	A1	-0,0053	A1	0,0005	A1	-0,0053	A1	-0,0053
4º	A4	-0,2526	A4	-0,2595	A4	-0,2526	A4	-0,2526

Fonte: A autora (2021).

De acordo com o ranking fornecido pelo método multicritério PROMETHEE II foi possível verificar que para a bacia B a alternativa A2 (*wetlands construídos*) foi a melhor colocada, enquanto que nas demais bacias a alternativa A3 (vermifiltro) obteve melhor classificação. Os critérios ambientais, com altos pesos associados, foram decisivos na escolha, tendo em vista que as duas tecnologias possuem as melhores eficiências de remoção de DBO e SS e não produzem lodo. Na bacia B, a melhor colocação das *wetlands* está relacionada a baixa urbanização da área, que reduz a importância dos critérios sociais, elevando o peso do custo de operação e manutenção.

O pior desempenho considerando os critérios avaliados foi apresentado pela alternativa A4 (tanque séptico + filtro anaeróbio). A alta produção de lodo, maior possibilidade de geração de odores e a menor confiabilidade dentre as demais tecnologias, são fatores que implicaram em sua baixa colocação no ranking. Os tanques sépticos (A1), solução de tratamento mais adotada nos municípios paraibanos, ocupa o terceiro lugar do ranking de todas as bacias, pois mesmo apresentando os menores custos, o sistema gera mais odores e propicia uma menor eficiência de tratamento do efluente.

Nota-se que nas bacias A, C e D, o valor do fluxo líquido associado as alternativas A2 e A3 é muito próximo, o que indica uma boa colocação de ambas na seleção do tratamento nas bacias. A alternativa A3 apresenta melhores eficiências no tratamento e menor possibilidade de geração de odores, em comparação com a alternativa A2. Entretanto, a utilização da vermifiltração acarreta maiores custos associados a implementação, operação e manutenção do sistema.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 determina que a remoção mínima de DBO e SS é igual a, no mínimo, 60% e 20%, respectivamente, o que indica que ambas as tecnologias atendem à legislação (BRASIL, 2011). Ademais, considerando uma carga de 250 mg/L de DBO e 200 mg/L de SS no esgoto bruto, a USEPA (1992) aponta que os efluentes tratados pelas alternativas A2 e A3, após desinfecção, poderiam ser utilizados para a irrigação de: culturas

alimentícias processadas comercialmente, pomares, culturas não alimentícias, pastagens para rebanhos de leite, cereais, fibras e grãos. O reúso agrícola dos efluentes em áreas agrícolas próximas a zona urbana do Distrito Sede de Casserengue, garante o aumento da oferta de água para outras atividades, reciclagem dos nutrientes e reduz o lançamento de esgoto tratado nos corpos hídricos.

Assim, cabe ao decisor avaliar em campo o volume de esgoto destinado ao reúso agrícola, a capacidade de depuração do corpo receptor e a distância dos aglomerados urbanos em relação ao local de instalação do sistema, a fim de verificar se o custo mais alto associado a alternativa A3 compensa sua escolha, ou se a utilização de *wetlands* construídos nessas áreas seria suficiente para não afetar os moradores com odores e garantir o atendimento as eficiências de tratamento desejadas para o sistema.

5.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os limites inferiores e superiores entre os quais podem ocorrer alterações dos pesos dos critérios sem alterar a classificação da melhor alternativa e o ranking geral para cada bacia de esgotamento encontram-se na Tabela 12. Em geral, nota-se que os intervalos de estabilidade para classificação da melhor alternativa são bem maiores, o que indica a robustez do método para esse objetivo. Em média, os pesos dos critérios nas bacias podem variar de 2,90 a 52,71 para a bacia B e 4,87 a 84,24 para as demais, sem que haja mudanças na primeira colocada.

Ainda assim, os intervalos de estabilidade para o ranqueamento geral das alternativas são extensos – variando, em média, de 4,23 a 40,59 para a bacia B e de 5,02 a 56,45 – mostrando que o modelo também é robusto para comparação da colocação entre as alternativas. Percebe-se que os critérios com menores intervalos como o de “Custos de implementação”, “Custo de operação e manutenção” e “Simplicidade de operação e manutenção” são mais sensíveis à alteração de seus pesos, ao passo que os critérios de “Confiabilidade” e “Produção de lodo” podem ser alterados sem que haja alteração na melhor alternativa ou no ranking geral.

Na aplicação do modelo, as tecnologias A2 e A3 lideram os rankings para a maioria dos critérios. Entretanto, para os critérios de “Custos de implementação” e “Custo de operação e manutenção” os fossões apresentam colocação mais altas para valores superiores ao limite máximo dos intervalos de estabilidade, enquanto que a alternativa A4 assume melhores colocações quando os limites superiores estabelecidos na Tabela 12 para o critério “Vetores” são ultrapassados.

Tabela 12: Limites inferiores e superiores do intervalo de estabilidade

Critério	Intervalos de estabilidade para classificação da melhor alternativa			
	Bacia A	Bacia B	Bacia C	Bacia D
Custo de implementação	0-13,45	9,74-33,85	0-13,45	0-13,45
Custo de operação e manutenção	0-14,15	10,42-34,04	0-14,15	0-14,15
Área do terreno necessária	10,61-129,10	0-11,79	10,61-129,10	10,61-129,10
Confiabilidade	0-129,10	0-122,39	0-129,10	0-129,10
Simplicidade de operação e manutenção	0-11,79	8,79-122,39	0-11,79	0-11,79
Eficiência de remoção da matéria orgânica	12,19-129,10	0-18,27	12,19-129,10	12,19-129,10
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	12,25-129,10	0-18,36	12,25-129,10	12,25-129,10
Produção de lodo	0-129,10	0-122,39	0-129,10	0-129,10
Odores	13,66-129,10	0-15,74	13,66-129,10	13,66-129,10
Vetores	0-28,36	0-27,92	0-28,36	0-28,36

Critério	Intervalos de estabilidade para o ranking geral			
	Bacia A	Bacia B	Bacia C	Bacia D
Custo de implementação	0-13,45	9,74-18,92	0-13,45	0-13,45
Custo de operação e manutenção	0-14,15	10,41-19,55	0-14,15	0-14,15
Área do terreno necessária	10,61-21,47	0-11,79	10,61-21,47	10,61-21,47
Confiabilidade	0-129,10	0-122,39	0-129,10	0-129,10
Simplicidade de operação e manutenção	1,47-11,79	8,79-34,54	1,47-11,79	1,47-11,79
Eficiência de remoção da matéria orgânica	12,19-43,95	5,28-18,27	12,19-43,95	12,19-43,95
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	12,25-44,00	5,39-18,36	12,25-44,00	12,25-44,00
Produção de lodo	0-129,10	0-122,39	0-129,10	0-129,10
Odores	13,66-129,10	2,64-15,74	13,66-129,10	13,66-129,10
Vetores	0-28,36	0-23,98	0-28,36	0-28,36

Fonte: A autora (2021).

5.8 COMPARAÇÃO DA MELHOR TECNOLOGIA ALTERNATIVA DEFINIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO

De acordo com o IBGE (2008), as lagoas facultativas e as lagoas anaeróbias, atendem a cerca de 4,9% e 4,5% dos municípios com tratamento de esgoto, respectivamente, representando o sistema convencional mais adotado no estado da Paraíba. A associação entre a lagoa anaeróbia e a lagoa facultativa é conhecida como sistema australiano, sendo bastante difundido no estado por apresentar melhor eficiência em climas quentes e por ser conceitualmente simples e fácil de operar, conforme Von Sperling (2014).

Conforme os critérios estabelecidos no Tópico 5.4.1, utilizou-se as funções apresentadas em Von Sperling (2007) para o sistema Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa a fim de estimar os valores associados, analogamente ao que foi feito no cálculo dos indicadores das quatro alternativas de tratamento estudadas no modelo. Sabendo que a população total da zona urbana

do Distrito Sede de Casserengue é de 3.393 habitantes, pode-se apresentar os resultados do cálculo dos indicadores na Tabela 13.

Tabela 13: Funções e valores calculados dos critérios para o sistema convencional de tratamento (Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa)

Critério	Função original	Função adaptada	Valor calculado
C1	69,11-172,78 R\$/hab	120,94 R\$/hab	410.349,42 R\$
C2	4,61-8,64 R\$/hab.ano	6,62 R\$/hab.ano	22.461,66 R\$/ano
C3	1,2-3,0 m ² /hab	2,1 m ² /hab	7.125,3 m ²
C4	Média (++++)	4 pts	4 pts
C5	Alta (+++++)	5 pts	5 pts
C6	75-85% DBO	80% DBO	80% DBO
C7	70-80% SS	75% SS	75% SS
C8	0,05-0,16 m ³ /hab.ano	0,11 m ³ /hab.ano	373,23 m ³ /ano
C9	Baixo (+)	1 pt	1 pt
C10	Médio (++)	2 pts	2 pts

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

De acordo com o ranking fornecido pelo PROMETHEE II, percebe-se que as tecnologias com melhores colocações nas bacias, *wetlands* construídos (A2) e vermifiltros (A3), apresentaram melhores resultados para os fatores ambientais e sociais, considerados como de alta importância para os agentes decisores conforme a classificação das bacias. O sistema de lagoas, por sua vez, possui grande possibilidade de geração de maus odores, critério com maior peso nas bacias A, C e D, tendo em vista que é uma unidade aberta que contribui para o desprendimento de metano, sendo recomendada sua instalação a uma distância de pelo menos 500 m de áreas urbanizadas de acordo com Von Sperling (2014).

Ademais, para o sistema lagoa anaeróbia + lagoa facultativa, a eficiência média de remoção de matéria orgânica e sólidos solúveis é menor que a fornecida pelas alternativas A2 e A3, não fornecendo qualidade do efluente final suficiente para reuso agrícola, conforme a USEPA (1992). A menor eficiência de tratamento e a geração do lodo como subproduto do processo corresponde a uma desvantagem em relação as tecnologias selecionadas pelo PROMETHEE II, partindo do pressuposto que os corpos receptores das bacias estudadas possuem fluxo intermitente.

Em relação aos critérios econômicos, considerando a alternativa com melhor colocação em cada bacia, o custo total associado a implementação do sistema descentralizado na zona urbana do Distrito Sede de Casserengue seria de R\$995.074,01 e o custo relacionado a operação e manutenção seria igual a R\$87.534,76. As quantias correspondem, respectivamente, a

aproximadamente ao dobro do valor do critério C1 e ao quádruplo do valor do critério C2 para o sistema convencional australiano. Entretanto, levando em conta a similaridade da colocação entre a alternativa A2 e A3 nas bacias A, C e D, se for utilizado o sistema de *wetlands* construídos em todas as bacias, o valor associado aos critérios C1 e C2 cai para R\$508.118,15 e R\$25.405,91, respectivamente, gerando custos similares ao sistema de lagoas.

Os indicadores de “Confiabilidade”, “Simplicidade de operação e manutenção” e “Vetores” são próximos entre os sistemas alternativos descentralizados e o sistema convencional de lagoas. Mesmo não apresentando grande importância nas bacias estudadas, a área do terreno necessária para a implantação de um sistema de lagoas na zona urbana do Distrito Sede do município é cerca de 3440% maior do que a área requerida total das alternativas com melhor colocação nas bacias e 602% superior a área requerida para o sistema descentralizado de *wetlands* adotado em todas as bacias de esgotamento.

6. CONCLUSÕES

A caracterização do sistema de esgotamento sanitário de Casserengue mostra que a ausência de tratamento dos efluentes coletados, o uso recorrente de fossas rudimentares e o baixo poder econômico refletem diretamente na saúde coletiva, com altas taxas de internações por diarreia no município, evidenciando a necessidade de buscar soluções de tratamento de efluentes adaptadas as condições locais.

No dimensionamento das tecnologias de tratamento para as quatro bacias de esgotamento da zona urbana do Distrito Sede do município notou-se que a bacia A, por possuir maior população, demanda maiores áreas para os sistemas. Ademais, a alternativa de *wetlands* construídos (A2) requer maiores áreas, enquanto o tratamento com vermifiltros (A3) apresentou menor demanda de espaço.

As bacias de esgotamento estudadas foram classificadas, em sua maioria, como de alta taxa de urbanização, alta área disponível e apresentando corpos receptores de fluxo interminente com águas destinadas ao uso agrícola. Dessa maneira, os pesos finais indicaram uma priorização dos decisores não só em relação aos critérios econômicos, mas também aos critérios ambientais trazendo à tona o conceito de sustentabilidade, que foi decisivo na avaliação das tecnologias de tratamento de efluentes sanitários.

Com a aplicação do PROMETHEE II, os resultados mostraram que a tecnologia *wetlands* construídos (A2) foi a alternativa com melhor aplicação para a bacia B e o vermifiltro (A3) ocupou o primeiro lugar no ranking das demais bacias, de modo que apresentam as maiores eficiências de remoção de DBO e SS e não geram lodo. A baixa urbanização da bacia B, favorece o critério “Custo de operação e manutenção” em detrimento dos critérios sociais, tornando a alternativa A2 a primeira colocada. Nas bacias A, C e D, a similaridade na colocação das alternativas A2 a A3, reforçam a necessidade de estudos em campo, a fim de selecionar a tecnologia que atenda aos requisitos sociais e de qualidade final do efluente sem comprometer os recursos financeiros do município.

O sistema de tanque séptico + filtro anaeróbio obteve a pior colocação em todas as bacias, tendo em vista as altas taxas de geração de lodo, menores eficiências de tratamento em comparação com os melhores colocados, além de apresentar o segundo maior custo. Os fossões, solução mais utilizada nos municípios da Paraíba, manteve-se na terceira colocação em todas as bacias.

Ao comparar as alternativas A2 e A3 com o sistema australiano de lagoas, nota-se a superioridade das soluções alternativas em relação aos critérios sociais e ambientais, priorizados no processo. Utilizando o sistema de *wetlands* construídos para todas as bacias de esgotamento, o custo associado é similar ao sistema lagoa anaeróbia + lagoa facultativa.

O trabalho desenvolvido demonstrou-se possível de ser replicado em quaisquer bacias de esgotamento de municípios de pequeno porte, tendo em vista que os agentes de decisão atribuíram preferência aos critérios a partir de diferentes classificações dos parâmetros de caracterização das bacias. Além disso, os intervalos de estabilidade determinados com a análise de sensibilidade para o ranqueamento geral e a classificação da melhor alternativa por bacia, garantem a robustez do método.

Deste modo, com a aplicação deste modelo de seleção pode-se promover a melhoria na qualidade dos processos de tratamento através da otimização da tomada de decisão por parte dos gestores e pessoas diretamente ou indiretamente envolvidas nas etapas de planejamento do sistema de tratamento de esgoto para um município, propiciando melhor uso dos recursos, ampliando a capacidade de investimentos, de forma a contribuir para redução da pobreza e melhoria da saúde e qualidade do meio ambiente.

6.1 RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados apresentados neste estudo é sugerido para trabalhos futuros:

- Utilizar uma maior quantidade de parâmetros para a caracterização das bacias, podendo incluir: volume de esgoto a ser tratado, disponibilidade e grau de instrução da equipe operacional responsável pelo sistema, características de relevo, solo e clima;
- Adicionar na seleção outras tecnologias de tratamento de esgoto aplicáveis à municípios de pequeno porte;
- Adicionar critérios sociais e ambientais recorrentes, como: aceitação pública, possibilidade de reuso do efluente tratado e ganhos financeiros com a produção de biogás;
- Aplicar o modelo em outros municípios de pequeno porte do estado da Paraíba e de outros estados com características similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997a.
- _____. **NBR 7.229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1997b.
- ABOU-ELELA, S. I.; HELLAL, M. S. **Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus**. *Ecological Engineering*, v. 47, p. 209-213, 2012.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Série histórica de 20 anos de precipitação**. 2020a. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- _____. **Arquivos Shapefile do Estado da Paraíba**. 2020b. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- ALBUQUERQUE, G. R. **Elaboração de um modelo de valoração quantitativa das garantias para o setor de saneamento com utilização de Simulação de Monte Carlo: o caso da PPP de Esgoto para a Região Metropolitana do Recife e Município de Goiana**. Dissertação de Mestrado em Finanças e Economia Empresarial. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2014.
- ALMEIDA, H. V. D. **Ambiente institucional-normativo de acesso aos recursos públicos do saneamento básico: Estudo das limitações a partir de pleitos do PAC Funasa para esgotamento sanitário na Bahia**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2016.
- ALVES, F. V. **Seleção de sítio e tecnologia para estação de tratamento de esgoto por meio de SIG e métodos multicriteriais - Estudo de caso: Paulínia, SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.
- ANA. Agência Nacional de Água. **Séries históricas de estações pluviométricas**. 2020. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 21 nov. 2020.
- _____. **Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal de Casserengue: Atlas Esgoto – Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 1 ed. Brasília: ANA, 2017.
- _____. **Shape de disponibilidade Hídrica Superficial (BHO 2013)**. 2013. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c75f8eb-f5c7-4643-9f91-5bf86a09fb63>>. Acesso em: 18 de abril de 2021.
- _____. **Sistema integrado Canafístula II (Croqui)**. 2009. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/VerCroqui.aspx?arq=1452>>. Acesso em: 03 dez. 2020.
- ARORA, S.; RAJPAL, A.; BHARGAVA, R.; PRUTHI, V.; BHATIA, A.; KAZMI, A. A. **Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system**. *Bioresource Technology*, v. 166, p. 132-141, 2014.
- ASSIS, A. G. **O saneamento básico na perspectiva de diferentes modelos de gestão: Uma análise comparativa em municípios de pequeno porte no estado da Paraíba**. Dissertação

de Mestrado em Gestão Pública e Cooperação Internacional. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2018.

BENETTI, A. B. **Método para concepção de soluções de saneamento integrado para revalorização de áreas fragilizadas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015.

BRANS, J. P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method**. European Journal of Operational Research, North-Holland, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRASIL. **Decreto nº 7.217/2007 de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Brasília, 2010.

_____. **Instrução Normativa nº 26, de 10 de julho de 2017**. Altera a Instrução Normativa nº 39, de 24 de outubro de 2012, que regulamenta os procedimentos e as disposições relativos às operações de crédito no âmbito do Programa Saneamento para Todos – Mutuários Públicos. Brasília, 2017.

_____. **Lei Federal nº 11.445/2007 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília, 2007.

_____. **Lei Federal nº 14.026/2020 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e dá outras providências. Brasília, 2020a.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção**. 1 ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018a.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CatloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento – gestão de efluentes domésticos**. 1 ed. Campo Grande: UFMS, 2018b.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4 ed. Brasília: FUNASA, 2015.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de orientações para municípios de pequeno porte referente à celebração de convênios de cooperação e contratos de programa**. 1 ed. Brasília: Funasa, 2020b.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério das Cidades, 2013.

_____. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019.

_____. **Portaria Interministerial nº 01/2005 de 09 de março de 2005**. Aprova o relatório final do Grupo de Trabalho Interministerial, instituído pela Portaria nº 6, de 29 de março de 2004. Brasília, 2005.

_____. **Resolução CONAMA nº 377, de 9 de outubro de 2006**. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Brasília, 2006.

_____. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2011.

CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A. **Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos.** *Engevista*, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2017.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos de saneamento.** Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2011.

CARNEIRO, M. A. **Sistemas individuais alternativos de tratamento de esgoto sanitário.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Tecnologias para tratamento de esgotos sanitários.** São Paulo: CETESB, 1988.

COELHO, C. F.; REINHARDT, H.; ARAÚJO, J. C. **Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil.** *Revista Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 801-810, 2018.

COSTA, N. S. **Política pública, ambiente e qualidade de vida: Revisitando o Planasa.** *Revista Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 31-39, 1991.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: Diagnóstico do Município de Casserengue.** Recife: CPRM, 2005.

DANTAS, G. H. G. ; AISSE, M. M. ; GARCIA, C. M. **Metodologia para a escolha de sistemas de tratamento de esgoto doméstico para comunidades nucleadas pelo exército brasileiro.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2003, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: ABES, 2003.

DECEZARO, S. T. **Sistema de tanque séptico e wetland construída vertical com recirculação para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de esgoto doméstico.** Tese de doutorado em Engenharia Civil. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ª ed. Brasília: EMBRAPA, 2006.

_____. **Súmula da 10ª Reunião técnica de levantamento de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979. 83p.

ERCOLE, L. A. S. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

FERREIRA, T. V. G.; OLIVEIRA, L. H. **Sistema descentralizado individual de água não potável: A necessidade da gestão da qualidade e da quantidade.** *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 379-392, 2018.

FGV. **Índice Nacional de Custo da Construção.** 2020. Disponível em: <<https://sindusconpr.com.br/incc-di-fgv-310-p>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas.** Tese de doutorado em Engenharia Civil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2019.

FIGUEIREDO, I. C. S.; SANTOS, B. S. C.; TONETTI, A. L. **Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras**. Campinas: UNICAMP, 2018.

FRANSCISO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. **Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental**. Ciência Florestal, v. 18, n. 1, p.1-13, 2008.

FRIGO, F. ; SALVADOR, N. N. B. **Alternativas sustentáveis para o esgotamento sanitário de residências e de pequenos assentamentos rurais**. In: Simpósio sobre Reforma Agrária e Questões Rurais, 7., 2016, Araraquara. *Anais...* Araraquara: UNIARA, 2016.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Termo de Execução Descentralizada nº003/2019**. Brasília: FUNASA, 2019. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/termos-de-execucao-descentralizada-ted>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

GODOY, L. C. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2013.

GOFFI, A. S. **Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

GOMES, B. G. L. A. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2015.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 4 ed. Editora Atlas: São Paulo. 2012.

GOOGLE EARTH. **Imagens de satélite do município de Casserengue**. 2020. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 05 mar. 2021.

HAMPE, R. F. **O desafio de pequenos municípios constituírem projetos de implantação de esgotos sanitários: Estudo de caso do município Liberato Salzano**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

HUNT, C. C. **Modelo multicritério de apoio à decisão aplicado à seleção de sistema de tratamento de esgoto para pequenos municípios**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados de biomas brasileiros**. 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 06 out. de 2020.

_____. **Censo demográfico de 2000: características da população e dos domicílios - resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

_____. **Censo demográfico: 1970**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.

_____. **Regiões Geográficas do Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/15778-divisoes-regionais-do-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

_____. **Internações por diarreia**. 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/898>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

_____. **Malha de Setores Censitários 2020**. 2020a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565->

malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?edicao=30113&t=saiba-mais-edicao>. Acesso em: 11 de abr. 2021.

_____. **Panorama do município de Casserengue – PB**. 2020b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/casserengue/panorama>>. Acesso em: 23 nov. de 2020.

_____. **Pesquisa Nacional por amostras de domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 1985.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: Número de municípios, total e os com tratamento de esgoto sanitário, por tipo de sistema de tratamento**. 2008. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1300>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

_____. **Shapefiles da Malha Municipal do Estado da Paraíba**. 2019b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

_____. **Sinopse do Censo Demográfico: 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IPC-IG. Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo. **Atlas da Extrema Pobreza no Norte e Nordeste do Brasil em 2010**. Brasília: IPC-IG, 2015.

JÉSSICA, M.; BEZERRA, B.; LOPES, A. A.; SILVA, J. C. C.; JÚNIOR, A. O. S. B. **Saneamento ambiental: implantação de tecnologia ambiental de baixo custo em uma comunidade rural**. In: Workshop Internacional sobre água no Semiárido Brasileiro, 2., 2015, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Editora Realize, 2015.

JUNIOR, H. **Sistema de tratamento de esgoto descentralizado por zonas de raízes, uma proposta para implantação para pousada na Ilha do Mel - PR**. Monografia de especialização em Construções Sustentáveis. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. **Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach**. *J. Environ. Manage.*, v. 113, p. 158–169, 2012.

_____. **The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach**. *J. Environ. Manage.* v. 128, p. 844–851, 2013.

KUMAR, T.; RAJPAL, A.; BHARGAVA, R.; PRASAD, K. S. H. **Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material**. *Ecological Engineering*, v. 62, p. 77-82. 2014.

LEONETTI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI**. *Revista de Administração Pública*, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.

LIU, J.; LU, Z.; ZHANG, J.; XING, M.; YANG, J. **Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage**. *Ecological Engineering*, v. 61, p. 100-109, 2013.

LOFTI, P. C. S. **Avaliação preliminar da eficiência de fossas digestoras no tratamento de esgoto unidomiciliar - Assentamentos Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP)**. Monografia – Curso de Engenharia Ambiental. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2016.

MADRID, F. J. P. L.; SCHNEIDER, J.; MARQUES, M. M. S.; PARIZOTTO, M. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L. **Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto** *Revista DAE*, v. 67, n. 220, São Paulo, 2019.

- MARGARIDO, N. T.; NAVEGA, P. P. B.; PHILIPPON, V. J. **Estudo de concepção de sistema de esgoto sanitário para o município de Gavião Peixoto e proposta de alternativas para gestão dos subprodutos**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo: Escola Politécnica de Universidade de São Paulo, 2012.
- MARTINETTI, T. H. **Análise das estratégias, condições e obstáculos para implantação de técnicas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais: caso assentamento rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul – SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009.
- MARTINETTI, T. H.; TEIXEIRA, B. A. N.; SHIMBO, I. **Pesquisa-ação participativa para execução de um sistema de tratamento local de efluentes sanitários residenciais sustentável: caso do assentamento rural Sepé-Tiaraju**. *Ambiente Construído*, v. 9, n. 3, p. 43-55, 2009.
- MENDONÇA, A. A. J. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida**. Dissertação de Mestrado em Saúde Pública. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução de Ivanildo Hespagnol e José Carlos Mierzwa. 5 ed. [s. l.]: AMGH Editora LTDA, 2016.
- MIKOWSKI, A. A. B.; TAKEUCHI, C. M. **Sistema informatizado para dimensionamento de unidades de tratamento de esgoto**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Produção Civil. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.
- MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; CABALLERO, R.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. **Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach**. *Sci. Total Environ.*, v. 532, p. 676–687, 2015.
- MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; GARRIDO, B. M.; CABALLERO, R.; SALAGARRIDO, R. **Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach**. *Sci. Total Environ.*, v. 497-498, p. 607–17, 2014.
- MONTEIRO, C. A. F. **O Clima e a organização do espaço no Estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP (Série Teses e Monografias – 28), 1976.
- MUTTI, P. R. **Avaliação dos princípios da adoção de sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto ou unitário em áreas urbanas de clima tropical**. Projeto de Graduação – Curso de Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- NETTO, A. P. O.; GUERRA, L. R. M.; SILVA, M. R. P.; SILVA, R. F. **Biorremediação vegetal do esgoto domiciliar: o caso da fossa verde em comunidades rurais do Alto Sertão Alagoano**. *Revista Produção e Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 103-113, 2015.
- NIE, E.; WANG, D.; YANG, M.; LUO, X.; FANG, C.; YANG, X.; SU, D.; ZHOU, L.; ZHENG, Z. **Tower bio-vermifilter system for rural wastewater treatment: bench-scale, pilot-scale, and engineering applications**. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 12, p. 1053-1064, 2014.
- NUNES, V. R. S. **O setor de saneamento básico no Brasil: Desafios e perspectivas**. Projeto de Graduação – Curso de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

OLIVEIRA, L. **Sistema de esgotamento sanitário: Proposta de solução para o sistema de esgoto sanitário no bairro Flora em Três Corações**. Trabalho acadêmico – Curso de Engenharia Civil. Varginha: Centro Universitário do Sul de Minas, 2015.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. Tese de Doutorado em Administração. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004.b

PAES, W. M. **Técnicas de permacultura como tecnologias socioambientais para a melhoria na qualidade da vida em comunidades da Paraíba**. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2014.

PAIVA, M. A. **Avaliação do impacto da água de chuva na vazão afluyente à ETE Norte na cidade de Palmas (TO)**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil. Palmas: Centro Universitário Luterano de Palmas, 2017.

PARAÍBA. **Lei Estadual nº 9.260/2010 de 26 de novembro de 2010**. Institui e estabelece os princípios e diretrizes da política estadual de saneamento básico, autoriza a disciplina a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, estabelece os direitos e deveres dos usuários dos serviços de saneamento básico e dos seus prestadores, e dá outras providências. João Pessoa, 2010.

PIAGGE, N. R. D.; MARQUES, R. E.; TREVE, A.; ALEXANDRE, B. T.; GUAGLIANONI, L. G. **Estimativa de custos para implantação de wetlands construídos em pequenos municípios e comunidades**. Revista ReLoga, Araraquara, v. 1, n. 1, p. 16-28, 2019.

PIRES, F. M. B. **Sistema de esgotamento sanitário estudo de caso: Maré**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

RADESCA, F. D. **Uso de sistemas unitários de esgoto e drenagem como estratégia alternativa e escalonada no tempo para o saneamento ambiental**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

REAMI, L. **Aplicação de métodos multicriteriais de apoio à tomada de decisão para escolha de tecnologia de tratamento de esgoto: Estudo de caso de Restinga SP**. Tese de doutorado em Engenharia Civil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

REFSGAARD, K. **Process-guided multicriteria analysis in wastewater planning**. Environ. Plan. C Gov. Policy, v. 24, p. 191–213, 2006.

RESENDE, R. G.; FERREIRA, S.; FERNANDES, L. F. R. **O saneamento rural no contexto brasileiro**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p. 131-149, 2018.

REZENDE, S. C. **Panorama do saneamento básico no Brasil: Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil**. v. 7. Brasília: Ministério das Cidades, 2011.

SAIANI, C. C. S.; JÚNIOR, R. T. **Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004)**. Revista Economia e Sociedade, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-106, 2010.

SAMUEL, P. R. S. **Alternativas sustentáveis de tratamento de esgotos sanitários urbanos, através de sistemas descentralizados, para municípios de pequeno porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

- SARTORI, Marcia Aparecida. **Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- SILVA, M. R. P.; NETTO, A. O. **A utilização de fossas verdes para o saneamento básico e desenvolvimento sustentável no Nordeste**. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 6., 2014, Sergipe. *Anais...* Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, 2014.
- SILVA, V. B. S.; SCHRAMM, F.; CARVALHO, H. R. C. **O uso do método PROMETHEE para seleção de candidatos à bolsa de formação do Pronatec**. *Production*, v. 24, n. 3, p. 548-558, 2014.
- SINHA, R. K.; BHARAMBE, G.; CHAUDHARI, U. **Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization**. *The Environmentalist*. v. 28, p. 409-420, 2008.
- TAN, R. R.; AVISO, K. B.; HUELGAS, A. P.; PROMENTILLA, M. A. B. **Fuzzy AHP approach to selection problems in process engineering involving quantitative and qualitative aspects**. *Process Safety and Environmental Protection*. v. 92, p. 467-475, 2014.
- TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; GUIMARÃES, J. R.; CRUZ, L. M. O.; NAKAMURA, M. S. **Avaliação da partida e operação de filtro anaeróbios tendo bambu como material de recheio**. *Engenharia Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2011.
- TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de soluções**. 1 ed. Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018.
- TOPODATA. **Modelo digital de elevação (MDE)**. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- TRATA BRASIL. Instituto Trata Brasil. **Dados sobre Esgoto**. 2020. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- _____. **Ranking do saneamento - Instituto Trata Brasil 2018**. São Paulo: TRATA BRASIL, 2018.
- TSUTIYA, M.; SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
- USEPA. United States Environment Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse**. Washington: USEPA, 1992.
- VERA, I.; GARCÍA, J.; SÁEZC, K.; MORAGAS, L.; VIDAL, G. **Performance evaluation of eight years experience of constructed wetland systems in Catalonia as alternative treatment for small communities**. *Ecological Engineering*, v. 37, p. 364-371, 2011.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.
- _____. **Wastewater characteristics treatment and disposal**. 1. ed. v. 1. Lodon: IWA Publishing, 2007.
- XIA, R.; PENG, Y.; ZHONG, S.; TU, L.; XIE, Y.; ZHANG, L. **Performance of the Iron-Caron Coupling Constructed Wetland for Rural Sewage Treatment**. In:

INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2016, Sanya. *Anais...* Sanya: IOP, v. 51, p. 9-11, 2016.

XING, M.; LI, X.; YANG, J. **Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity.** African Journal of Biotechnology. v. 9, n. 44, p. 7513-7520, 2010.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: *wetlands*-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** Tese de doutorado em Engenharia Civil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

ZINATO, T. M. C.; GUIMARÃES, M. M. **Estudo sobre a utilização de “wetlands” construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil.** In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 8., 2017, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Obtenção da população residente em cada sub-bacia de esgotamento sanitário por setores censitários do IBGE (2011).

Tabela A.1: Estimativa populacional por sub-bacia de esgotamento a partir dos setores censitários do IBGE (2011)

SUB-BACIA D1 (BACIA DE ESGOTAMENTO A)					
Geocódigo	Área do setor na bacia (km ²)	% de área do setor na bacia	Nº de domicílios IBGE	Taxa de habitantes por domicílio	População
250415705000002	0,29	63%	186	3,38	627
250415705000003	0,02	24%	39	3,47	135
250415705000010	0,06	9%	23	3,57	81
TOTAL	0,37	-	247	3,41	844
SUB-BACIA D2 (BACIA DE ESGOTAMENTO B)					
Geocódigo	Área do setor na bacia (m ²)	% de área do setor na bacia	Nº de domicílios IBGE	Taxa de habitantes por domicílio	População
250415705000002	0,03	6%	18	3,38	62
250415705000010	0,31	47%	116	3,57	416
TOTAL	0,34	-	135	3,54	478
SUB-BACIA D3 (BACIA DE ESGOTAMENTO C)					
Geocódigo	Área do setor na bacia (m ²)	% de área do setor na bacia	Nº de domicílios IBGE	Taxa de habitantes por domicílio	População
250415705000001	0,12	66%	195	3,46	674
250415705000002	0,14	31%	90	3,38	305
250415705000003	0,07	73%	120	3,47	415
250415705000010	0,09	14%	34	3,57	121
TOTAL	0,30	-	244	3,45	841
SUB-BACIA D4 (BACIA DE ESGOTAMENTO D)					
Geocódigo	Área do setor na bacia (m ²)	% de área do setor na bacia	Nº de domicílios IBGE	Taxa de habitantes por domicílio	População
250415705000001	0,06	34%	102	3,46	353
250415705000003	0,003	3%	5	3,47	19
250415705000010	0,20	30%	76	3,57	271
TOTAL	0,263	-	183	3,51	643

Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

APÊNDICE B: Funções selecionadas na literatura para estimar os valores dos critérios por alternativas de tratamento

Tabela B.1: Funções para cálculo dos critérios

Alternativa de tratamento	Função original	Função adaptada	Fonte
C1 - Custo de implementação			
A1	69,11-115,19 R\$/hab	92,15 R\$/hab	Adaptado de Von Sperling (2007)
A2	115,19-184,30 R\$/hab	149,74 R\$/hab	Adaptado de Von Sperling (2007)
A3*	287,96-345,56 R\$/hab	316,76 R\$/hab	Adaptado de Von Sperling (2007))
A4	184,30-299,48 R\$/hab	241,89 R\$/hab	Adaptado de Von Sperling (2007)
C2 - Custo de operação e manutenção			
A1	2,88-5,76 R\$/hab.ano	4,32 R\$/hab.ano	Adaptado de Von Sperling (2007)
A2	5,76-9,21 R\$/hab.ano	7,49 R\$/hab.ano	Adaptado de Von Sperling (2007)
A3*	23,04-34,56 R\$/hab.ano	28,80 R\$/hab.ano	Adaptado de Von Sperling (2007))
A4	13,82-23,04 R\$/hab.ano	18,43 R\$/hab.ano	Adaptado de Von Sperling (2007)
C4 - Confiabilidade			
A1	Média (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)
A2	Média (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)
A3*	Média (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)
A4	Média (+++)	3 pts	Von Sperling (2007)
C5 - Simplicidade de operação e manutenção			
A1	Média (+++)	3 pts	Von Sperling (2007)
A2	Alta (+++++)	5 pts	Von Sperling (2007)
A3*	Média (+++)	3 pts	Von Sperling (2007)
A4	Média (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)
C6 - Eficiência de remoção da matéria orgânica			
A1	30-35% DBO	32,5% DBO	Von Sperling (2007)
A2	80-90% DBO	85% DBO	Von Sperling (2007)
A3	90% DBO	90% DBO	Sinha, Bharambe e Chaudhari (2008)
A4	80-85% DBO	82,5% DBO	Von Sperling (2007)
C7 - Eficiência de remoção de sólidos suspensos			
A1	55-65% SS	60% SS	Von Sperling (2007)
A2	87-93% SS	90% SS	Von Sperling (2007)
A3	90-95% SS	92,5% SS	Sinha, Bharambe e Chaudhari (2008)
A4	80-90% SS	85% SS	Von Sperling (2007)
C8 - Produção de lodo			
A1	0,11-0,36 m ³ /hab.ano	0,24 m ³ /hab.ano	Von Sperling (2007)
A2	0 m ³ /hab.ano	0 m ³ /hab.ano	Von Sperling (2007)
A3	0 m ³ /hab.ano	0 m ³ /hab.ano	Madrid et al. (2019)
A4	0,18-1,02 m ³ /hab.ano	0,60 m ³ /hab.ano	Von Sperling (2007)
C9 - Odores			
A1	Médio (++)	2 pts	Von Sperling (2007)
A2	Médio (++)	2 pts	Von Sperling (2007)
A3*	Médio (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)
A4	Médio (++)	2 pts	Von Sperling (2007)

Tabela B.1: Funções para cálculo dos critérios (continuação)

Alternativa de tratamento	Função original	Função adaptada	Fonte
C10 - Vetores			
A1	Médio (+++)	3 pts	Von Sperling (2007)
A2	Médio (++)	2 pts	Von Sperling (2007)
A3*	Médio (++)	2 pts	Von Sperling (2007)
A4	Médio (++++)	4 pts	Von Sperling (2007)

Nota: *Considerou-se que os vermifiltros são um tipo de filtro biológico.

Fonte: A autora (2021).

APÊNDICE C: Pesos obtidos de cada um dos agentes de decisão a partir dos questionários e tratamento estatístico

Tabela C.1: Pesos obtidos a partir dos questionários e tratamento estatístico

C1 - Custo de implementação																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG						Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	2*	4	3	4	4	2*	1*	4	3	4	3	4	2*	4	3,14	0,99	2,15	4,13
	Alta	3	3	3	3	4*	3	4*	3	3	4*	2*	4*	2*	4*	3,21	0,67	2,54	3,89
Urbanização	Baixa	2*	4	3	3	4	1*	4	3	3	4	3	4	4	4	3,29	0,88	2,41	4,17
	Alta	4	3	3	4	4	3	2*	4	3	4	2*	3	4	4	3,36	0,72	2,64	4,07
Uso da água	Humano	4	4	4	4	4	3*	3*	4	3*	4	4	4	4	4	3,79	0,41	3,38	4,20
	Agrícola	1*	3	3	4*	4*	3	1*	3	3	3	3	1*	4*	3	2,79	1,01	1,77	3,80
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	4*	3	4*	2	4*	2	1*	3	3	4*	1*	0*	2	4*	2,64	1,29	1,36	3,93
	Intermitente	4	4	4	2*	4	2*	2*	4	3	4	2*	1*	3	4	3,07	1,03	2,04	4,10
C2 - Custo de operação e manutenção																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG						Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	2*	4	4	3	4	3	1*	4	4	2*	3	4	3	4	3,21	0,94	2,27	4,15
	Alta	3	4	4	4	4	3	4	4	4	2*	2*	4	3	4	3,50	0,73	2,77	4,23
Urbanização	Baixa	2*	4	4	3	4	2*	4	3	4	3	3	4	3	4	3,36	0,72	2,64	4,07
	Alta	2*	4	4	4	4	3	2*	4	4	3	2*	3	3	4	3,29	0,80	2,49	4,08
Uso da água	Humano	4	4	4	4	4	3*	3*	4	4	3*	4	4	3*	4	3,71	0,45	3,26	4,17
	Agrícola	2	3	4*	4*	4*	3	1*	3	4*	3	3	1*	3	3	2,93	0,96	1,97	3,89
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	3	3	4	3	4	2	1*	4	4	3	1*	0*	4	4	2,86	1,30	1,56	4,16
	Intermitente	4	4	4	4	4	2*	2*	4	4	3	2*	2*	3	4	3,29	0,88	2,41	4,17
C3 - Área disponível																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG						Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	4	4	4	4	4	3*	4	4	4	2*	3*	4	3*	4	3,64	0,61	3,03	4,25
	Alta	4*	3	2	2	1	1	1	3	2	1	1	4*	1	1	1,93	1,10	0,83	3,03
Urbanização	Baixa	2	4*	3	3	2	2	1*	3	4*	2	3	3	2	4*	2,71	0,88	1,83	3,59
	Alta	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	1*	3	2*	4	3,43	0,90	2,53	4,33
Uso da água	Humano	3	3	4*	3	2	2	1*	3	4*	4*	2	4*	2	4*	2,93	0,96	1,97	3,89

Tabela C.1: Pesos obtidos a partir dos questionários e tratamento estatístico (continua)

C3 - Área disponível																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Uso da água	Agrícola	3	3	3	3	2	2	1*	3	4*	1*	2	1*	2	2	2,29	0,88	1,41	3,17
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	2	3	3	3	2	2	1*	3	4*	3	1*	0*	3	4*	2,43	1,12	1,31	3,54
	Intermitente	3	3	3	3	4*	4*	1*	3	4*	1*	1*	2	1*	4*	2,64	1,17	1,47	3,81
C4 - Confiabilidade																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Área disponível	Baixa	4	4	4	3	3	4	1*	4	3	3	1*	4	1*	4	3,07	1,16	1,91	4,23
	Alta	4	4	4	4	3	4	1*	3	3	3	1*	4	1*	4	3,07	1,16	1,91	4,23
Urbanização	Baixa	4*	3	4*	3	2	4*	2	4*	3	3	1*	3	1*	4*	2,93	1,03	1,90	3,96
	Alta	4	3	4	3	2*	4	3	4	3	4	1*	4	1*	4	3,14	1,06	2,08	4,20
Uso da água	Humano	4	4	4	4	4	4	4	4	3*	4	3*	4	2*	4	3,71	0,59	3,13	4,30
	Agrícola	4*	3	4*	2	3	3	2	4*	3	3	2	1*	2	3	2,79	0,86	1,93	3,65
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	4	4	4	4	2	4	2	4	3	4	1*	0*	3	4	3,07	1,28	1,79	4,35
	Intermitente	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	1*	2*	1*	4	3,36	1,11	2,25	4,47
C5 - Simplicidade de operação e manutenção																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Área disponível	Baixa	3	4*	3	3	3	3	1*	4*	4*	4*	3	3	2*	4*	3,14	0,83	2,31	3,98
	Alta	3	3	3	4*	3	3	1*	3	4*	4*	3	3	2*	4*	3,07	0,80	2,27	3,87
Urbanização	Baixa	2*	4*	3	4*	3	3	2*	4*	4*	4*	3	3	2*	4*	3,21	0,77	2,44	3,99
	Alta	3	3	3	3	3	3	1*	3	4*	4*	3	3	2*	4*	3,00	0,76	2,24	3,76
Uso da água	Humano	4	4	3	4	2*	4	1*	3	4	4	2*	4	2*	4	3,21	1,01	2,20	4,23
	Agrícola	3	2	3	4*	2	3	1*	3	4*	3	2	1*	2	4*	2,64	0,97	1,67	3,61
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	3	3	3	4	2	4	2	3	4	4	2	0*	3	4	2,93	1,10	1,83	4,03
	Intermitente	4	4	3	4	2	2	2	3	4	4	1*	3	2	4	3,00	1,00	2,00	4,00
C6 - Eficiência de remoção da matéria orgânica																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Área disponível	Baixa	4	3	3	4	3	1*	1*	4	4	3	1*	4	2	4	2,93	1,16	1,77	4,09
	Alta	4*	3	3	3	3	1*	1*	3	4*	3	1*	4*	2	4*	2,79	1,08	1,70	3,87
Urbanização	Baixa	2	3	3	4*	4*	3	1*	3	4*	3	1*	3	3	4*	2,93	0,96	1,97	3,89

Tabela C.1: Pesos obtidos a partir dos questionários e tratamento estatístico (continua)

C6 - Eficiência de remoção da matéria orgânica																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG								Técnicos municipais				Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Urbanização	Alta	4	3	3	4	4	4	1*	4	4	4	1*	3	3	4	3,29	1,03	2,26	4,32
Uso da água	Humano	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3*	2*	4	3*	4	3,71	0,59	3,13	4,30
	Agrícola	4*	2	1*	2	2	2	2	4*	3	2	2	1*	2	2	2,21	0,86	1,35	3,07
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	3	2	3	3	3	3	2	4*	3	3	2	0*	3	3	2,64	0,89	1,75	3,54
	Intermitente	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	1*	2*	3	4	3,43	0,90	2,53	4,33
C7 - Eficiência de remoção de sólidos suspensos																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG								Técnicos municipais				Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	4	3	2	4	3	1*	1*	4	4	3	1*	4	3	4	2,93	1,16	1,77	4,09
	Alta	4*	3	2	3	3	1*	1*	3	4*	3	1*	4*	3	4*	2,79	1,08	1,70	3,87
Urbanização	Baixa	3	3	2	4*	3	3	1*	3	4	3	1*	3	3	4*	2,86	0,91	1,94	3,77
	Alta	4	3	2*	4	3	4	1*	4	4	4	1*	3	3	4	3,14	1,06	2,08	4,20
Uso da água	Humano	4	4	3*	4	4	4	4	4	4	3*	2*	4	3*	4	3,64	0,61	3,03	4,25
	Agrícola	4*	2	1*	2	2	3	2	4*	3	3	2	1*	2	4*	2,50	0,98	1,52	3,48
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	3	3	3	3	3	3	3	4*	3	3	2	0*	3	3	2,79	0,86	1,93	3,65
	Intermitente	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	1*	3	3	4	3,43	0,82	2,61	4,25
C8 - Produção de lodo																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG								Técnicos municipais				Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	3	3	3	4*	4*	2*	3	4*	3	3	4*	3	3	4*	3,29	0,59	2,70	3,87
	Alta	3	3	3	3	2	4*	1*	3	3	3	4*	3	3	4*	3,00	0,76	2,24	3,76
Urbanização	Baixa	3	3	2*	4*	3	2*	1*	3	3	3	4*	3	2*	4*	2,86	0,83	2,02	3,69
	Alta	4*	3	3	4*	3	4*	3	4*	3	3	4*	3	2*	4*	3,36	0,61	2,75	3,97
Uso da água	Humano	4	3	3	4	4	3	2*	4	4	3	4	4	3	4	3,50	0,63	2,87	4,13
	Agrícola	4*	2	2	2	3	3	2	4*	2	2	4*	1*	3	3	2,64	0,89	1,75	3,54
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	4*	2	2	3	3	3	1*	4*	3	3	4*	0*	0*	4*	2,57	1,35	1,22	3,92
	Intermitente	4	3	4	4	4	4	1*	4	3	3	4	1*	3	4	3,29	1,03	2,26	4,32
C9 - Odores																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG								Técnicos municipais				Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior		
Área disponível	Baixa	4	3*	4	4	4	3*	4	4	4	4	4	3*	2*	4	3,64	0,61	3,03	4,25

Tabela C.1: Pesos obtidos a partir dos questionários e tratamento estatístico (continuação)

C9 - Odores																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Área disponível	Alta	4*	3	3	3	3	3	1*	3	4*	4*	4*	3	2*	4*	3,14	0,83	2,31	3,98
Urbanização	Baixa	4*	3	3	3	2	2	2	3	1	4	4	2	1*	3	2,64	0,97	1,67	3,61
	Alta	4	3*	4	4	4	3*	4	4	4	4	4	3*	2*	4	3,64	0,61	3,03	4,25
Uso da água	Humano	4	3*	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2*	4	3,79	0,56	3,23	4,34
	Agrícola	3	2*	3	3	3	4*	3	3	4*	3	4*	1*	2*	4*	3,00	0,85	2,15	3,85
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	3	3	3	3	2	3	2	4	4	4	4	0*	2	4	2,93	1,10	1,83	4,03
	Intermitente	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	2*	2*	4	3,50	0,73	2,77	4,23
C10 - Vetores																			
Parâmetro	Classificação	Equipe técnica da UFCG							Técnicos municipais						Média	Desvio padrão	Limite inferior	Limite superior	
Área disponível	Baixa	4	4	4	4	3	3	2*	4	4	4	4	3	2*	4	3,50	0,73	2,77	4,23
	Alta	4	4	3	4	1*	3	2*	3	4	4	4	3	2*	4	3,21	0,94	2,27	4,15
Urbanização	Baixa	4*	4*	3	4*	2	2	2	3	3	4*	4*	2	1*	3	2,93	0,96	1,97	3,89
	Alta	4	4	4	4	4	3*	4	4	4	4	4	4	2*	4	3,79	0,56	3,23	4,34
Uso da água	Humano	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2*	4	3,86	0,52	3,34	4,37
	Agrícola	4	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	1*	2*	4	3,21	0,86	2,35	4,07
Classificação do rio quanto ao fluxo	Perene	4	4	3	3	3	3	2	4	4	4	3	0*	2	4	3,07	1,10	1,97	4,17
	Intermitente	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	1*	2*	4	3,43	0,90	2,53	4,33

Nota: *Valores atípicos que devem ser eliminados para média dos pesos. Fonte: A autora (2021).

ANEXOS

ANEXO A: Questionário para a obtenção dos pesos

QUESTIONÁRIO

Obtenção de pesos

1. DADOS DO AGENTE DECISOR

Identificação: Representante da Prefeitura de Casserengue Equipe técnica do PMSB (TED 003/2019)

Ocupação/cargo: Clique ou toque aqui para inserir o texto.

2. CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PARA O ESTUDO

No estudo, selecionou-se onze critérios considerados relevantes pela literatura e representativos para a seleção de tecnologias de tratamento de esgoto que são listados e descritos pela tabela a seguir.

Critério	Descrição
Custo de implementação	Custo necessário para construção da estação de tratamento, incluindo máquinas, equipamentos, instalações e tubulações.
Custo de operação e manutenção	Custo necessário com energia, pessoal, produtos químicos, gestão e manutenção de resíduos.
Área do terreno necessária	Área física necessária para a construção e instalação da ETE.
Confiabilidade	Probabilidade de falhas mecânicas de operação e processo e o impacto das falhas na qualidade do efluente.
Simplicidade de operação e manutenção	Leva em consideração o nível de habilidade e treinamento exigido do operador, dificuldades envolvidas a operações rotineiras e emergenciais no funcionamento e manutenção do sistema.
Eficiência de remoção da matéria orgânica	Capacidade de o sistema remover a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do efluente.
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	Capacidade de o sistema remover a os sólidos suspensos (SS) do efluente.
Produção de lodo	Quantidade do subproduto lodo produzida pelo sistema de tratamento.
Odores	Possibilidade de não emitir de odores no processo de tratamento pelo sistema.
Vetores	Possibilidade de não gerar e atrair vetores (insetos e vermes) ao sistema, normalmente associada ao fator odor.

3. PARÂMETROS PARA AS BACIAS DE ESGOTAMENTO ESTABELECIDOS PARA O ESTUDO

A fim de caracterizar as bacias de esgotamento, selecionou-se quatro parâmetros listados e descritos pela tabela a seguir.

Parâmetro	Descrição
Área disponível para implantação da ETE	Refere-se ao espaço físico disponível na bacia de esgotamento, ou na sub-bacia de drenagem associada, adequado para implantação da estação de tratamento.
Urbanização	Refere-se à densidade de edificação da bacia de esgotamento, que indica se a bacia possui aglomeração ou dispersão de habitantes em seu território
Classificação do corpo receptor quanto a duração do fluxo	Refere-se à classificação do corpo receptor, sendo considerados no estudo os rios intermitentes, cujos leitos secam ou congelam durante algum período do ano e os perenes, que são os que correm durante o ano todo.
Uso da água do corpo receptor	Refere-se ao uso das águas do corpo hídrico após o lançamento do esgoto tratado.

4. ATRIBUIÇÃO DE PESOS AOS CRITÉRIOS

Atribuir peso de importância para cada um dos critérios de seleção listados. Considere a importância destes critérios para a escolha de sistemas de tratamento de esgotos para bacias de esgotamento com a característica especificada, atribuindo um peso para cada um dos critérios. Utilize valores de 0 a 4, sendo:

0 – Não tem importância; 1 – Baixa importância; 2 – Média importância; 3 – Alta importância; 4 – Altíssima importância

CRITÉRIOS	ÁREA DISPONÍVEL NA BACIA PARA IMPLANTAÇÃO DA ETE	
	Baixa	Alta
Custo de implementação	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Custo de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Área do terreno necessária	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Confiabilidade	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Simplicidade de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção da matéria orgânica	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Produção de lodo	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Odores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Vetores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
CRITÉRIOS	URBANIZAÇÃO DA BACIA	
	Baixa	Alta
Custo de implementação	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Custo de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Área do terreno necessária	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Confiabilidade	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Simplicidade de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção da matéria orgânica	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Produção de lodo	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Odores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Vetores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
CRITÉRIOS	USO DA ÁGUA DO CORPO RECEPTOR DA BACIA	
	Humano	Agrícola
Custo de implementação	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Custo de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Área do terreno necessária	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Confiabilidade	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Simplicidade de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção da matéria orgânica	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Produção de lodo	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Odores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Vetores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
CRITÉRIOS	CLASSIFICAÇÃO DO CORPO RECEPTOR DA BACIA QUANTO A DURAÇÃO DO FLUXO	
	Perene	Intermitente
Custo de implementação	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Custo de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Área do terreno necessária	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Confiabilidade	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Simplicidade de operação e manutenção	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção da matéria orgânica	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Produção de lodo	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Odores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Vetores	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4