



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MOEMA DA NÓBREGA EUCLIDES LIMA

**MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA ZONA RURAL: O caso de Pocinhos-PB**

Recife
2023

MOEMA DA NÓBREGA EUCLIDES LIMA

**MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA ZONA RURAL: O caso de Pocinhos - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da Produção

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Morais.

Recife

2023

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

L732m Lima, Moema da Nóbrega Euclides.
Modelo para priorização de tecnologias de tratamento de esgoto para zona rural: o caso de Pocinhos-PB / Moema da Nóbrega Euclides Lima. 2023.
110 f: il.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Morais.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Recife, 2023.
Inclui referências, apêndice e anexos.

1. Engenharia de produção. 2. *Value-focused thinking*. 3. Apoio à decisão multicritério. 4. PROMETHEE-ROC. 5. Esgoto sanitário na zona rural. I. Morais, Danielle Costa (Orientadora). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 88

MOEMA DA NÓBREGA EUCLIDES LIMA

**MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA ZONA RURAL: O caso de Pocinhos - PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gerência da Produção.

Aprovada em: 02/03/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra Danielle Costa Morais (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Luciana Hazin Alencar (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Caetano e Aldenia, por todo apoio, ensinamentos e incentivo ao longo da minha vida pessoal e profissional.

Agradeço a meu namorado, Hiago, e a minha irmã, Moara, por toda paciência e carinho que tiveram comigo durante essa jornada.

Agradeço também aos meus colegas de mestrado. Graças a vocês a estadia por Recife se tornou mais agradável e aconchegante.

Agradeço a minha orientadora, Danielle Moraes, por toda orientação e disponibilidade em ajudar sempre que precisei ao longo da pesquisa.

Agradeço a CNPq e a CAPES pelo suporte financeiro proporcionado para elaboração desta pesquisa.

RESUMO

O esgotamento sanitário é vital para garantia de uma vida digna. A ausência desse serviço, principalmente na zona rural, faz com que a população adote medidas rudimentares e precárias. Portanto, decisões para sanar essa ausência devem ser tomadas. No entanto, essas decisões não são tarefas fáceis. Dessa forma, esta pesquisa propõe a construção de um modelo de apoio a decisão para priorização das alternativas de tratamento de esgoto para área rural isolado do município de Pocinhos-PB com base no método de estruturação de problema *Value-Focused Thinking* (VFT) e no *framework* proposto por De Almeida (2013). A aplicação do VFT ocorreu por meio de uma entrevista presencial semiestruturada e contatos virtuais com a secretária, resultando na identificação de critérios econômicos, técnicos e sociais que ia além dos que eram propostos na literatura e se adequava a situação do município e aos valores do decisor. Com base nesses valores, foram extraídos da literatura projetos de tratamento de esgoto para áreas isoladas. A construção do modelo e aplicação do método multicritério contou com o suporte do Sistema de Apoio a Decisão (SAD) do PROMETHEE-ROC. A ferramenta possibilitou que o decisor tivesse uma visualização simplificada do problema e propiciou um processo mais acessível, interativo e de menor esforço cognitivo. Este trabalho mostrou que através da metodologia científica é possível orientar o processo de decisão, evitando que o gestor fique limitado a fatores técnico e financeiros, visto que o modelo de apoio a decisão permitiu a introdução de pontos de alta subjetividade como a educação sanitária da população rural e os danos ambientais. Também propiciou um debate sobre a realidade do saneamento rural e sobre as possíveis ações para expansão da cobertura do serviço sanitário na zona rural.

Palavras-chave: *value-focused thinking*; apoio à decisão multicritério; PROMETHEE-ROC; esgoto sanitário na zona rural.

ABSTRACT

Sanitary sewage is vital to guarantee a dignified life. The absence of this service, especially in rural areas, makes the population adopt rudimentary and precarious measures. Therefore, decisions to remedy this absence must be taken. However, these decisions are not easy tasks. Thus, this research proposes the construction of a decision support model for prioritizing sewage treatment alternatives for an isolated rural area in the municipality of Pocinhos-PB based on the Value-Focused Thinking (VFT) problem structuring method and the framework proposed by De Almeida (2013). The application of the VFT occurred through a semi-structured face-to-face interview and virtual contacts with the secretary, resulting in the identification of economic criteria, technical and social aspects that went beyond those proposed in the literature and adapted to the municipality's situation and the decision-maker's values. Based on these values, sewage treatment projects for isolated areas were extracted from the literature. The construction of the model and application of the multicriteria method was supported by the Decision Support System (DSS) of PROMETHEE-ROC. The tool allowed the decision maker to have a simplified view of the problem and provided a more accessible, interactive process with less cognitive effort. This work showed that through scientific methodology it is possible to guide the decision process, preventing the manager from being limited to technical and financial factors, since the decision support model allowed the introduction of points of high subjectivity such as health education of the rural population and environmental damage. It also provided a debate on the reality of rural sanitation and on possible actions to expand the coverage of sanitary services in rural areas.

Keywords: *value-focused thinking*; multicriteria decision support; PROMETHEE-ROC; sanitary sewage in rural areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Estrutura metodológica do trabalho.....	21
Figura 2 -	Procedimento para resolução de um problema de decisão.....	27
Figura 3 -	Estrutura lógica do Método PROMETHEE-ROC.....	34
Figura 4 -	Etapas para construção do modelo de apoio a decisão para priorização de uma tecnologia de tratamento de esgoto.....	47
Figura 5 -	Interface do aplicativo PROMETHEE – ROC.....	54
Figura 6 -	Localização do município de Pocinhos-PB no estado da Paraíba	58
Figura 7 -	Rede de objetivo meio do problema de decisão.....	64
Figura 8 -	Planilha modelo para input dos dados do problema de decisão...	79
Figura 9 -	Tela do SAD com resumos dos dados de entrada.....	79
Figura 10 -	Interface do software PROMTHEE-ROC com input da matriz de consequência.....	81
Figura 11 -	Elicitação dos pesos no SAD a partir do procedimento ROC.....	81
Figura 12 -	Ranking final apresentado pelo SAD.....	84
Figura 13 -	Análise de sensibilidade fornecida pelo SAD.....	86
Figura 14 -	Definição do nível de significância para o teste de correlação.....	86
Figura 15 -	Resultado da simulação da análise de sensibilidade para alteração de todos os parâmetros.....	87
Figura 16 -	Variação dos pesos no limite de 15% em uma distribuição normal de probabilidade.....	88
Figura 17 -	Variação com intervalo de 15% no critério custo em uma distribuição normal de probabilidade.....	89
Figura 18 -	Variação de 15% (mais ou menos) no critério Teor de toxicidade	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios generalizados.....	32
Tabela 2 - Sistema de esgotamento sanitário da zona rural do município de Pocinhos-PB.....	60
Tabela 3 - Matriz de consequência do problema de decisão de esgotamento rural.....	77
Tabela 4 - Resultados dos pesos ROC para os critérios do problema de decisão “tecnologia para o tratamento do esgoto rural”.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Critérios importantes para o modelo de priorização de sistema de tratamento de esgotos de acordo com a literatura e compatíveis com o decisor.....	49
Quadro 2 -	Descrição dos níveis do atributo confiabilidade.....	50
Quadro 3 -	Descrição dos níveis do critério simplicidade na capacitação e operação da tecnologia.....	51
Quadro 4 -	Conformidade legal dos serviços de esgotamento sanitário.....	59
Quadro 5 -	Hierarquia dos objetivos fundamentais do problema de decisão.....	63
Quadro 6 -	Características dos critérios do problema de decisão.....	69
Quadro 7 -	Descrição dos níveis para o C1 – Condutividade elétrica do efluente do esgoto tratado.....	70
Quadro 8 -	Descrição dos níveis do critério Teor de toxicidade do efluente final do sistema.....	73
Quadro 9 -	Descrição dos níveis do atributo frequência de manutenção....	75
Quadro 10 -	Avaliação intracritério (critérios generalizados).....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFT	<i>Alternative Focused Thinking</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CDSI	<i>Center for Decision Systems and Information Development</i>
DBO	Demandada Bioquímica de Oxigênio
ELECTRE	<i>ELimination Et Choix la RÉallité</i>
FSB	Fossa Biodigestora
FSE	Fossa Séptica Econômica
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada
LOA	Lei Orçamentaria Anual
MAUT	Teoria da Utilidade Multiatributo
MCDA	Métodos Multicritério de Apoio a Decisão
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEC	Proposta de Emenda à Constituição
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNSR	Programa Nacional em Saneamento Rural
PO	Pesquisa Operacional
PROMETHEE	<i>Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation</i>
PSBR	Programa de Saneamento Brasil Rural
PSM	<i>Problem Structuring Methods</i>
RAC	Reator anaeróbio compartimentados
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
ROC	<i>Rank-Order Centroid</i>
SCA	<i>Strategic Choice Approach</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento
SODA	<i>Strategic Options Development and Analysis</i>
SSM	<i>Soft Systems Methodology</i>
TTE	Tecnologia de Tratamento de Esgoto

UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
VFT	<i>Value-Focused Thinking</i>
WC	<i>Wetland Construído</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	16
1.3	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1.1	Apoio a Tomada de Decisão.....	23
2.1.2	Abordagem Soft.....	24
2.1.2.1	Value-Focused Thinking (VFT).....	25
2.1.3	Conceitos Importantes para Construção de um Modelo de Decisão Multicritério.....	27
2.1.4	Família PROMETHEE.....	30
2.1.4.1	Promethee – Roc.....	33
2.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	34
2.2.1	Aplicação do VFT.....	35
2.2.2	Aplicação de Métodos de Apoio a Decisão.....	36
2.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	39
3	SANEAMENTO BÁSICO: TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL.....	40
3.1	SANEAMENTO BÁSICO.....	40
3.1.1	Panorama do Saneamento Básico.....	42
3.2	ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ZONA RURAL.....	43
3.2.1	Tratamento de Esgoto.....	44
3.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	46
4	PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL.....	47
4.1	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO.....	47
4.2	SISTEMA DE APOIO A DECISÃO DO PROMETHEE – ROC.....	54
4.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	55

5	APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO NO CASO DE POCINHOS – PB.....	57
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	57
5.1.1	Característica da população rural e do esgotamento sanitário da zona rural de Pocinhos.....	58
5.2	ETAPAS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	61
5.2.1	Fase 1: Definição da Área de Estudo.....	61
5.2.2	Fase 2: Estruturando o problema.....	62
5.2.3	Fase 3: Concluir framework e Aplicar o Método PROMETHEE – ROC.....	77
5.2.3.1	Aplicação do Método PROMETHEE – ROC.....	78
5.2.4	Fase 4: Discutir Resultados do framework.....	90
5.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	92
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
6.1	CONCLUSÕES.....	94
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98
	APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTA APLICADA NA PESQUISA.....	107
	ANEXO A – DETALHEAMENTO DAS PROPRIEDADES RURAIS DE POCINHOS.....	109
	ANEXO B – DESTINAÇÃO DO SES DE POCINHOS (IBGE, 2010).....	110

1 INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico adequado é indispensável para garantir segurança e dignidade ao ser humano. A água potável e o saneamento básico foram reconhecidos pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (UNGA, 2010) como um direito humano essencial para o gozo pleno da vida e dos demais direitos humanos. Dessa forma, esses serviços são fundamentais para o desenvolvimento social e sustentável da humanidade, além de possibilitar a redução da pobreza no mundo.

Bos *et al.* (2016) designam o saneamento básico, de uma maneira mais ampla, como os serviços de recolher, transportar, tratar e eliminar ou reutilizar os despejos humanos ou águas residuais domésticas, seja por sistema tradicional ou simplificado, apropriados para proteção da saúde pública. Boas práticas de saneamento são fundamentais não apenas para evitar doenças — especialmente as de veiculação hídrica — mas também para promover a saúde, proteger o meio ambiente e aumentar a qualidade de vida da população (TONETTI *et al.*, 2018).

Apesar da grande notabilidade, segundo as Nações Unidas (2021) mais de 3,6 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico e a falta desse serviço chega a matar no mundo cerca de 700 crianças abaixo de cinco anos por dia devido à diarreia e outras infecções. Em nível global, bilhões de pessoas sofrem de problemas de saúde e ambientais devido ao saneamento inadequado (IRIBARNEGARAY *et al.*, 2018).

No Brasil, do total de esgoto produzido, apenas 50,8% são tratados (BRASIL, 2021a). O cenário do saneamento fica mais preocupante quando a análise é direcionada para a área rural. O IBGE (2021b) apresenta diferentes tipologias de setor censitário para delimitar as áreas urbanas e rurais, no qual essa última pode ser classificada em aglomerados rurais (povoado e lugarejos) ou área rural (caracterizado pela dispersão de domicílios e estabelecimento agropecuário).

O Brasil possui cerca de 31,2 milhões de habitantes morando na área rural e comunidades isoladas, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). As informações contidas no Programa de Saneamento Brasil Rural (PSBR) revelaram que apenas 20,6% da população residente em áreas rurais brasileiras possuem atendimento apropriado ao esgotamento sanitário, sendo os piores índices verificados em aglomerações isoladas menos adensadas e em locais sem aglomerações. (MESQUITA *et al.*, 2021).

Na Região Nordeste, observou-se que quase 1/3 de sua população vive em municípios rurais e possui a menor porcentagem de população em municípios urbanos (IBGE, 2017). O município de Pocinhos – PB, por exemplo, possui uma população rural de aproximadamente 43,5% da população total e apresenta uma predominância de pequenas micropropriedades rurais. Conforme o IBGE (2010), nesse município ainda é muito baixo o número de domicílios rurais que contam com sistema de esgotamento adequado.

Com isso, as áreas rurais foram adotando, muitas vezes de forma improvisada e/ou precária, medidas para sanar esse déficit, como, por exemplo, as fossas rudimentares, valas e, em algumas situações, o descarte dos resíduos domésticos feito diretamente no solo ou rios.

Em áreas rurais isoladas, uma rede de esgotos pode não ser uma opção viável devido ao elevado custo de implementação e conexão a cada agregado familiar. Neste caso, as instalações no próprio local são preferíveis (BOS *et al.*, 2016). Diante disso, empresas públicas, instituições e organizações de pesquisa vem estudando e desenvolvendo tecnologias descentralizadas, que além de possibilitar o tratamento, algumas permitem o reúso do efluente final.

O conjunto de ações voltadas para o problema de esgotamento sanitário na zona rural é variado e os aspectos que influenciam nesse processo de escolha vão desde do ambiental, ao econômico e social. Quando estas decisões se tornam mais complexas, envolvendo consequências com alto risco, faz-se necessário utilizar um modelo de estruturação de problemas para auxiliar no processo de tomada de decisão (BORGES, CARDOSO JUNIOR, BELDERRAIN, 2022).

Diante de uma tomada de decisão em que o decisor visa priorizar a melhor medida dentre as alternativas, a modelagem multicritério se faz útil. Assim, visando proporcionar melhorias para população rural não aglomerada do município de Pocinhos – PB e auxiliar o gestor público no processo de tomada de decisão para priorização de tecnologias de tratamento de esgoto que sanem esse problema na zona rural, o trabalho propõe a construção de um modelo de apoio à decisão multicritério, estruturado nos valores do decisor, para priorização de projetos para o esgotamento sanitário rural.

1.1 OBJETIVOS

Este item visa apresentar o objetivo geral e objetivos específicos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar alternativas de tratamento de esgoto com base nos valores do decisor e auxiliar o processo de tomada de decisão na priorização da alternativa de tratamento mais adequada para zona rural de Pocinhos - PB, usando o método PROMETHEE-ROC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar por meio de pesquisa bibliográfica o panorama do esgotamento sanitário do Brasil, mais especificamente da zona rural, e discutir as alternativas de tratamento de esgoto e os critérios que levam a priorização dessas alternativas;
- Analisar os valores do decisor do problema de apoio a decisão multicritério utilizando a metodologia Value-Focused Thinking (VFT);
- Analisar o método de decisão multicritério apropriado para obtenção dos rankings das alternativas de tratamento de esgoto para zona rural;
- Propor e discutir um modelo com o auxílio de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) e analisar as possíveis soluções propostas pelo sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

No Semiárido Brasileiro, 38% das famílias residem na zona rural e geralmente não tem acesso às tecnologias de tratamento de esgoto e à água de qualidade, criando obstáculos para o desenvolvimento sustentável da região (MAYER *et al.*, 2020). O saneamento básico, mais especificamente o tratamento de esgoto, está atrelado a saúde do cidadão, visto que, a ausência desse serviço básico causa insalubridade, danos ambientais e sociais, como poluição de rios e córregos, e improdutividade.

De acordo com o Art. 6º da Constituição Federal (BRASIL, 2016), são direitos sociais, entre outros, a educação, a saúde e a segurança. Em 2022, a Proposta de

Emenda à Constituição (PEC) 2/2016 (BRASIL, 2016) modificou esse artigo a fim de tornar o serviço de saneamento básico um direito social, assim como os direitos anteriormente mencionados. Além da garantia pela Constituição Federal de 88, o saneamento básico no Brasil também é almejado pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Esses apelos globais buscam atingir a disponibilidade de manejo de água e saneamento para todos. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA, 2019), os ODS Brasil têm entre suas metas que, até 2030, todos deverão ter acesso a saneamento e higiene adequada, além da redução pela metade a proporção do lançamento de efluentes não tratados e um aumento substancial do reciclo e reúso do recurso de forma segura.

Porém, em 2022 a realidade ainda é muito divergente das metas almejadas até 2030. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2021a), a cobertura de saneamento básico cresceu no Brasil 2,3% na rede coletora de esgoto e 4% nas ligações sanitárias, isso no período de 2019 para 2020. Vale salientar que essas porcentagens são referentes exclusivamente a coberturas sanitárias realizadas nas áreas urbanas, assim, mostrando como o acesso ao saneamento básico é marcado pela desigualdade entre urbano e rural.

Apesar do acréscimo, segundo o último Diagnóstico do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (BRASIL, 2021a), ainda, cerca de 40,8% dos municípios brasileiros utilizam medidas alternativas de esgotamento sanitário, sendo a maioria situado no norte e nordeste. O Instituto Água e Saneamento (2022) afirma em sua matéria que a precariedade desse serviço na zona rural é ainda maior, onde oito a cada dez habitantes não tem acesso adequado ao serviço de esgotamento sanitário. Desse modo, mesmo passados quinze anos da promulgação da Lei Federal nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), que especifica as diretrizes nacionais e a política federal para o saneamento básico no Brasil, praticamente metade da população brasileira ainda não tem acesso à cobertura de esgoto adequada.

Considerando o exposto, através desta pesquisa será possível desenvolver um modelo de apoio a decisão que priorize alternativas capazes de gerar melhorias no quadro de saneamento básico do Brasil, principalmente para área rural. A escolha de forma apoiada e que considere os critérios e os valores do tomador de decisão possibilita a obtenção de um resultado mais adequado para o problema de decisão, que seja capaz de assegurar uma preservação do ecossistema local e reduza o lançamento de efluentes não tratado, como é esperado pela ODS até 2030.

Outro ponto que justifica o desenvolvimento desta pesquisa é o aspecto social. Conforme a terceira edição do Atlas de Saneamento (IBGE, 2021a) foram notificados 11.881.430 casos de Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) no Brasil, isso de 2008 a 2019. Nesse mesmo período, doenças como diarreia, disenteria, dengue, zika e chikungunya foram responsáveis por cerca de 95% das internações por DRSAI no país.

Essas doenças são provenientes da exposição de comunidades a esgoto ao ar livre e condições precárias de saneamento. Tal fato implica na adoção de um modelo que possa contribuir na redução do número de doentes ligados as DRSAI, uma vez que problemas como esgoto a céu aberto e contato direto dos indivíduos com o efluente serão sanados.

Além do impacto ambiental, como contaminação dos rios e solo, e o impacto social como prejuízo na qualidade de vida da população local e propagação de doenças, existe o impacto econômico. A gestão de águas residuais pode abrir importantes vias alternativas para a economia circular e também gerar novas oportunidades de negócios a partir da reutilização da água ou recuperação de subprodutos úteis, como nutriente e biogás, que podem ser utilizados na agricultura e na geração de energia (UNITED NATIONS, 2019).

Tendo em vista que são vários os fatores que influenciam nesse processo de tomada de decisão, que vão desde atributos econômicos, tecnológicos e fatores sociais, o trabalho permite a construção de modelo de apoio a decisão que agregue esses fatores. Com isso, seria possível auxiliar a escolha do sistema de tratamento de esgoto para comunidade de maneira que reflita a vontade do decisor, evitando que a escolha do sistema se dê apenas por de uma breve análise técnica que muitas das vezes consideram apenas o custo e outros fatores econômicos.

A abordagem multicritério permite examinar as opções de decisão tecnológica de tratamento de efluentes de uma perspectiva multidimensional para ordenar ou selecionar a melhor opção (LIZOT *et al.*, 2021). Apesar de uma temática muito importante, ainda existe uma lacuna, principalmente na literatura brasileira, quanto a aplicação de métodos de estruturação de problema e apoio a tomada de decisão que leve a escolha da melhor ação para o problema de esgotamento sanitário.

O desenvolvimento desse trabalho seria uma maneira de contribuir para o aumento do acervo de publicações de métodos multicritério na área de tratamento de esgoto. O trabalho fornecerá informações para debates científicos quanto o uso do

método Value-Focused Thinking (VFT) e o método de sobreclassificação PROMETHEE-ROC no tema saneamento básico.

1.3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

Tendo em vista que o objetivo do trabalho é propor um modelo de apoio a decisão multicritério para o problema de priorização de uma tecnologia de tratamento de esgoto para comunidade rural, tem-se que a metodologia a ser aplicada está classificada da seguinte maneira, de acordo com Silva (2005) e Cauchick Miguel (2012).

- Quanto a natureza da pesquisa: aplicada;
- Quanto aos objetivos: exploratória e descritiva;
- Quanto a forma de abordagem: qualitativa-quantitativa;
- Quanto ao procedimento técnico: pesquisa bibliográfica, estudo de caso e modelagem aplica a pesquisa operacional.

De acordo com Vergara (2005) uma pesquisa é classificada como exploratória quanto aos seus objetivos quando a finalidade é obter compreensão a respeito do objeto de estudo e desenvolver hipóteses ou proposições que servirão de base para pesquisas complementares. Portanto, indica um estudo exploratório, quando existe limitação nos conhecimentos sobre o assunto em estudo.

Com isso, a seguinte pesquisa está dotada de limitações, demandando de início que o problema seja estruturado, no que se refere a definição do decisor e a sua função de preferência. Ainda no processo de estruturação, o decisor foi questionado quanto aos seus conhecimentos nessa temática e seus reais valores, a fim de tornar o modelo construído mais condizente com a realidade.

A pesquisa também é classificada como descritiva, visto que busca ordenar e expor as informações a respeito do assunto. Quanto a natureza, ela é aplicada a área de pesquisa operacional com o foco em esgotamento sanitário na zona rural e nas características das comunidades rurais do município de Pocinhos.

A pesquisa apresenta uma combinação da abordagem qualitativa e quantitativa. Consiste em uma abordagem qualitativa, pois a partir de dados verbais coletados e analisados foram obtidos resultados para construção do modelo de decisão. Assim como, pode ser considerada uma pesquisa quantitativa, visto que foi recorrido a dados numéricos e análises estatísticas, como, por exemplo, para construção da matriz de consequência.

Trata-se de um estudo de caso aplicado na cidade de Pocinhos-PB, o qual é um município paraibano com um número significativo de moradores rurais que não são contemplados por medidas de tratamento de esgoto. O tomador de decisão no processo é o secretário municipal responsável pelas medidas rural. No momento, o município passa pelo processo de elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico, no qual uma das pautas são ações para o esgotamento rural.

Essa metodologia permitiu aprofundar o conhecimento quanto as escolhas e critérios do decisor dentro desse contexto de tratamento de esgoto na zona rural. Nesta pesquisa o modelo foi desenvolvido a fim de considerar o decisor, seus respectivos valores e grau de importância, e assim, prever como essas variáveis se comportam para escolha do sistema de tratamento.

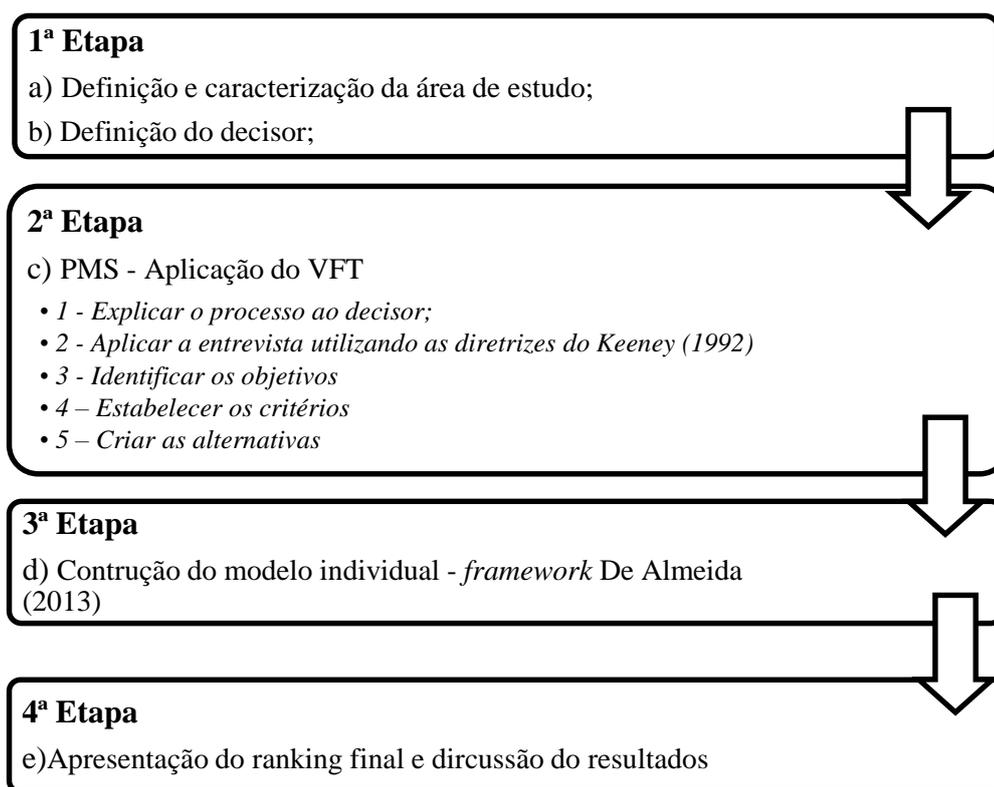
Quanto ao procedimento técnico, foi inicialmente realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, periódicos e trabalhos acadêmicos a fim de coletar informações referentes a aplicação do uso do VFT e métodos multicritério na temática saneamento básico rural, em especial esgotamento sanitário. Além disso, foram realizadas buscas em banco de dados, como Web of Sciences, sobre o tema apoio à decisão no tratamento de esgoto rural, tecnologias descentralizadas e estruturação de problemas.

Posteriormente, foram realizadas buscas para identificar municípios que estariam dispostos a contribuir com a construção da pesquisa. A contribuição do município ocorreu por entrevistas com a equipe gestora responsável pela temática para construção do modelo. O modelo pode ser apresentado em 4 etapas, como mostra a Figura 1.

Quanto ao modelo, ele consistiu de um modelo de decisão individual, que iniciou com a definição e caracterização da área de estudo e do decisor do problema, que era um representante municipal a frente dessa tomada de decisão. A segunda etapa consistiu em entender o problema e estruturá-lo através da aplicação do VFT.

Após estruturado o problema a partir dos valores do decisor, foi concluída a construção do modelo a partir da aplicação do framework desenvolvido por De Almeida (2013). O framework permitiu: a identificação do método que melhor se adequava ao problema de decisão; a aplicação do método; a obtenção do resultado; realização da análise de sensibilidade para verificar a robustez do modelo e apresentação de possíveis recomendações ao decisor.

Figura 1 - Estrutura metodológica do trabalho



Fonte: A autora (2023)

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado nos cinco capítulos a seguir:

O Capítulo 1, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho, os objetivos do estudo e a descrição da metodologia. O capítulo apresenta uma visão mundial e nacional do saneamento básico e a situação do esgotamento sanitário no Brasil, além de justificar a relevância do estudo e apresentar os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2 traz a fundamentação teórica que embasa este trabalho, destacando os principais tópicos pertinentes a apoio a tomada de decisão multicritério e métodos de estruturação de problema. O capítulo conta com a revisão de literatura referente ao saneamento básico, mais especificamente esgotamento sanitário, e aplicações de estruturação de problema e decisão multicritério na priorização de tecnologias de tratamento de esgoto.

O capítulo 3 apresenta a contextualização do problema destacando os principais pontos e conceitos dentro do saneamento básico. Apresenta o panorama

do esgotamento sanitário no Brasil, como foco a zona rural e as legislações associadas a esse contexto.

O capítulo 4 traz a descrição do procedimento e apresentação das etapas e do SAD utilizado para construção do modelo para priorização de uma tecnologia de tratamento de esgoto para zona rural.

O capítulo 5 traz as características da área de estudo e apresenta a aplicação do modelo proposto para o município paraibano de Pocinhos a fim de auxiliar o gestor público dentro desse problema de decisão.

O capítulo 6 trata das conclusões do trabalho e possíveis recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será apresentada uma fundamentação teórica com relação aos temas apoio a decisão multicritério, estruturação de problemas e método de sobreclassificação. Em seguida será apresentado uma revisão de literatura referente a aplicação do método VFT e métodos multicritérios no contexto de saneamento básico.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base conceitual utilizada para trabalho é apresentada a seguir e consiste em: apoio a decisão multicritério; abordagem soft, dando destaque ao método de estruturação de problema Value-Focused Thinking (VFT); o framework desenvolvido por De Almeida (2013) para construção de um modelo de apoio e decisão e o método multicritério da família PROMETHEE.

2.1.1 Apoio a Tomada de Decisão

São grandes os números de problemas multicritério que empresas, companhias, grupos políticos e até mesmo os indivíduos enfrentam no dia a dia. O processo de escolha pode ser bastante complexo, não apenas pelas inúmeras alternativas que os tomadores de decisão terão que analisar, mas também devido aos inúmeros fatores que podem refletir na sua decisão.

Diante disso, Vincke (1992) afirma que o apoio multicritério de decisão é capaz de oferecer o suporte necessário para que o decisor lide com esses inúmeros critérios e chegue a uma solução do problema. O Apoio Multicritério à Decisão consiste em uma metodologia formal e cientificamente fundamentada, que busca uma decisão sólida baseada em uma explicação matemática e em uma avaliação conjunta de múltiplos aspectos do problema (DA SILVA *et al.*, 2020).

Para esses problemas, foram desenvolvidos vários Métodos Multicritério de Apoio a Decisão (MCDA) que podem ser aplicados, de forma mais ampla, objetivando solucionar o problema. Os métodos de tomada de decisão multicritérios são frequentemente usados como auxílio na resolução de diferentes categorias de problemas de decisão que podem surgir em vários campos (BOENO; CHIWIACOWSKY, 2020).

Segundo De Almeida (2013) os MCDA dão suporte aos modelos de decisão, que nada mais são do que uma representação formal e com simplificação do problema enfrentado. A modelagem de decisão multicritério é útil quando o(s) decisor(es) encontra(m)-se numa situação em que deve(m) decidir por uma alternativa, dentro de um conjunto viável de possibilidades, considerando diversos objetivos e critérios influentes no contexto de avaliação (CLEMENTE, 2015).

Em um processo de decisão, os gestores podem apresentar dificuldades e limitações quando utilizarem, exclusivamente, ferramentas quantitativas para o suporte. Diante disso, dentro da Pesquisa Operacional (PO) o processo de estruturar um problema com técnicas qualitativas é permitido a partir da vertente PO soft. A abordagem soft, mais do que definir soluções para problemas, propõe um processo organizado de reflexão sobre a realidade percebida pelas pessoas (ROSSONI, 2006). A outra vertente dentro da PO é a hard. Os métodos dentro da vertente PO hard são quantitativos e recorrem a métodos e técnicas matemáticas.

Checkland (1985) caracteriza a abordagem hard, no aspecto definição do problema, como direta e unitária, diferente da soft que é problemática e pluralista. No aspecto modelo, a abordagem hard é uma representação do modelo real e resulta em um produto que seria “solução” ou em recomendação. Já a abordagem soft apresenta um modelo de maneira a gerar debates e a ser explorado, visto que não pressupõe que a complexidade do mundo possa ser capturada em um modelo sistemático, e resulta em um progresso através da aprendizagem.

2.1.2 Abordagem Soft

Todo problema de decisão multicritério conta com um decisor que em uma etapa do processo de construção do modelo de decisão será consultado quanto aos seus objetivos. Essa etapa preza pela geração de ideias por parte dos atores, estando apoiada na captura e na representação de vários pontos de vista como forma de incrementar o entendimento sobre determinado problema (ACKERMANN, 2012).

Os diferentes pontos de vista do decisor permite a construção de modelos qualitativos que ajudam a entender o problema e estruturá-lo. A essas abordagens se dar o nome de métodos de estruturação de problemas. Os métodos de estruturação de problemas (Problem Structuring Methods - PSM) são utilizados em cenários onde o problema não se apresenta de maneira estruturada tampouco com a clareza

necessária para determinar facilmente todas as variáveis envolvidas (SIMÕES *et al.*, 2015).

Entre os principais métodos de estruturação de problema estão: *Strategic Options Development and Analysis* (SODA); *Soft Systems Methodology* (SSM), *Strategic Choice Approach* (SCA) e *Value-Focused Thinking* (VFT). Almeida, Morais, Almeida (2014) apresentam algumas das principais características de cada método.

Os autores apresentam o SODA como um método que tem como ferramenta básica o mapa cognitivo que agrega diferentes visões dentro um grupo pequeno. Esse método resulta em uma estrutura orientada para uma visão global. O método SCA possibilita o gerenciamento de risco e incertezas por meios de esquemas que permitem a comparação interativa entre as alternativas. O SSM é um método que trabalha com o ambiente e o aprendizado, fazendo com que as pessoas reflitam e apresentem as diferentes perspectivas do problema a partir de modelos conceituais, que serão comparados e representados em um único modelo factível.

Esses três métodos citados compõem uma abordagem *Alternative Focused Thinking* (AFT), no qual identifica as alternativas já disponíveis e escolhe a melhor entre elas para o problema de decisão. Outro tipo de abordagem conhecida é o VFT, no qual é centrada em valores. O *Value-Focused Thinking* (VFT) é uma abordagem para a tomada de decisão com foco nos valores, onde as alternativas são relevantes porque são meios para atingi-los (CUNHA, 2016).

2.1.2.1 Value-Focused Thinking (VFT)

Value-Focused Thinking (VFT) é uma metodologia que guia o processo de tomada de decisão com base nos valores do decisor. De acordo com Alencar, Priori, Alencar (2017), é um método que não restringe o foco da atenção nas alternativas da situação de decisão, assim permitindo que os valores importantes para o decisor sejam considerados e expressados em critérios.

O processo de identificação e estruturação dos objetivos não é simples. Para auxiliar o desenvolvimento dessa etapa, o VFT conta com dispositivos que visam estimular a mente do decisor para que ele possa identificar seus objetivos. Keeney (1992) apresenta dez diretrizes para identificação dos objetivos, sendo: uma lista; alternativas; problemas e deficiências; consequências; metas, restrições e diretrizes; diferentes perspectivas; objetivos estratégicos; objetivos genéricos; objetivos estruturantes e quantificar objetivos.

A partir de uma lista de objetivos bem explícita, é possível analisar se existe redundância e, finalmente, seguir para etapa de classificação dos objetivos. Os objetivos do decisor podem ser classificados em fundamental ou meio. Os objetivos fundamentais caracterizam uma razão essencial de interesse do decisor, enquanto os objetivos meios são interpretados como os meios de se alcançar os objetivos fundamentais. O analista deve estimular o decisor a pensar em seus objetivos, visando a criação de uma lista e de relação entre eles.

Keeney (1992) propõe instigar o decisor de forma sucessiva, sempre questionando “por que este objetivo é importante no contexto de decisão?” para gerar novos objetivos e classificá-los. A partir dessa elicitación é possível identificar os valores do decisor, que serão representados em uma hierarquia e sucessivamente em uma rede de objetivos meio-fim, que servirá para identificar as alternativas e os atributos do problema de decisão.

Para cada objetivo fundamental do problema de decisão é recorrido aos critérios (atributos), que servirão para medir o desempenho das alternativas. Esses atributos podem ser naturais, quando eles são uma medida direta de um objetivo; construído, quando nenhuma escala natural existe para medir um objetivo, então é construído uma para uma medida direta; ou proxy, quando é difícil selecionar uma escala natural para medir um objetivo diretamente (MONTE, 2018).

Por fim, deve-se pensar na criação de alternativas para o problema de decisão que atenda os valores do decisor. Para estimular esse processo criativo e evitar vieses cognitivos, como, por exemplo, a ancoragem de alternativas que cria limitações na capacidade criativa, Keeney (1992) apresenta um conjunto de dispositivos.

Entre os dispositivos, pospostos por Keeney (1992), que estimulam esse processo de criação das alternativas, tem-se: o uso dos objetivos; a utilização dos atributos; uso da função objetivo para identificar alternativas desejáveis ou utilizar essas funções em conjunto com objetivos e atributos; a rede de objetivos meios; em um contexto mais amplo, o uso de objetivos estratégicos pode ser uma opção; a própria alternativa pode estimular a descoberta de novas alternativas e o foco nas consequências desejadas.

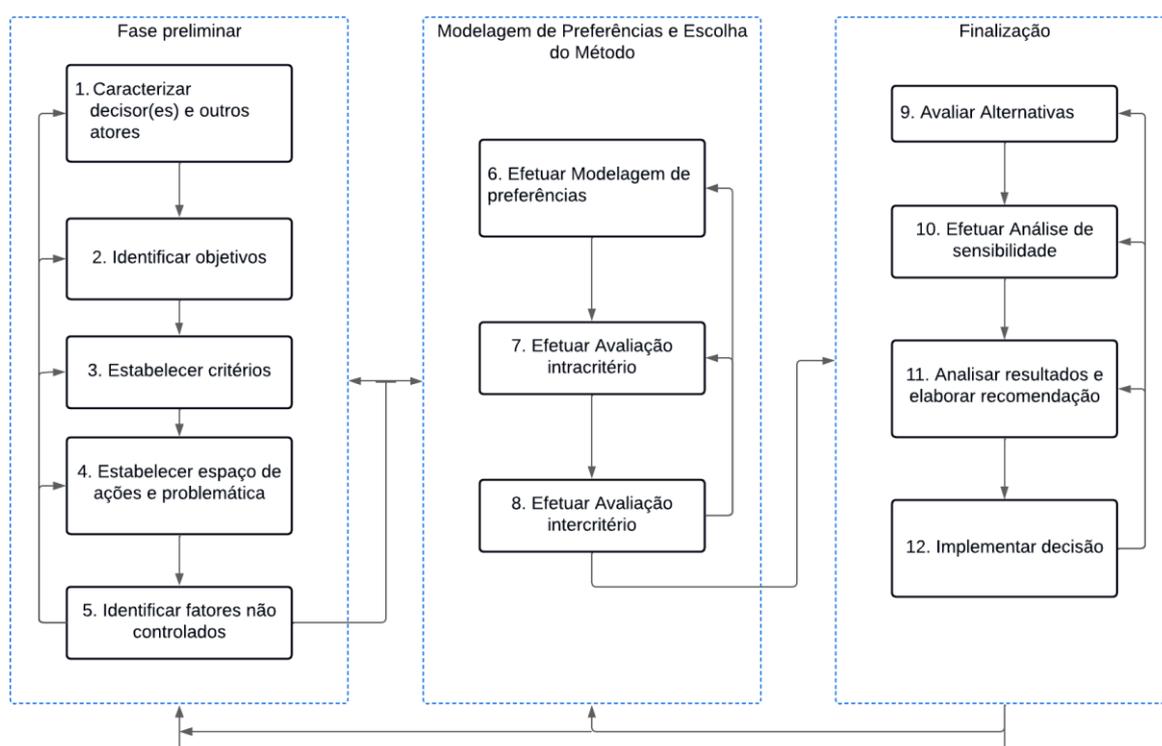
Diferente do AFT, o VFT possibilita a criação de novas alternativas que não eram identificadas naturalmente. Para isso, Keeney (1992) propõe que, inicialmente, o decisor identifique alternativa para cada objetivo de forma isolada. Depois deve ser analisado dois objetivos de maneira simultânea a fim de identificar a alternativa que melhor os atende. Posteriormente três objetivos e assim sucessivamente.

2.1.3 Conceitos Importantes para Construção de um Modelo de Decisão Multicritério

Para construção de modelos de decisão multicritério, o analista deverá ter conhecimento de seus elementos básicos e fundamentais, além de uma boa visão conceitual dos principais métodos de apoio a decisão (DE ALMEIDA, 2013). O autor ainda traz que a modelagem de preferência do decisor, o qual é a figura importante da tomada de decisão multicritério, é um dos vários fatores a serem considerados para construção de um modelo de decisão.

A literatura apresenta que ao longo dos tempos foram desenvolvidos alguns procedimentos (abordagens) para construção de modelo de tomada de decisão (BELTON e STEWART, 2002; ROY 1996). Uma dessas abordagens é a De Almeida (2013) que descreve seu procedimento de construção em três fases e doze etapas interativas, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Procedimento para resolução de um problema de decisão



Fonte: De Almeida (2013).

O procedimento para resolução de problema de decisão proposto por De Almeida (2013) já foi aplicado em diferente contexto de decisão, como, por exemplo por Frej (2017) para seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos; por

Cunha (2019) para construção de um modelo de priorização das operações especiais da Polícia Federal e por Silva (2019) para alocação de recursos no setor elétrico. No contexto de gestão de água, Monte (2018) propôs um modelo individual com base no procedimento de De Almeida (2013) para lidar com a gestão de um sistema de abastecimento de água de um município pernambucano.

Observa-se que a abordagem selecionada para este trabalho oferece suporte ao tomado de decisão em diferentes contextos. Essa abordagem conta tanto com o poder criativo da equipe como com uma base científica. Segundo De Almeida (2013), o diferencial da presença desse poder criativo no processo é a possibilidade de refinamento na modelagem, permitindo assim, sempre que necessário, o retorno a etapas anteriores para realizar melhorias e adequações a fim de tornar o modelo o mais útil possível para o decisor.

No processo de decisão, o decisor é o personagem principal. Por mais que ele receba informações de outros autores dentro desse contexto, cabe apenas a ele a escolha e a responsabilidade. Do decisor são coletados os objetivos, que terão grande influência no modelo final. Para a identificação desses objetivos pode-se recorrer a PSM.

Os objetivos do decisor identificados pelo analista durante a construção do modelo precisam ser mensurados. Assim, por meio dos critérios é possível medir o desempenho obtido no objetivo. O critério deve atender três propriedades, de acordo com Roy (1996), sendo elas a de não redundância; a exaustividade e a consistência.

A quarta etapa do framework está dividida em três ações: estabelecer a estrutura do espaço de ações; determinar a problemática e gerar as alternativas. A estrutura do espaço de ações vai estabelecer um marco importante para escolha do método multicritério a ser utilizado (DE ALMEIDA, 2013).

O espaço pode ser classificado em um conjunto discreto ou um espaço contínuo de alternativas, no qual em um conjunto discreto cada alternativa do conjunto representa um curso de ações. Ele pode ser do tipo estável, ou seja, as alternativas não são alteradas no decorrer da decisão, ou evolutivo, alternativas sofrem alteração durante o processo decisório.

O conjunto ainda pode ser classificado como globalizado ou fragmentado. Em um conjunto globalizado, uma alternativa exclui outra, diferente do fragmentado que permite a combinação de diferentes alternativas do conjunto.

Quanto a definição da problemática, Roy (1996) apresenta quatro problemáticas básicas, os quais são:

- Problemática de escolha (P. α): realizar uma escolha simples dentro de um conjunto de alternativas.
- Problemática de classificação (P. β): alocar as alternativas em classes ou categorias pré-estabelecidas.
- Problemática de ordenação (P. γ): ordenar as alternativas em uma ordem de preferência.
- Problemática de descrição (P. δ): descrever as alternativas e suas consequências para que o decisor possa avaliá-las.

De Almeida (2013) ainda destaca a problemática de portfólio. Essa problemática é bastante aplicada em problema de seleção de portfólio de projeto, visto que sua finalidade é escolher um subconjunto de alternativas em um conjunto grande de possibilidades diante de uma restrição.

Outro elemento importante desse processo são as alternativas do problema. Elas são avaliadas em função das suas consequências. Com isso, as alternativas são um conjunto de ações que podem ser definidas a partir da exploração da mente humana com o auxílio de métodos que facilite esse processo, como, por exemplo um método de estruturação de problemas.

Para representar a preferência do decisor quando realizadas comparações das consequências das alternativas do problema de decisão, é utilizada a modelagem de preferência. As relações binárias são utilizadas para estabelecer um conjunto de pares ordenados (DE ALMEIDA, 2013).

Dentro dessa temática existe duas vertentes de escolas no qual cada uma apresenta suas características bem definidas, sendo uma Escola Americana e a outra a Escola Europeia. De Almeida (2013) afirma que os métodos da Escola Americana têm a característica de agregar os critérios em uma função única (critério único de síntese) enquanto os métodos da Escola Europeia trabalham com relação de sobreclassificação (métodos de sobreclassificação).

De acordo com Roy (1996) na abordagem do Critério Único de Síntese, as preferências do decisor são avaliadas por um conjunto de critérios e agregadas em uma única função valor que será otimizada. Essa abordagem é classificada quanto a racionalidade como método compensatório, em que possibilita a ideia de tradeoff entre os critérios. Ou seja, o pior desempenho de uma alternativa em um critério pode ser compensado por um melhor desempenho em outro critério.

Os métodos de sobreclassificação admitem a relação de incomparabilidade e possibilita a construção de relações de sobreclassificação. Eles são classificados

como não compensatórios, visto que um desempenho ruim de uma alternativa em um critério não pode ser compensado por um bom desempenho em outro critério. Dentro dos métodos de sobreclassificação destacam-se os métodos da família ELECTRE (*ELimination Et Choix la Réalité*) e da família PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*).

Outro ponto que diferencia essas duas abordagens é a interpretação do peso. O peso no método de sobreclassificação refere-se ao grau de importância dos critérios analisados, diferente da outra abordagem, no qual os pesos, denominado constante de escala, representam uma taxa de substituição e não um grau de importância relativa dos critérios.

Ainda na fase de modelagem de preferência e escolha do método, duas avaliações são realizadas durante o desenvolvimento do modelo: a avaliação intracritério e a intercritério. A avaliação intracritério refere-se ao desempenho de cada alternativa em relação a um critério, gerando uma comparação entre as alternativas nesse critério.

Já avaliação intercritério consiste na combinação entre os diferentes critérios. Trata-se das informações que permitem efetuar a combinação quantitativa dos critérios para o processo de agregação com vistas à avaliação das alternativas (DE ALMEIDA, 2013).

A última fase do framework conta com a avaliação das alternativas a partir da aplicação de um método multicritério. Em seguida, o resultado do modelo passa por uma análise de sensibilidade, que a depender do desempenho pode apresentar uma boa robustez do modelo ou pode requerer revisão do modelo. Nessa etapa é analisada a sensibilidade do modelo quando são alterados dados de entrada ou/e outros parâmetros do problema de decisão. O processo de modelagem é concluído com a elaboração das recomendações e implementação da decisão.

2.1.4 Família PROMETHEE

Os métodos da família PROMETHEE são métodos de sobreclassificação ou também chamados métodos outranking. Eles foram propostos pela primeira vez por Brans (1982) e se baseiam na comparação par a par de alternativas em relação a cada critério.

Quanto a estrutura dos métodos, inicialmente, o decisor estabelece o peso de cada critério com base no grau de importância dentro do contexto de decisão.

Conforme De Almeida (2013), a partir dos pesos é possível realizar o cálculo do grau de sobreclassificação para cada par de alternativas avaliadas, como pode ser observado na equação abaixo:

$$\pi(a,b) = \frac{1}{w} w_j F_j(a,b) \quad (1)$$

Onde

$$w = \sum_{j=1}^n w_j = 1 \text{ e} \quad (2)$$

$\pi(a,b)$ – grau de sobreclassificação da alternativa ‘a’ sobre a alternativa ‘b’

w_j – Peso para o critério ‘j’ estabelecido pelo decisor

$F_j(a,b)$ é uma função da diferença $[g_j(a) - g_j(b)]$ entre o desempenho das alternativas para o critério j.

Para estabelecer o valor de $F_j(a,b)$, são apresentados seis tipos de funções generalizadas. Algumas contam com os parâmetros de indiferença e preferência, chamados limiares de preferência (p) e os limiares de indiferença (q). A partir desses limiares, o decisor representa suas preferências e indica qual dessas funções deve ser atribuída a cada critério. Por exemplo, quando o problema trabalha com uma função generalizada que não há parâmetros definidos (critério usual) e a alternativa ‘a’ tem melhor desempenho que a alternativa ‘b’, então $F_j(a,b) = 1$ quando $g_j(a) > g_j(b)$. Caso contrário, $F_j(a,b) = 0$.

De acordo com De Almeida (2013), o decisor pode representar suas preferências usando a forma da função mais adequada para cada critério e, através desses critérios gerais, representar a intensidade da sua preferência.

A Tabela 1 traz as funções generalizadas, ou também chamados critérios gerais, para o PROMETHEE.

Tabela 1 - Critérios generalizados

1. <i>Critério usual</i> : não há parâmetros a ser definido	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 0$
2. <i>Quase critério</i> ; define-se o parâmetro q	$g_j(a) - g_j(b) > q$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 0$
3. <i>Limiar de preferência</i> : define-se o parâmetro p	$g_j(a) - g_j(b) > p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p}$ $F(a, b) = 0$
4. <i>Pseudo critério</i> : definem-se os parâmetros q e p	$g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = 1/2$ $F(a, b) = 0$
5. <i>Área de indiferença</i> : definem-se os parâmetros q e p	$g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a, b) = 1$ $F(a, b) = \frac{(g_j(a) - g_j(b) - q)}{(p - q)}$ $F(a, b) = 0$
6. <i>Critérios gaussiano</i> : o desvio-padrão deve ser fixado	$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	A preferência aumenta segundo uma distribuição normal $F(a, b) = 0$

Fonte: Adaptação De Almeida (2013).

Para cada parâmetro descrito na Tabela 1, Brans e Mareschal (2002) apresentam o significado do ponto de vista do decisor. O Limiar de indiferença (q_j) representa a maior diferença entre $[g_j(a)$ e $g_j(b)]$, abaixo da qual o decisor considera que a e b são indiferentes. O Limiar de preferência (p_j) é o menor valor dessa diferença, acima do qual o decisor exprime uma preferência estrita em favor de uma das ações. Por fim, o Limiar s_j corresponde a um grau de preferência médio e situado entre q e p .

Substituindo os valores dos pesos da equação 1 para todas as comparações entre as alternativas e para todos os critérios é possível identificar os fluxos de importância, também interpretados como índices das alternativas, e conseqüentemente a alternativa dominante. Esses fluxos de sobreclassificação podem ser de entrada (ϕ^-), que representa o quanto a alternativa é dominada, ou de saída (ϕ^+), que condiz com a parte de dominância da alternativa. A diferença entre o fluxo de saída e o fluxo de entrada resulta no fluxo de sobreclassificação líquido.

Esses fluxos são calculados com base na equação abaixo, conforme de Almeida (2013):

$$\phi^+(a) = \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\phi^-(a) = \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

Caracterizando o método PROMETHEE II, tem-se que o cálculo do fluxo líquido é dado por:

$$\phi = \phi^+ - \phi^- \quad (5)$$

Portanto, quanto maior o valor do fluxo líquido, mais preferível é a alternativa.

Dentre os diferentes métodos da família PROMETHEE, o PROMETHEE I (ranking parcial), o PROMETHEE II (ranking completo) e o PROMETHEE V (utilizado em problemática de portfólio), são as mais conhecidas. O PROMETHEE II é indicado para casos de problemática de ordenação, visto que ele fornece uma pré-ordem completa.

Além desses métodos, a literatura apresenta aplicações do método PROMETHEE-ROC. Esse método usa o ROC (*Rank-Order Centroid*) para estabelecer os pesos substitutos dos critérios conforme as preferências do decisor, sem exigir muito esforço cognitivos dele, e do método PROMETHEE II para obtenção do ranking das alternativas.

2.1.4.1 Promethee – Roc

Para obtenção do grau de sobreclassificação no método PROMETHEE II, e consequentemente a ordenação das alternativas do problema, é necessário o conjunto de pesos dos critérios. Os pesos definidos pelo decisor representam a importância de cada critério dentro do contexto de decisão.

No entanto, a definição dos valores precisos dos pesos muitas vezes pode não parecer uma tarefa simples para o decisor, exigindo dele muito esforço cognitivo. Diante disso, foi criado um método que facilitasse o processo de definição dos pesos e exigisse menos esforço do decisor na etapa de elicitação dos pesos. A esse método deu-se o nome PROMETHEE-ROC (CLEMENTE, 2015; MORAIS *et al.*, 2015).

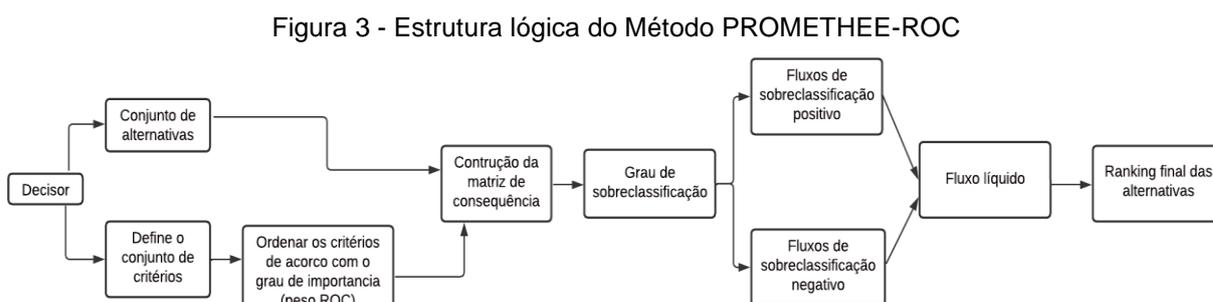
A interação das metodologias de pesos substitutos utilizados no ROC com o método PROMETHEE II é o alicerce para o PROMETHEE-ROC, que é formulado por uma racionalidade não compensatória para definir a ordem que representa a prioridade das alternativas, considerando o desempenho de cada uma delas, assumindo informação ordinal sobre os critérios de avaliação (CLEMENTE, 2015).

Lima e Morais (2002) aplicaram o método PROMETHEE-ROC objetivando priorizar medidas de gestão para redução da demanda de água em um dos prédios de uma instituição pública, uma vez que o decisor não era capaz de fornecer informações completas para definir suas preferências. Esse método não exige muito esforço cognitivo do decisor, visto que são solicitados ao decisor informações parciais para definir suas preferências (LIMA; MORAIS, 2022).

Para a determinação dos pesos é utilizada a equação 6, onde n é referente a quantidade de critérios do problema de decisão, k é a posição do critério de acordo com a ordenação proposta pelo decisor e w é peso substituto do critério i .

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \quad (6)$$

Quanto a estrutura lógica do método PROMETHEE-ROC, a Figura 3 traz uma adaptação da estrutura apresentada por Clemente (2015).



Fonte: Adaptação de Clemente (2015).

2.2 REVISÃO DA LITERATURA

Nessa seção serão apresentadas algumas aplicações do método de estruturação de problema VFT e de métodos multicritério existentes na literatura, aplicados em um contexto de tecnologia sustentável, especialmente na busca de

melhoria nos serviços de saneamento básico, dentre eles abastecimento de água e esgotamento sanitário.

2.2.1 Aplicação do VFT

A aplicação de estruturação de problema na temática saneamento básico ainda é muito restrita. Apesar disso, dentro do contexto de saneamento básico, Monte e Morais (2019) apresentam uma aplicação da abordagem operacional soft em um problema de abastecimento de água. Com base no VFT, os autores identificaram os objetivos do decisor, construíram a hierarquia, definiram os critérios e criaram alternativas para o problema de abastecimento no município de Olinda-PE, com base nos valores do gerente de operação da empresa de abastecimento de água da região.

Em discussão com o decisor Monte e Morais (2019) conseguiram identificar 22 objetivos. Os objetivos refletiam desde interesses financeiros como minimizar custo de operação do sistema, que resultou no atributo “custo de implementação”, a interesses sociais (maximizar a agilidade no atendimento dos consumidores) a partir do atributo “redução esperada de reclamações de consumidores” e interesses ambientais (minimizar as perdas de água) mensurados pelo atributo “índice de perda de água”.

Em outras áreas é possível identificar aplicações do VFT na temática de sustentabilidade. Através da estruturação de problemas, Alencar, Priori, Alencar (2017) apresentaram alternativas mais sustentáveis para o setor da construção civil, como, por exemplo, aquecer a piscina com energia solar no lugar de bomba de energia e sensores de refrigeração para ar condicionados. Os autores, por meio de entrevistas com profissionais da construção civil e professores de engenharia da cidade de Recife, conseguiram identificar os pontos de vista dos entrevistados com relação à inovação e uso de tecnologias mais sustentáveis nas edificações.

Com isso, foram apresentados os objetivos fundamentais e definidos os atributos com base na literatura. Na etapa de geração de alternativas, os autores utilizaram como mecanismos de auxílio os dispositivos análise dos objetivos fundamentais; análise dos objetivos meio-fim e combinação das alternativas. Essas ferramentas de criação de alternativas refletem e combinam os valores do decisor, como esperado pela aplicação da metodologia VFT.

Bortoluzzi *et al.* (2021), também trabalharam com o VFT a fim de identificar os valores do decisor quanto as tecnologias para projetos de geração e distribuição de

energia elétrica. Dentro dessa temática, os autores identificaram lacunas referentes a falta de compreensão e estruturação dos valores de implementação de sustentabilidade na hora de selecionar um portfólio de geração e distribuição de energia. Eles utilizaram o método VFT para garantir essa estruturação e diminuir essa lacuna na literatura.

A partir da aplicação do método de estruturação, eles elencaram os valores dos envolvidos no processo de decisão e converteram esses valores em objetivos que se classificaram em três dimensões: aspectos ambientais, socioeconômicos e tecnológicos. A partir dos valores identificados foram listados 18 projetos para geração e distribuição de energia em várias localidades do Mato Grosso do Sul que incluíam apenas fontes renováveis.

Lima e Morais (2022) trazem a estruturação de problema por meio do VFT como maneira de identificar alternativas para o tratamento de esgoto da zona rural de um município pernambucano. A pesquisa contou com uma entrevista semiestruturada com o decisor municipal responsável pela temática. Por meio do VFT foi possível identificar que os valores do decisor iam desde aspectos sociais, como a qualidade de vida, educação sanitária e saúde da população rural, até aspectos ambientais e técnicos como a contaminação do solo e custo da tecnologia.

As autoras conseguiram, a partir dos valores do decisor, identificar medidas tecnológicas como a implementação do sistema de tratamento descentralizado tanque biodigestor ou bacia de evapotranspiração. Também destacaram as alternativas de medidas educativas como campanhas e orientações de uso de peças sanitárias nas zonas rurais.

2.2.2 Aplicação de Métodos de Apoio a Decisão

No que diz respeito aos métodos multicritério na temática de saneamento básico, mais especificamente tratamento de esgoto, existe mais aplicações do que o VFT. Estas pesquisas usaram os métodos multicritério como uma ferramenta de suporte ao processo de decisão, a fim de obter um resultado em meio a várias alternativas e considerando os diferentes critérios.

Al-Rashdan *et al.* (1999) trabalharam com o PROMETHEE em um problema de decisão em grupo para ordenar projetos para o tratamento de águas residuais na Jordânia. O trabalho foi estruturado em quatro etapas interativas, sendo a primeira a identificação do problema e os objetivos. A etapa seguinte consistia na seleção e teste

dos objetivos fundamentais do ambiente, no qual esses objetivos foram obtidos a partir da construção de um workshop com grupo de interesses ambientais e de especialistas do ministério da Jordânia, e especificação dos critérios e pesos.

Alguns dos critérios eram os efeitos sobre a saúde humana; número de pessoas afetadas; viabilidade técnica e viabilidade econômica. Por fim, foi realizada a definição dos projetos e usado um método dentro da família PROMETHEE para obtenção do ranking final e seleção do projeto. Como resultado, o trabalho apresentou quatro projetos: reabilitação de estações de tratamento de águas residuais no Norte; Reabilitação de estações de tratamento de águas residuais no sul da Jordânia; Reabilitação da rede de água na área da grande Amã e Construção de novas redes e instalações de águas residuais em Amã, Fuheis e arredores.

Oliveira (2004) fez usos da árvore de decisão e análise de sensibilidade para escolha de um sistema de tratamento de esgoto entre as oito alternativas analisadas. Anagnostopoulos, Gratziou, Vavatsikos (2007) usaram o método Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) para selecionar um sistema para o tratamento de águas residuais considerando três conjuntos de critérios: o conjunto econômico, o conjunto de critérios ambientais e os critérios sociais.

Hunt (2013) utilizou Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) para construir de um modelo que auxiliasse o processo de seleção de um sistema tratamento de esgoto para municípios de pequeno porte e para proporcionar ao decisor uma melhor visão do problema. Os critérios determinados para o modelo de decisão dessa pesquisa eram de ênfase econômica (investimento inicial, operação e manutenção, etc.); ambiental (DBO, coliformes fecais, nutrientes, etc.); social (maus odores, ruídos, etc.) e tecnológica (confiabilidade, independência do solo, etc).

Karbal, Karmakar, Asolekar (2013) utilizaram uma abordagem que incorporava opiniões de especialistas no processo de tomada de decisão baseado em cenários para escolha de alternativas para o tratamento de água residual. Essa decisão em grupo apresentada por eles é estruturada no método AHP. Entre os atributos estavam a durabilidade, aceitabilidade e custo do ciclo de vida.

No âmbito de bacia hidrográfica, Reis (2018) propôs um modelo de avaliação multicritério para selecionar um sistema de tratamento de efluente. O modelo contava com dezenove critérios, no qual o autor considerou os aspectos mais globais para toma de decisão dentro desse contexto, sendo esses critérios de eixo ambiental, social, operacional e tecnológico.

Para seleção do sistema, o autor usou a MAUT e a estrutura de preferência para construção da matriz. O peso dos critérios foi definido a partir de três grupos focados na tomada de decisão. Um grupo era os profissionais do segmento acadêmico, o outro a equipe operacional de tratamento de esgoto e por último o grupo de especialistas do segmento de regulação.

Lizot *et al.* (2021) construíram um modelo de apoio a decisão multicritério, estruturado em seis etapas, para selecionar um sistema de tratamento de efluentes. O modelo considerou seus critérios no aspecto econômico (custo de investimento), social (aceitação pública), ambiental (remoção de DQO) e técnico (operação e manutenção; área), totalizando doze critérios e vinte alternativas, obtidas a partir de revisões bibliográficas. Após aplicação do método ELECTRE II, o ranking teve em suas primeiras colocações as seguintes alternativas, respectivamente: infiltração lenta; reato UASB + filtro anaeróbio e infiltração rápida.

Freitas (2020) utilizou análise multicritério, através do método ELECTRE I, para selecionar, dentre as 37 técnicas de tratamento de esgoto utilizado no Brasil, as melhores técnicas para os municípios estudados durante a pesquisa. Não muito diferente dos outros trabalhos mencionados, Freitas (2020) trabalhou com critérios de característica técnica (complexidade e confiabilidade), econômica (investimento e demanda de área), sociais (odor e atração de insetos) e ambientais (lodo líquido a ser tratado).

Na China, Zhang *et al.* (2020), preocupados com as condições sanitárias e a qualidade dos recursos hídricos na zona rural de Xi'an, recorreram ao AHP para escolher o sistema mais adequado para a área estudada. Dentro desse contexto de decisão, no qual entre os critérios estavam o custo de operação, qualidade do efluente tratado, confiabilidade e impacto visual e ruídos, como resultado do processo, os autores identificaram que o Reator de Batelada Sequencial (Sequencing Batch Reactor) seria o sistema de tratamento ideal para a região.

Chaisar e Garg (2022), preocupados com a poluição do recurso hídrico, a degradação ambiental e a 4proliferação de doenças na Índia, desenvolveram um estudo visando auxiliar o processo de tomada de decisão para seleção de tecnologias de tratamento de esgoto na região. Usaram o método multicritério AHP e treze critérios foram considerados, sendo eles de aspecto social (consumo de água e odor), horticultura (pH e coliformes) e aspectos econômicos (custo de operação e manutenção).

2.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O processo de busca por uma tecnologia que sane a deficiência de tratamento sanitário de uma comunidade conta com diferentes critérios de aspectos sociais, ambientais, financeiros e técnicos, como observado no subtópico anterior. No entanto, em sua maioria, esses critérios são implementados no problema a partir de uma revisão de literatura ou análises de especialistas, não existindo uma estruturação prévia do problema para trabalhar a percepção do decisor e delimitar os objetivos relevantes para o tomador de decisão do problema.

O mesmo ocorre na etapa de definição do espaço de ações. Recorrem as possíveis tecnologias existentes na literatura, sem analisar a escolha do tomador de decisão, que muitas vezes fica alheio a essas etapas. Também se percebe que não há tantos trabalhos voltados para o tratamento de esgoto, que realizam a integração de MCDA e estruturação de problema, especialmente para geração de debates entorno da ausência desse serviço em algumas comunidades rurais brasileiras.

Assim, esse trabalho tem por objetivo, estruturar o problema de tomada de decisão, a fim de compreender a percepção do decisor e refleti-la no problema de decisão, e com isso, integrar um PSM, nesse caso o VFT, com um método multicritério, em um modelo de apoio a decisão no contexto de esgotamento sanitário na zona rural. Essa metodologia se apresenta como uma ferramenta de contribuição para gestores públicos na fase de identificação e priorização de medidas para atender o déficit no serviço de esgoto sanitário na zona rural.

3 SANEAMENTO BÁSICO: TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL

Neste capítulo será apresentado um panorama geral a respeito do tema saneamento básico. O capítulo conta com um panorama geral do saneamento brasileiro e uma apresentação da situação do esgotamento sanitário na zona rural. Em seguida será apresentada a diferença entre as abordagens de tratamento de esgoto e suas aplicações.

3.1 SANEAMENTO BÁSICO

Atrelado ao desenvolvimento tecnológico e ao crescimento populacional estão o aumento pela necessidade de recurso hídrico e a geração de efluentes. Diante disso, muito se passou a falar de saneamento básico. O saneamento básico é entendido como a gestão ou o controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos aos seres humanos, prejudicando, portanto, o seu bem-estar físico, mental e social (CARCARÁ; SILVA; MOITA, 2019).

A Lei nº 11.445/2007, considerada a mais importante dentro dessa conjuntura, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Ela define saneamento básico como “um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas” (BRASIL, 2007).

A Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007) tem como princípios imprescindíveis a saúde pública, segurança de vida, proteção ao meio ambiente, adequação a particularidades locais, planejamentos de desenvolvimento urbano e regional, e o combate à pobreza. Essa Lei é um dos grandes marcos dentro desse eixo.

Em 2013 foi aprovado pelo Decreto nº 8.141 o Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB (BRASIL, 2013) que consiste no planejamento integrado do saneamento básico considerando seus quatro componentes descritos pela Lei 11.445/07. Trata-se de metodologias selecionadas para realizar o planejamento determinado pela Lei do Saneamento, por serem métodos que apresentam como princípios a visão dos diversos atores que atuam no setor, como poder público, sociedade civil organizada, prestadores de serviços, trabalhadores, movimento popular, entre outros, o que se consolida mediante a participação social (PEREIRA; HELLER, 2015).

Através do PLANSAB se deu a recomendação do Programa Nacional em Saneamento Rural (PNSR), a fim de minimizar o déficit de atendimento ao meio rural e as especificidades destes territórios, os quais necessitam de abordagens distintas das aplicadas em meio urbano (SCALIZE; BEZERRA, 2020). O PNSR foi elaborado em 2019 pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) em parceria Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A apresentação do documento avança na discussão e consolidação de um conceito de rural orientador do planejamento em saneamento no Brasil e na compreensão de problemas que vêm determinando a ausência de soluções sanitárias adequadas de saneamento básico à população rural brasileira (BRASIL, 2019).

Outro marco dentro do saneamento básico nacional é a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que se enquadra na Lei Federal nº 11.445, de 2007. Conforme o Termo de referência do PMSB (BRASIL, 2018), o plano é um conjunto de diretrizes, estudos, projeto e metas, que por meio de avaliações de salubridade ambiental e avaliações do nível de prestação de serviço, elaboram uma programação de ações e de investimentos necessários para garantir os serviços de saneamento básico. A FUNASA é uma das grandes apoiadoras da elaboração do PMSB e importante órgão para condução de ações de saneamento básico em municípios com população de até 50.000 habitantes.

No ano de 2020 foi aprovado o Novo Marco Legal do Saneamento Básico. A Lei de nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020) prevê a universalização do serviço de esgotamento sanitário em 90% e de abastecimento de água em 99% até 2033 e gera alterações na prestação de serviço de saneamento, possibilitando uma fácil entrada de empresas privadas no setor.

O novo Marco Legal (BRASIL, 2020) intitula uma série de atividade e alterações nas condições estruturais do serviço de saneamento. Exemplos dessas alterações são: o processo de regionalização dos municípios de cada estado; a elaboração de planos regionais para definição das metas e atribuir a Agência Nacional de Águas (ANA) competência para editar e elaborar de normas de regulação de serviço público de saneamento básico, com referência nas diretrizes da Lei nº 14.026/2020.

No estado da Paraíba a regulamentação jurídica de alta relevância dentro do contexto saneamento básico é a Lei nº 9.260/2010 (PARAÍBA, 2010). A finalidade dessa Lei é estabelecer diretrizes de Política Estadual de Saneamento Básico, além de instituir princípios e disciplinar a gestão associada de serviços públicos de

saneamento entre o estado e municípios paraibanos, por convênios de cooperação, e estabelecer os direitos e deveres dos usuários e prestadores desse serviço.

Apesar dos longos anos de discussão sobre os programas de saneamento no Brasil, incluindo a zona rural, e a documentação do PNSR, a situação do saneamento brasileiro, dando ênfase ao esgotamento, ainda é inepta.

3.1.1 Panorama do Saneamento Básico

O Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) responsável pelas informações sobre saneamento todos os anos, desde 1995, coleta dados referentes ao sistema de abastecimento e o serviço de esgotamento do Brasil e disponibiliza em forma de diagnóstico.

O Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto - Visão Geral do SNIS 2020 (BRASIL, 2021a) reuniu informações de 96,1% dos municípios do país. Segundo eles, dos 5350 municípios analisados nessa temática, 5.337 possuem sistema público de abastecimento de água, enquanto os demais recorrem a tecnologias alternativas, como poços e caminhão pipa.

O diagnóstico (BRASIL, 2021a) ainda traz que o Brasil expandiu 47,7 mil quilômetros de rede de abastecimento, um crescimento de 2,7% em relação a 2019 e apresentou um índice de atendimento total de água com redes públicas de abastecimento de 84,1%, sendo que disso, 93,4% refere-se ao índice de atendimento urbano.

Voltando o foco dessa pesquisa para esgotamento sanitário, a Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007) define o serviço de esgotamento sanitário como sendo:

Constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.

Assim, o efluente, se descartado de maneira inadequada, poderá acarretar danos sociais, ambientais e econômicos. Alguns desses danos são a contaminação de rios e córregos; a proliferação de doenças; geração de odores; custo de revitalização dos rios contaminados e custo na saúde devido ao aumento de caso de doenças provenientes da ausência de tratamento de esgoto, como leptospirose e diarreia.

Conforme o último Diagnóstico do SNIS (BRASIL, 2021a), dos 4744 municípios analisados nessa temática (85,2% dos municípios do país), 2807 municípios contam com sistema público de esgotamento sanitário (59,2%), enquanto os demais municípios utilizam de medidas alternativas como fossa rudimentar, vala a céu aberto ou lançamento em curso d'água. Vale lembrar que a amostra da pesquisa abrange 94,6% da população total, no qual 96,4% da população é urbana.

Outro dado do Diagnóstico referente ao esgotamento é a extensão da rede de esgotos. No Norte e Nordeste essa extensão é de 7,3 mil km e 47,8 mil km, respectivamente, enquanto no Sul e Sudeste e de 65,1 mil km e 212 mil km respectivamente. No Nordeste 30,3% da população é atendida com rede pública de esgoto, enquanto no Sudeste esse índice é de 80,5%.

Observa-se que o foco e debates em cima do abastecimento de água refletem nos dados do país. As Instituições e Companhias de Abastecimento e Esgoto ainda propagam uma cultura de visualizar as ações de saneamento de maneira individualizada, assim, focando em ações de abastecimento e preterindo ações de esgotamento, de coleta de resíduo sólido e de drenagem pluvial.

A situação é mais acentuada em alguns contextos específicos, dentre os quais destacam-se pequenos municípios, localidades com população dispersa (como zonas rurais ou periurbanas) e assentamentos e ocupações precários, não regularizadas, ou não planejados. (KIPNIS; CASTRO, 2020).

3.2 ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ZONA RURAL

A infraestrutura inadequada de saneamento é um problema global que afeta particularmente as áreas rurais (HUANG *et al.*, 2022). As taxas de saneamento são mais baixas nas áreas rurais, por exemplo, em 2017, sete em cada dez pessoas que ainda carecia de serviço básico de saneamento viviam na zona rural e um terço vivia em países menos desenvolvidos (UNICEF, 2019; UNITED NATIONS, 2019).

O Brasil possui aproximadamente 30 milhões de habitantes morando na zona rural e comunidades isoladas (IBGE, 2015). Segundo último censo do IBGE, cerca de 75% das residências rurais não possuem sistemas de tratamento ou de destinação adequados de esgoto que, em geral, é despejado em fossas rudimentares, em valas ou, diretamente, no solo ou em córregos, rios e lagoas (SENAR, 2019).

Para WHO e UNICEF (2017) o saneamento básico rural é um tópico preocupante, visto que apesar das políticas públicas que vem sendo desenvolvidas,

ainda é elevado o número de pessoas que vivem na zona rural com recursos inadequados de esgotamento sanitário.

O Panorama de Saneamento Básico do Brasil (BRASIL, 2021b) traz uma análise dos indicadores de 2019 com as metas de atendimento do PNSR para os domicílios rurais. De acordo com a análise feita a partir dos dados do IBGE 2010 e do SNIS 2016 e 2017, eles constataram que 30% dos domicílios rurais são atendidos por rede coletora ou fossa séptica para excretas ou esgoto sanitários e apresentaram uma estimativa, por meio de projeções, que em 2038 esse número de atendidos por rede coletora ou fossa séptica passará de 30% para 76%.

Observa-se que apenas 76% da população rural sendo contemplada por esse serviço ainda representa um baixo índice, principalmente diante da meta de universalização do saneamento básico no Brasil até 2033. Diante dos dados, vê-se a necessidade de medidas, pensadas e imediatas, para o saneamento rural.

A literatura apresenta uma variedade de tecnologias de tratamento de efluente, até mesmo para as áreas que não possuem atendimento com rede de coleta de esgoto. Assim, além dos sistemas de tratamento de esgoto centralizados existem os sistemas descentralizados. Trata-se de sistemas de tratamento mais simples que atende a situações unifamiliar ou a pequenos agrupamentos e comunidade rurais.

3.2.1 Tratamento de Esgoto

De acordo com Von Sperling (2014), o sistema de tratamento de esgoto está associado aos conceitos de nível de tratamento e eficiência de tratamento. O sistema de tratamento está usualmente classificado em quatro níveis, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário.

Além dos níveis de tratamento também existem as abordagens do tratamento de esgoto. De acordo com Tonetti *et al.* (2018) a abordagem pode ser do tipo descentralizada ou centralizada. A abordagem centralizada é a mais utilizada nos centros urbanos. Ela conta com redes coletoras que transportam o afluente das residências e edificações até a estação de tratamento de esgoto.

Para Huang *et al.* (2021), os métodos de tratamento de águas residuais utilizados na zona urbana não são adequados para o tratamento de esgoto rural. Os altos custos do tratamento centralizado dificultam a implantação de estações de tratamento de efluentes, principalmente devido às grandes distâncias em que o

efluente tem que ser transportado, muitas vezes necessitando de estações elevatórias para chegar à área de tratamento (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

As tecnologias descentralizadas passaram a ser uma opção. A coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final ou o reúso da água residual ocorrem próximos ao local da geração, utilizando tubulações menores (diâmetro nominal de 75-150 mm) se comparados aos sistemas centralizados (diâmetro nominal de 150-2000 mm) (HONORATO *et al.*, 2021).

Já existe uma variedade de tecnologias descentralizadas. Exemplos de algumas são wetland, reatores UASB, filtro anaeróbio, que vem sendo usados de forma isolada ou combinada com outras tecnologias como tanques sépticos e bacia de evapotranspiração. Outros exemplos de tratamento descentralizado são as fossas sépticas biodigestoras e vermifiltro.

Analisando o aspecto legal das tecnologias descentralizadas, é possível constatar que na legislação o atendimento descentralizado ainda é um assunto pouco abordado. A Lei Federal nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), que atualiza o Marco Legal do saneamento básico, traz no seu Art. 11-B, § 4º:

É facultado à entidade reguladora prever hipóteses em que o prestador poderá utilizar métodos alternativos e descentralizados para os serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais, remotas ou em núcleos urbanos informais consolidados, sem prejuízo da sua cobrança, com vistas a garantir a economicidade da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

A Lei 11.445 de 2007 por meio do artigo 45, inciso 1º também admite soluções individuais em caso de ausência de rede públicas, visto que as normas editadas pela entidade reguladora sejam atendidas. A Lei ainda traz em seu Art. 48, inciso VII a diretriz de “garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares”. (BRASIL,2007).

Visto que a legislação possibilita a implementação de tecnologias descentralizadas e que a literatura apresenta uma variedade de alternativas, é importante lembrar que antes realizar a escolha, são necessárias análises. A análise de um sistema de tratamento de esgoto deve ser realizada de forma individual, visto que as localidades apresentam demandas distintas. Assim, antes de implementar qualquer tecnologia é necessário pensar na necessidade do local, compreender as características da região, os seus desafios e seus reais interesses.

Apenas uma avaliação multicritério, que considere aspectos econômicos, ambientais, de segurança à saúde, e as resistências da população poderá indicar a melhor alternativa para aquela localidade. (FLORENCIO; BASTO; AISSE, 2006).

3.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Como apresentado nesse capítulo, a pauta do saneamento básico já vem sendo discutida e conta com amparo legal tanto no âmbito nacional como no âmbito estadual, no caso da Paraíba. No entanto, apesar de tantos debates, a situação do saneamento, principalmente do serviço de esgotamento sanitário, ainda tem muito a melhorar. Nas áreas rurais brasileiras, por exemplo, é facilmente constada a ausência de sistema adequado de tratamento e destinação de esgoto.

Assim, medidas e ações imediatas devem ser pensadas para a zona rural. Como apresentado nesse capítulo, a literatura aponta alternativas centralizadas e descentralizadas para tratamento de esgoto. Para área onde é inviável a construção de rede de esgoto, indica-se a implementação de tecnologias descentralizadas. Conforme o Marco Legal do saneamento básico, essas tecnologias são facultadas, podendo ser utilizadas para garantir a economia e a prestação dos serviços públicos de saneamento.

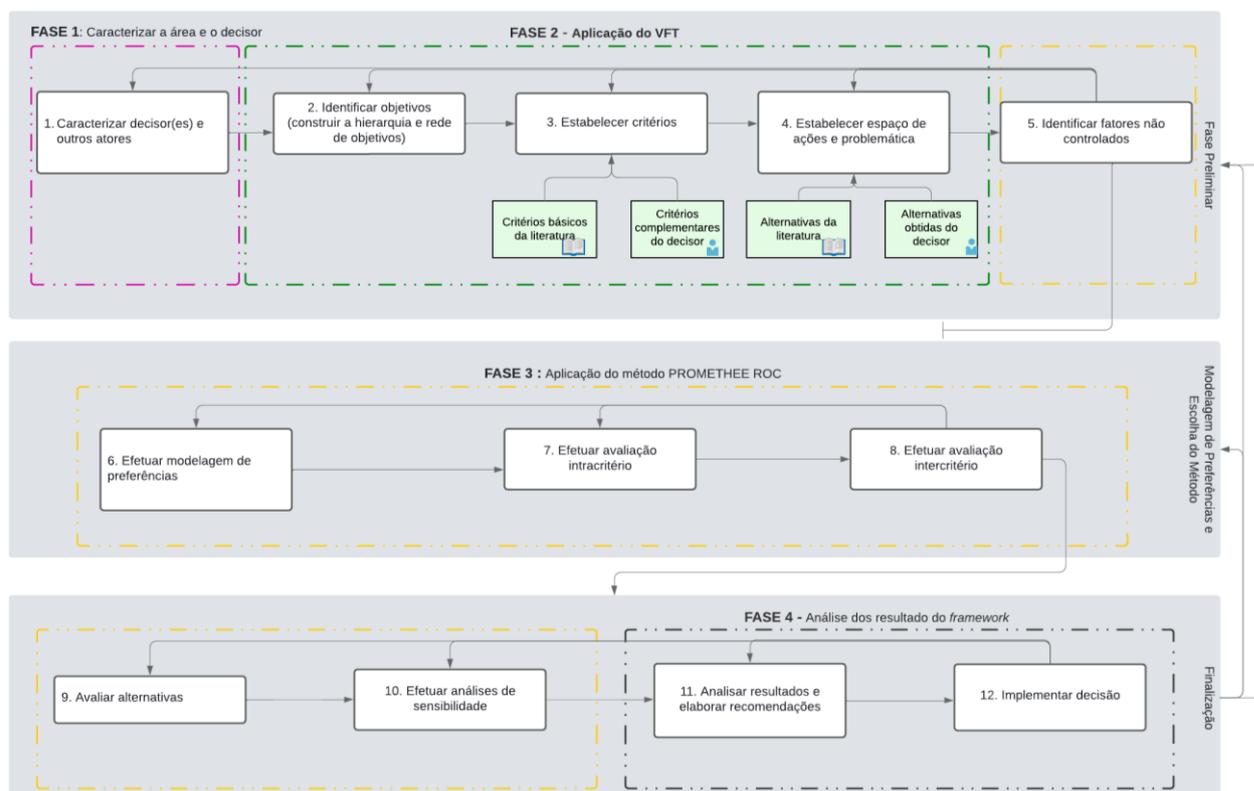
4 PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA ZONA RURAL

Neste capítulo será abordado a descrição do procedimento e apresentação das etapas e do SAD utilizado para construção do modelo para priorização de uma tecnologia de tratamento de esgoto para zona rural. No tópico 4.1 descreve as etapas para construção do modelo, com base no framework proposto por De Almeida (2013), junto com o método VFT para estruturar o problema e incorporar valores inerentes do decisor. O tópico 4.2 apresenta o SAD utilizado para auxiliar a construção do modelo.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO

Visando contribuir para sanar o problema de ausência de medidas sanitárias na zona rural do município descrito acima, foi desenvolvido um modelo de apoio a decisão individual baseado no framework de 12 etapas proposto por De Almeida (2013), como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Etapas para construção do modelo de apoio a decisão para priorização de uma tecnologia de tratamento de esgoto



Fonte: A autora (2023).

O estudo iniciou com o levantamento de dados sobre o problema de saneamento básico no Brasil, dando ênfase ao serviço de esgotamento sanitário, uma

das quatro ações que compõe o saneamento básico. O processo foi afunilado por meio de uma busca na literatura e nas legislações sobre o tratamento de esgoto nas comunidades rurais, principalmente do Brasil.

Para construção do modelo foi necessário a definição da área de estudo. Para isso, ofícios, e-mail e visitas foram os meios utilizados para estabelecer contato com os gestores e representantes dos diferentes municípios do estado da Paraíba e de Pernambuco. A partir do retorno obtido com o município de Pocinhos, foi dado início ao desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho (sequência apresentada na Figura 4).

A primeira etapa do framework contou com a definição e caracterização da área de estudo e do decisor do problema. O decisor foi o representante municipal a frente dessa tomada de decisão. A segunda etapa correspondeu a entender o problema e estruturá-lo. Para o desenvolvimento dessa fase foi aplicado o método de estruturação de problema *Value-Focused Thinking* (VFT).

A aplicação do VFT teve início com a realização de uma entrevista presencial com o decisor da pauta. O processo ocorreu por meio de uma entrevista semiestruturada construída a partir dos seguintes dispositivos propostos por Keeney (1992): lista de desejo; alternativas, metas e restrições; objetivo estratégico; consequências; problemas e deficiências, perceptivas diferentes (Apêndice A). A estrutura do questionário da entrevista também foi baseada no trabalho de Melo (2017), que também utilizou a proposta de Keeney (1992) para a construção do roteiro da sua entrevista semiestruturada.

De acordo com Keeney (1992) os decisores não possuem uma compreensão total de seus objetivos e isso levaria a uma articulação dos objetivos que seria prejudicial para o contexto de decisão. Com isso, o uso do VFT permitiu identificar e estruturar os objetivos do decisor de forma que não prejudique o contexto de decisão e a definição dos critérios e das alternativas para o problema.

A introdução da etapa de estruturação de problema por meio do método VFT é um diferencial desse modelo de apoio a decisão, pois ofereceu liberdade para que o decisor considerasse outros critérios além dos já existentes na literatura. O Quadro 1, construída a partir de uma análise bibliográfica, expõem os principais critérios empregados em outros problemas de decisão dentro do contexto de tecnologias de tratamento de esgoto, que também foram integrados ao modelo por representarem pontos importantes para o decisor.

Quadro 1 - Critérios importantes para o modelo de priorização de sistema de tratamento de esgotos de acordo com a literatura e compatíveis com o decisor

Critérios Autores	Custo: Implant.	Manutenção	DBO	Nitrogênio	Coliformes	Confiabilidade	Simplicidade
Oliveira (2004)	X	X	X	X			
Anagnostopoulos, Gratziou, Vavatsikos (2007)	X	X	X	X			
Hunt (2013)	X	X	X		X	X	X
Karbal, Karmakar, Asolekar (2013)		X		X		X	X
Reis (2018)	X		X	X	X	X	X
Lizot <i>et al.</i> (2021)	X	X	X			X	X
Freitas (2020)	X	X	X		X	X	X
Zhang <i>et al.</i> (2020)	X		X			X	X
Chaisar e Garg (2022)	X	X	X	X	X		

Fonte: A autora (2023).

Critério custo de implementação: o critério custo de implementação corresponde as despesas (em R\$) obtidas com a instalação/construção da tecnologia de tratamento. Para isso, foram analisados os projetos de cada tecnologia e realizado um orçamento simplificado do sistema utilizando a planilha de base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi-PB) 2022. O custo foi analisado para o sistema que atende até 5 pessoas e orçado apenas os insumos.

Critério manutenção: o critério manutenção, na literatura, era analisado tanto no seu viés econômico através do custo de manutenção como no viés técnico através da simplicidade e frequência de manutenção. Nesta pesquisa foi analisado o aspecto técnico desse critério.

Critério DBO: a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é bastante utilizada como parâmetro químico para mensurar a qualidade do efluente final em um processo de seleção de tecnologia de tratamento. A legislação que dispõe sobre os limites desse parâmetro, dado que a destinação final do efluente seja o lançamento em corpos de águas receptores, é a Resolução nº 430 da CONAMA, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011). A resolução traz que para ser lançado no corpo receptor, o efluente deve apresentar uma redução mínima de 60% do DBO. Com isso, o esperado é que a redução de DBO seja acima de 60%.

Critério nitrogênio: a depender da sua concentração, o nitrogênio pode conduzir a um elevado crescimento de algas em lagos. Além disso, esse elemento na forma de

nitrito está associado a doenças como, por exemplo, a metahemoglobinemia. Por isso espera-se uma redução na concentração desse elemento no elemento tratado.

Critério coliformes: de acordo com Von Sperling (2014), a determinação da potencialidade de transmitir contaminantes para o solo e para as pessoas, de maneira direta pelo contato com a água ou indireta pelo contato com o solo, é indicada de forma indireta pelo indicador contaminação fecal, principalmente do grupo de coliformes, os quais são organismos prejudiciais à saúde.

Critério confiabilidade: Esse critério refere-se à probabilidade de que ocorra falha mecânica ou de operação no processo de tratamento do efluente. Esses parâmetros estão ligados diretamente a funcionalidade do sistema.

A descrição dos níveis desse critério teve como referência os níveis adotados por Von Sperling (2014), como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição dos níveis do atributo confiabilidade

Níveis	Descrição dos Níveis
1	O sistema apresenta um resultado mais desfavorável no critério confiabilidade. Ou seja, altíssima chance de falha no processo de tratamento.
2	O sistema apresenta um resultado desfavorável no critério confiabilidade. Ou seja, alta chance de falha no processo de tratamento.
3	O sistema apresenta um resultado intermediário no critério confiabilidade.
4	O sistema apresenta um resultado favorável no critério confiabilidade. Ou seja, baixa chance de falha no processo de tratamento.
5	O sistema apresenta um resultado mais favorável no critério confiabilidade. Ou seja, baixíssima chance de falha no processo de tratamento.

Fonte: Adaptação de Von Sperling (2014)

Critério simplicidade: vários fatores influenciam na simplicidade de um sistema, tais como, necessidade de treinamento do operador, dificuldade de operação e necessidade de atividades rotineiras. Von Sperling (2014) apresenta níveis para analisar a simplicidade das tecnologias de tratamento de esgoto.

Para este trabalho, os níveis foram definidos com base no grau de treinamento e conhecimento exigido da população rural que irá operar o processo, além das dificuldades intrínseca a operação. Para construção dos níveis foi utilizado com referência o quadro de avaliação apresentado por Von Sperling (2014), como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Descrição dos níveis do critério simplicidade na capacitação e operação da tecnologia

Níveis	Descrição dos Níveis
1	A tecnologia é a mais desfavorável no aspecto simplicidade operacional e didática. Ou seja, exige um elevado grau de treinamento e conhecimento de operação e demanda materiais complementares
2	A tecnologia é desfavorável no aspecto simplicidade operacional e didática. Ou seja, exige treinamento e conhecimento intermediário de operação e demanda materiais complementares
3	A tecnologia é intermediária no aspecto simplicidade operacional e didática. Ou seja, exige treinamento e conhecimento intermediário de operação e funciona sem materiais complementares
4	A tecnologia é favorável no aspecto simplicidade operacional e didática. Ou seja, exige pouco treinamento e conhecimento intermediário de operação e funciona sem materiais complementares.
5	A tecnologia é a mais favorável no aspecto simplicidade operacional e didática. Ou seja, exige pouco treinamento e baixo conhecimento de operação e funciona sem materiais complementares

Fonte: Adaptação de Von Sperling (2014)

No entanto, os pontos relevantes para o decisor, dentro desse problema de decisão, iam além dos que estavam expostos na literatura. Com isso, o modelo permitiu inserir os de critérios já predefinidos em revisão literária e novos critérios relevante para o decisor, a partir a aplicação do VFT, como mostra a Figura 4.

O *framework* (Figura 4) está dividido em 3 fases, sendo elas: fase Preliminar; Modelagem de preferência e escolha do método e Finalização. Cada uma dessas fases é constituída por etapas integradas, que juntas contabilizam 12 etapas. Na primeira fase ocorreu a estruturação do problema e definição de elementos básicos para construção do modelo. Entre esses elementos estavam a definição do (s) decisor (es) e outros atores envolvidos, identificação dos objetivos, critérios e conjunto de alternativas e definição da problemática.

Na etapa de estabelecimento do espaço de ações foi identificado um conjunto de alternativas discretas, compostas por 7 tecnologias. Os autores mencionados no Quadro 1 apresentam diferentes alternativas de tratamento de esgoto que se adequam a áreas isoladas como as micropropriedades do município de Pocinhos – PB.

Para seleção das alternativas, foram utilizados dispositivos sugeridos por Keeney (1992). Entre eles estão o uso dos objetivos fundamentais e meios, os

atributos, a combinação de alternativas e a análise da rede de objetivos meios do decisor. Esses dispositivos foram utilizados para auxiliar a identificação e seleção das alternativas que atingiam os objetivos do decisor.

Assim, foi possível extrair da literatura alternativas que atendessem os objetivos dos decisores, como, por exemplo:

Reatores: O principal reator analisado em quase todos os trabalhos apresentados no Quadro 1 é o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). É uma tecnologia bastante difundida e no nordeste brasileiro é estudada por instituições como o INSA (Instituto Nacional do Semiárido) e o Patac (Programa de Aplicação de Tecnologias Apropriadas).

Wetland construído: é uma tecnologia formada por canais que podem ser posicionados no solo e posteriormente impermeabilizado. Posteriormente esses canais são preenchidos por diferentes camadas de matérias porosas como britas, cascalho e areia grossas. Mudanças de diferentes espécies vegetais são implementadas no sistema que se desenvolvem a partir do biofilme bacteriano que forma nas camadas do WC.

Tanque sépticos + filtro anaeróbio: o tanque séptico é o sistema descentralizado mais conhecido do Brasil e bastante aplicada nas áreas rurais. Associado a esse sistema estão outras tecnologias que atendam a função de disposição final do efluente. Entre as mais comuns estão os sumidouros e os filtros anaeróbios.

Filtros biológicos e Biofiltros: após buscas na literatura, foi identificado projetos desenvolvidos no Brasil, dentro desse contexto, que trabalham com filtros biológicos do tipo vermifiltro, como, por exemplo, o projeto Bioágua – vermifiltro (GOUVEIA, 2019; SANTIAGO *et al.*, 2015). O vermifiltro é um filtro biológico que se divide em duas partes, sendo a parte superior constituída por humus, serragem e minhocas e a parte inferior composta por matérias responsáveis pela filtração.

Foi possível também identificar outras alternativas a partir de sugestões do decisor durante a aplicação do VFT.

Identificados as alternativas e os critérios do problema de decisão, foi construída a matriz de consequência do modelo. Dada a impossibilidade de construir escalas pilotos de cada sistema ou até mesmo implementar as tecnologias nas comunidades do município para análises, foi realizada uma busca bibliográfica em periódicos e trabalhos acadêmicos científicos, a fim de construir um banco de dados para definição das consequências da matriz.

Assim, para cada alternativa do problema foi realizada uma busca na literatura e selecionados, entre os principais periódicos, os trabalhos mais recentes referentes a implementação desses sistemas em cidades de pequeno porte e áreas rurais. Entre os trabalhos selecionados, são destaque autores referência na área de saneamento, como, por exemplo, Von Sperling (2014) e Tonetti *et al.* (2018).

Concluída essa primeira fase do framework, iniciou a fase de modelagem de preferência e escolha do método. Nessa fase foram definidos fatores que influenciavam diretamente na escolha preliminar do método, como, por exemplo, a definição da racionalidade do decisor e a sua preferência dentro do conjunto de consequências. De Almeida (2013) salienta a necessidade de entender a diferença entre métodos compensatórios e não compensatórios e conhecer a racionalidade do decisor.

Como propõe o framework, foi realizada a avaliação intracritério e a etapa de avaliação intercritério. No método de sobreclassificação a avaliação intracritério é dada pela definição dos critérios generalizados referente a cada critério e seus limiares de preferência e indiferença, caso apresentem. A seleção do tipo de critério generalizado associado a um critério tem um papel muito importante porque permite ao decisor ampliar ou atenuar o impacto desse critério sobre o processo de decisão (ALENCAR, 2003).

A etapa seguinte foi a avaliação intercritério. Nos métodos de sobreclassificação essa avaliação se dar por meio da atribuição dos pesos dos critérios a partir do grau de importância do decisor. Na fase de finalização as alternativas foram avaliadas a partir da aplicação do método, que nesse caso foi o PROMETHEE-ROC, e realizada a análise de sensibilidade.

De Almeida (2013) relembra que não há modelo correto, há modelo útil. Por meio da análise de sensibilidade foi possível identificar em que pontos o modelo era mais sensível a alterações e como refletiam diretamente na ordem do resultado, e a partir disso investigar formas de fortalecer esses pontos e parâmetros do problema.

Por fim, a quarta etapa do processo metodológico da pesquisa contou com a apresentação do ranking final, obtido a partir do modelo de apoio a decisão individual. A partir dos resultados foram apresentadas recomendações quanto ao resultado do modelo e quanto a implementação da decisão, sendo as duas últimas etapas do framework De Almeida (2013).

4.2 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO DO PROMETHEE – ROC

O sistema de apoio a decisão “*ROC and ratio elicitation for PROMETHEE Ranking with Monte Carlo Sensitivity and Kendall Test via web*” (**PROMROCnRATIO**) é um aplicativo que implementa o método PROMETHEE II em conjunto com a metodologia ROC objetivando auxiliar o processo de tomada de decisão por meio de um programa que minimiza o esforço do usuário no processo de elicitação dos pesos.

Esse aplicativo, desenvolvido no laboratório CDSID (*Center for Decision Systems and Information Development*) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e tem sua interface apresentada na Figura 5, foi utilizado para construção do modelo descrito no tópico anterior.

Figura 5 - Interface do aplicativo PROMETHEE - ROC

The screenshot shows the main interface of the PROMETHEE WebAPP. At the top, there are logos for INCT (Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia), INSID (Instituto Nacional de Sistemas de Informação e Decisão), and PROMETHEE WebAPP (MCDM/A Decision Support Systems with PROMETHEE methods). Below the logos, a message reads: "Acesse os aplicativos do PROMETHEE" and "Caro usuário, este sistema está em fase de testes. Em situações inesperadas, por favor entre em contato por este endereço: secinsid@insid.org.br". The main content area is titled "Explore os aplicativos desenvolvidos pelo CDSID:" and lists three applications: 1. PROMC-optimal: Portfolio Analysis with c-optimal PROMETHEE via web. 2. PROMROCnRatio: ROC and Ratio elicitation with PROMETHEE Ranking via web. 3. PROMROC-Sort: ROC elicitation with PROMETHEE Sorting via web. Each application has a brief description of its methodology. At the bottom left, there is a link "Clique aqui para realizar um NOVO cadastro." and at the bottom right, a "Código de Ativação" form with fields for "E-mail" and "Código" and a "Validar" button. The footer contains the text "Developed by CDSID Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Management Engineering Department +55 81 2126 8728 www.cdsid.org.br".

Fonte: <http://cdsid.org.br/prometheeroc/>

Através de uma permissão de acesso ao aplicativo, o analista pôde alimentar o *software* com as informações coletadas do decisor e obter como resultado o ranking final das alternativas, além de realizar a análise de sensibilidade.

Quanto ao uso do aplicativo, o **PROMROCnRATIO** solicitou que o usuário realizasse *input* de algumas informações. Essas informações estavam contidas em uma planilha padrão disponibilizada pelo aplicativo. Entres as informações solicitadas

estavam: critérios; alternativas; as consequências; função de preferência dos critérios; limiares (caso exista); direção de preferência dos critérios; escala dos critérios.

Após submissão da matriz e verificação dos parâmetros, o usuário foi direcionado para elicitación dos pesos por meio do ROC. Coube ao decisor ordenar os critérios com base na sua importância, onde nas primeiras posições estavam os critérios mais importantes para o decisor e nas últimas os critérios menos importantes. Assumindo a ordenação dos critérios a partir do grau importância dado a eles pelo decisor, o *software* calculou o peso substituto dos critérios pelo ROC através da equação 6 apresentada no tópico 2.4.4.1.

Concluída a etapa de elicitación dos pesos, o decisor solicitou o resultado calculado pelo programa através do método PROMETHEE II, onde o ranking final foi obtido a partir da análise do grau de sobreclassificação e, conseqüentemente, do resultado de fluxo líquido. Como resultado do *input* dos dados provenientes dos valores do decisor, foi obtido o ranking final das alternativas, a ilustração gráfica e uma tabela do fluxo total e a matriz final do PROMETHEE II, com os índices de preferência.

Além da ordem final das alternativas e os fluxos, o programa possibilitou a efetuação da análise de sensibilidade baseado nos pressupostos de Monte Carlo. Essa função do *software* permitiu que o decisor analisasse e flexibilizasse diferentes parâmetros do problema, como os critérios e consequências da matriz, além de permitir que ele escolhesse se deseja variar todos ou apenas um conjunto de parâmetros.

Com isso, o decisor pôde variar em uma porcentagem preestabelecida os valores de entrada da matriz de consequência para os critérios selecionados, sem alterar as atribuições dos pesos, por exemplo. A última etapa do SAD para realização da análise de sensibilidade foi a indicação do nível de significância para avaliação da hipótese nula de que não há relação entre resultado original e simulação. O nível de significância assumido neste trabalho foi de 0,05. A partir dessas informações foi verificada a porcentagem de permanência da alternativa na sua posição original no ranking durante as simulações e o percentual de vezes que a alternativa assume outras posições. O programa realizou até 100.000 simulações.

4.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Esse capítulo apresentou o processo metodológico para construção do modelo de apoio a decisão para priorização de tecnologias de tratamento de esgoto para zona

rural. O procedimento foi dividido em quatro fases. As fases consideram todas as etapas apresentadas no *framework* proposto por De Almeida (2013).

A segunda fase consiste na aplicação do método de estruturação de problemas VFT, no qual, nas etapas de estabelecimento dos critérios e alternativas, é possível realizar *inputs* de critérios e alternativas existentes na literatura, como também acrescentar critérios novos e alternativas novas definidos a partir dos valores do decisor.

Para desenvolvimento do modelo, foi proposto o sistema de apoio de decisão do PROMETHEE - ROC, que conta com a metodologia ROC para elicitar os pesos do problema de decisão e o PROMETHEE II para obtenção do ranking das alternativas que serão priorizadas.

5 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO NO CASO DE POCINHOS – PB

Nessa seção será aplicado o modelo proposto para priorização de uma tecnologia de tratamento para zona rural do município de Pocinhos-PB. Para isso, será utilizado o VFT, visando estruturar o problema, e o sistema de apoio a decisão do PROMETHEE-ROC como ferramenta metodológica para aplicação do modelo.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Pocinhos é um município situado na mesorregião do agreste do estado da Paraíba e na microrregião do curimataú ocidental (Figura 6). De acordo com o IBGE (2021), o município possuía em 2021 uma população estimada de 18.848 habitantes e uma área territorial de 623,967 km². Segundo o último censo do IBGE (2010) apenas 37,5% da população possui esgotamento sanitário adequado.

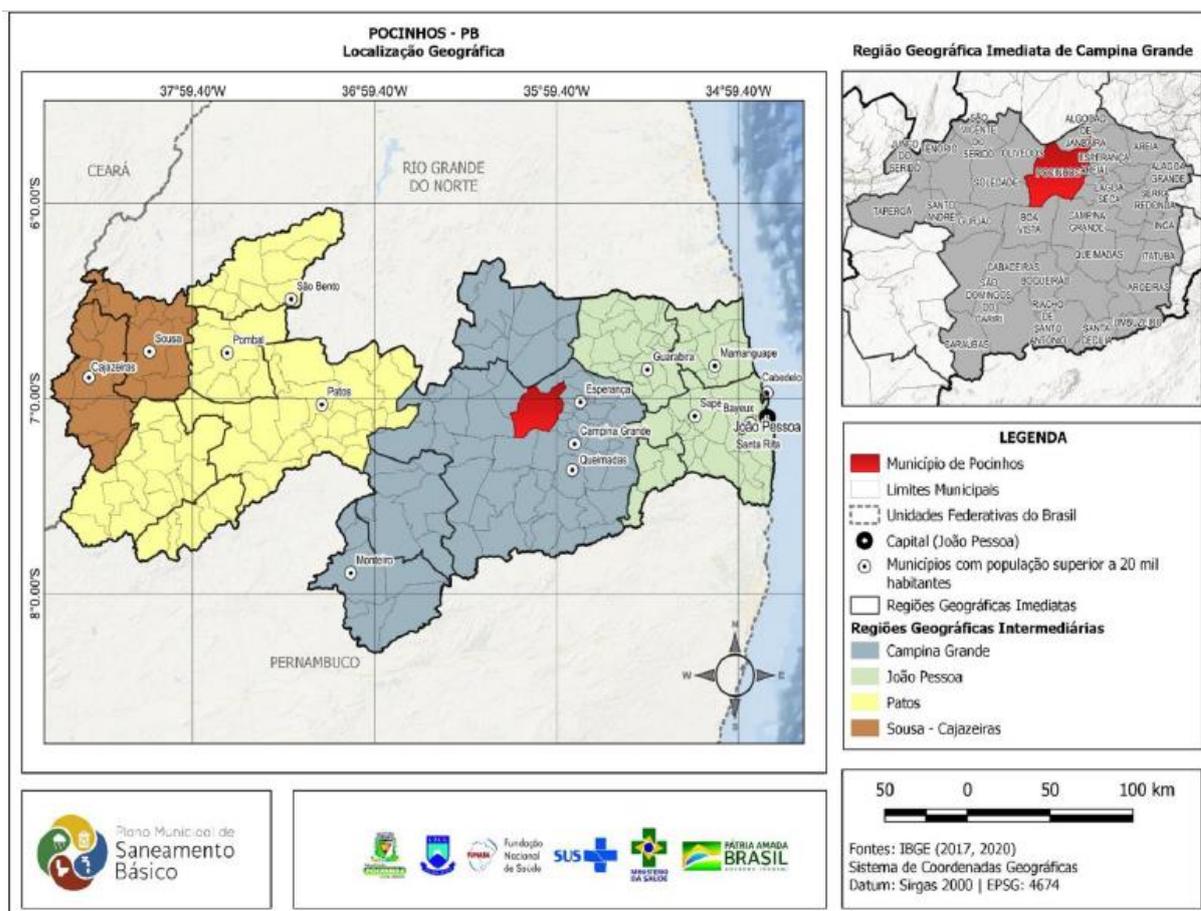
Pocinhos possui um clima semiárido e está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Curimataú Rio Paraíba. Os principais cursos d'água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (PMSB-PB/UFCG; 2021). Os corpos de água dessa região se enquadram na classe 2, onde as águas são destinadas às atividades como abastecimento e irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, de acordo com o DZ 201 – classificação das águas interiores do Estado.

Ele é um dos 49 municípios paraibanos que está participando da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), com a FUNASA e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Ambas firmaram parceria através de um Termo de Execução Descentralizada (TED), que visa celeridade na formulação e execução dos serviços de abastecimento e esgotamento do estado.

A equipe do PMSB-PB/UFCG (2021) construiu um documento intitulado Diagnóstico Técnico-Participativo no qual contempla as principais características territoriais do município e as principais informações referentes ao serviço de saneamento básico de Pocinhos.

Segunda a equipe do PMSB-PB/UFCG (2021), Pocinhos conta com dois distritos, o distrito sede e o distrito de Nazaré. Além disso, possui um povoado, Jardim Bela Vista; alguns projetos de Assentamento Rurais, voltados para produção agrária e direcionados para o reordenamento do uso da terra em benefício do povo rural; e uma predominância de pequenas micropropriedades na zona rural.

Figura 6 - Localização do município de Pocinhos-PB no estado da Paraíba



Fonte: PMSB-PB/UFCG (2021)

5.1.1 Característica da população rural e do esgotamento sanitário da zona rural de Pocinhos

Na relação urbano-rural, o município de Pocinhos apresenta um equilíbrio percentual. Com base no último censo (IBGE, 2010), a população rural é cerca de 43,5% da população total. Esse dado está melhor detalhado no Anexo A, que traz da situação do setor censitário do município.

Conforme o Diagnóstico Técnico-Participativo (PMSB-PB/UFCG, 2021), o município tem um grande desafio na zona rural, a começar com as condições de moradia. Apenas 4,2% das habitações de interesse social foram classificadas como adequadas (contempla todos os serviços de saneamento) e 74,3% foram consideradas inadequadas (não possuem rede de abastecimento de água, rede geral de esgoto e coleta de lixo), assim classificadas de acordo com as categorias do IBGE (2010).

Portanto, nota-se que é grande o número de moradores da zona rural do município sem acesso aos serviços de saneamento, mesmo que na espera municipal exista uma Lei que trate dessa temática. De acordo como a equipe PMSB-PB/UFCG, a partir da Lei Orgânica do Município de Pocinhos – PB (POCINHOS, 2009) é possível construir uma percepção inicial de como o direito ao saneamento básico deverá ser promovido no município.

A Lei municipal (POCINHOS, 2009) traz que é responsabilidade do município a prestação do serviço público que atenda os interesses e necessidades locais, sob regime de concessão ou permissão, no qual sempre estarão sujeitos a fiscalização, buscando garantir o bem-estar dos seus munícipes, ampliando a responsabilidade na prestação dos serviços de saneamento, executando programas de saneamento e educação principalmente nas áreas mais pobres.

A partir de análises e dados do IBGE (2010) a equipe do PMSB-PB/UFCG (2021) fez uma classificação dos serviços de esgotamento (Quadro 4). O serviço era considerado satisfatório quando atendia a 100% da população. O serviço era deficiente quando ainda não atingia a universalização da cobertura do serviço em todo o território municipal ou apresentava más condições de funcionamento dos sistemas. Ele era inexistente quando não era ofertado por prestadora ou prefeitura.

Quadro 4 - Conformidade legal dos serviços de esgotamento sanitário

SERVIÇO: ESGOTAMENTO SANITÁRIO			
PRINCÍPIO LEGAL	GRAU DE CONFORMIDADE LEGAL		
	S	D	I
Universalização do acesso ao esgotamento sanitário		X	
Integralidade do serviço de esgotamento sanitário			X
Adequação à saúde pública e à proteção ao meio ambiente		X	
Adequação às peculiaridades locais e regionais dos processos e técnicas		X	
Articulação com outras políticas públicas			X
Eficiência e sustentabilidade econômica			X
Tecnologias apropriadas (gradualismo e capacidade de pagamento)			X
Transparência e processos decisórios institucionalizados			X
Controle social			X
Segurança, qualidade e regularidade		X	
Interação do saneamento básico com a gestão dos recursos hídricos		X	
Legenda: S – satisfatório; D – deficiente; I - inexistente			

Fonte: Adaptação de PMSB – PB/UFCG (2021)

Quanto ao sistema de esgotamento da zona rural, ele é composto de soluções individuais, como fossas rudimentares ou descarte a céu aberto sem tratamento. Segundo as consultas públicas realizadas pela equipe do PMSB-PB/UFCG (2021), 70% da população questionada afirmou que tem prática individual de reúso do esgoto bruto ou tratado, relacionadas à rega de plantas, dessedentação animal, agricultura e pastagem. Através do Diagnóstico Técnico Participativo, a equipe apresentou um resumo dos dados do IBGE (2010) referentes ao sistema de esgotamento sanitário da zona rural de Pocinhos, como pode ser observado na Tabela 2 e no Anexo B desta pesquisa.

Tabela 2 - Sistema de esgotamento sanitário da zona rural do município de Pocinhos-PB

Informações	Domicílios	%
Quantidade de domicílios existentes	2006	100%
Quantidade de domicílios atendidos por rede de esgoto e pluvial	65	3,24%
Quantidade de domicílios atendidos que usam fossa séptica	349	17,10%
Quantidade de domicílios atendidos que usam fossa rudimentar	1062	52,94%
Quantidade de domicílios atendidos que lançam esgoto in natura em vala	288	14,36%
Quantidade de domicílios atendidos que lançam esgoto in natura em rio, lago ou mar	3	0,15%
Quantidade de domicílios que lançam esgoto em outro escoadouro	76	3,79%
Quantidade de domicílios que não tinham banheiro de uso exclusivo nem sanitário	161	8,03%

Fonte: Adaptação IBGE (2010)

Nas zonas rurais do município, utilizam-se de fossas rudimentares, com despejo de águas cinzas a céu aberto, ou é reaproveitada para descarga da bacia sanitária ou irrigação de plantas (PMSB-PB/UFCG, 2021). O documento destaca que algumas casas do Povoado Arruda e no Sítio Pedra Redonda ainda não possuem banheiro. A ausência de banheiros individuais é uma grande preocupação para os gestores e para equipe do PMSB, dado que a ausência de medidas sanitárias como essa pode acarretar danos, além de ambientais, sociais, afetando a saúde da

população rural através da propagação de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI).

5.2 ETAPAS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO

5.2.1 Fase 1: Definição da Área de Estudo

Na etapa de construção da fundamentação teórica foi identificado que alguns municípios paraibanos estavam em processo de elaboração de seus Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Enquanto isso, no estado do Pernambuco, representantes estaduais em parceria com os municípios e a companhia de água estavam mapeando e caracterizando as zonas rurais e o saneamento rural desses municípios.

No estado da Paraíba, apenas o município de Pocinhos-PB se dispôs a participar e contribuir com a pesquisa. Conforme o último censo demográfico (IBGE, 2010), município possui uma população rural de, aproximadamente, 43,5%, no qual engloba cerca de 2006 domicílios. Ainda de acordo com o Censo, a principal medida adotada por esses domicílios rurais para destinação do esgoto são as fossas rudimentares (52,94%) e outros 288 domicílios lançam o esgoto in natura em vala.

Diante desse déficit sanitário e da necessidade de garantir uma destinação adequada do esgoto da zona rural, como é esperado pela legislação e pelos ODS, o município busca medidas que levem ao alcance dessas metas.

Os contatos com a equipe gestora do município foram realizados por trocas de e-mails e ofício, a fim de explicar a finalidade da pesquisa e conhecer o processo de gestão dos municípios, seguido de uma entrevista pré-agendada com a gestora da pauta. A entrevista visava, além de conhecer melhor a área de estudo, identificar os principais objetivos e novas possíveis alternativas através da aplicação do VFT. A primeira entrevista ocorreu de forma presencial e os demais contatos com a gestora para refinamento do modelo, como, por exemplo, para apresentar os objetivos identificados, as possíveis alternativas e validá-los e elicitando os pesos, ocorreram de forma virtual, sendo dois encontros remotos e trocas de e-mails.

1 – Caracterização do decisor e outros autores.

O processo de escolha de uma tecnologia de tratamento não consiste em uma ação simples. Muitas pessoas estão envolvidas nessa tomada de decisão, como, por exemplo: os moradores, no qual apresentarão suas necessidades e condições; a

equipe técnica com seu conhecimento técnico do processo, como os engenheiros, e a equipe de governo, que em sua maioria são responsáveis pelo repasse financeiro.

Este problema contou com um decisor individual, pois cabia ao secretário da pasta as responsabilidades da decisão. O decisor, que estabeleceu contato com os demais envolvidos no contexto de decisão, sofre influências de outros atores do problema de decisão, mas é de sua competência escolher a ação que será implementada e as responsabilidades e consequências da escolha.

O decisor é secretária a frente da pasta que debate e decide medidas voltadas para as zonas rurais. A gestora tem experiência profissional em projetos e tecnologias ambientais, principalmente de manejo de água, voltado para zona rural de Pocinhos e de outros municípios de pequeno porte da região.

5.2.2 Fase 2: Estruturando o problema

O primeiro contato com o decisor ocorreu de forma virtual em 25 de maio de 2022 através do envio de ofício e ligações. O início da etapa de estruturação do problema ocorreu dia 11 de julho de 2022 por meio de uma entrevista presencial no município de Pocinhos-PB com a gestora. A entrevista contava com um roteiro semiestruturado nas diretrizes propostas por Keeney (1992) para aplicação do VFT e tinha a finalidade de identificar os objetivos do decisor.

O roteiro da entrevista está apresentado no Apêndice A. Antes da identificação de fato dos objetivos, foi explicado o formato da entrevista, que contava com uma troca de perguntas e respostas, foi realizada uma apresentação da proposta de pesquisa e seus fins, seguido de uma caracterização da área por parte do decisor. A validação da entrevista, a apresentação dos resultados e demais debates referentes a pesquisa ocorreu de forma virtual entre o analista e a gestora.

A entrevista foi conduzida de uma maneira que o decisor tivesse liberdade de falar abertamente sobre o tema. Algumas perguntas estavam previstas na entrevista, enquanto outras surgiram a partir das respostas da gestora.

Por exemplo, a gestora afirmou que já havia debates a respeito de tratamentos de esgoto para zonas rurais. A partir desse ponto surgiu o questionamento se ela já teria identificado algum sistema que se adequava a realidade do município. A gestora se mostrou confortável com a entrevista, compreendendo que o processo objetivava estimular sua mente a cada troca de perguntas e respostas.

No tópico seguinte será destacado os principais pontos da entrevista e os resultados obtidos.

2 – Identificação dos objetivos.

Como resultado da entrevista, foi possível identificar o objetivo estratégico, os objetivos fundamentais e os objetivos meio-fim do decisor. Os objetivos fundamentais, os pontos importantes que o decisor deseja alcançar, conseguiram ser estruturados em 4 eixos: aspecto ambiental; aspecto social; aspecto econômico e aspecto técnico. Esse conjunto de eixos são constituídos por 9 objetivos, que estão estruturados em uma hierarquia de objetivos fundamentais, como pode ser observado no Quadro 5.

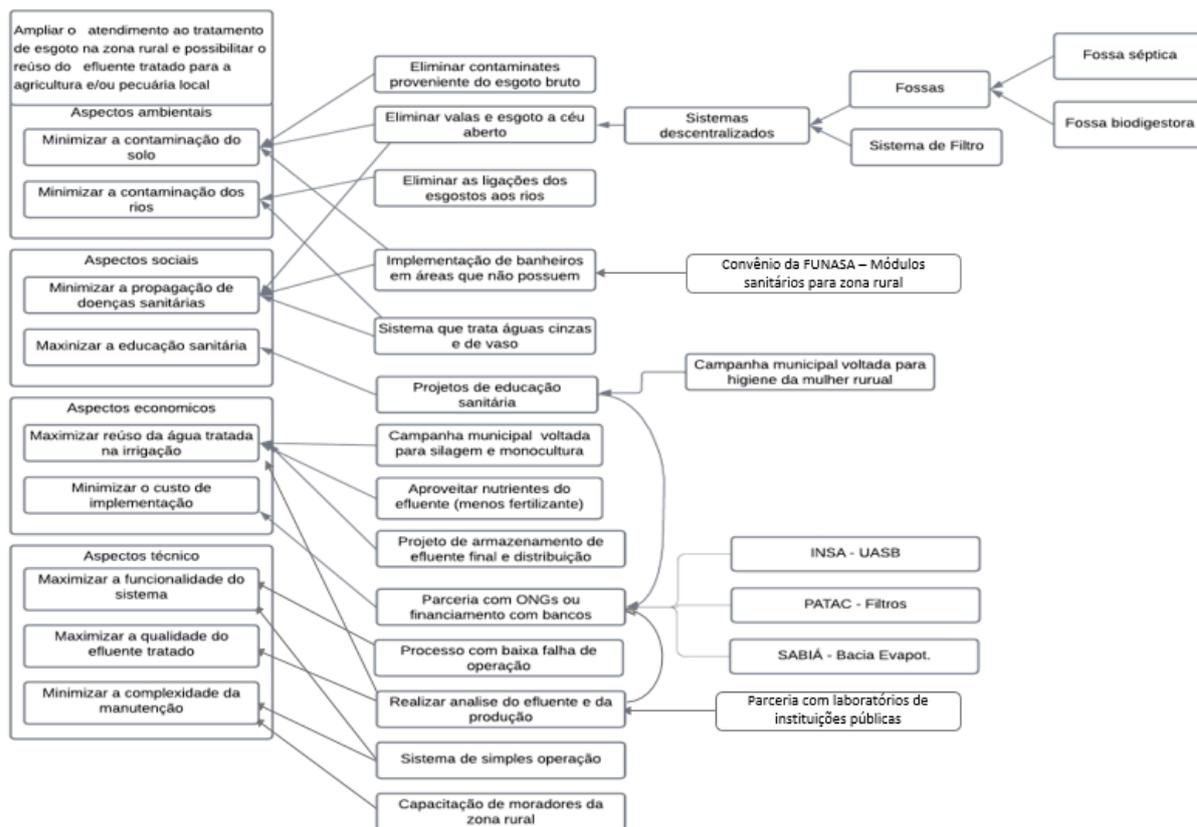
Quadro 5 - Hierarquia dos objetivos fundamentais do problema de decisão

Objetivo fundamental
Ampliar o atendimento ao tratamento de esgoto na zona rural e possibilitar o reúso do efluente tratado para a agricultura e pecuária local
1 – Aspectos ambientais
1.1 - Minimizar a contaminação de solo
1.2 - Minimizar a contaminação dos rios
2 – Aspectos Sociais
2.1 - Minimizar propagação de doenças sanitárias
2.2 - Maximizar educação sanitária
3 – Aspectos econômicos
3.1 - Maximizar reúso da água tratada na irrigação
3.2 - Minimizar custo de implementação
4 – Aspectos técnicos
4.1 - Maximizar a funcionalidade do sistema
4.2 – Maximizar a qualidade do efluente
4.3 - Minimizar a complexidade da manutenção

Fonte: A autora (2023)

A partir da hierarquia dos objetivos fundamentais e de análises da entrevista foi possível construir a rede de objetivos meio-fim, como pode ser visto na Figura 7. Os objetivos meios possibilitam identificar as maneiras que os objetivos fundamentais podem ser melhor alcançados.

Figura 7 - Rede de objetivo meio do problema de decisão



Fonte: A autora (2023)

Durante a entrevista a secretária se mostrou instigada e estimulada a analisar diferentes condições do problema, desde a cultura da população local, as condições de clima e do solo da região, custo e despesas afins. Como resultado, constatou-se que o decisor tinha como objetivo estratégico “Ampliar o atendimento ao tratamento de esgoto na zona rural e possibilitar o reúso do efluente tratado para a agricultura e pecuária local”.

Assim, além de garantir o atendimento ao tratamento de esgoto, o decisor esperava que o efluente tratado tivesse uma destinação que possibilitasse reúso na agricultura local e/ou pecuária, nem que fosse em pequenas ações que trouxesse melhorias para família, como um pequeno cultivo ou forragem animal. Com isso, era esperado que as decisões tomadas o levassem ao alcance desse objetivo final.

A gestora iniciou destacando a inviabilidade da construção de redes de esgoto na zona rural, como as adotadas na zona urbana. No lugar dessas medidas, ela propôs a implementação de tecnologias descentralizadas individuais nessas áreas. Essas tecnológicas são alocadas próximas às residências, responsáveis pelo tratamento do efluente, que no caso das residências rurais são predominantemente domésticos, antes da sua disposição final. Essas tecnologias também foram

interpretadas pela gestora como um meio de possibilitar a proteção ambiental da região.

No entanto, antes de pensar no tratamento do esgoto, a gestora destaca a necessidade de melhorar o acesso às condições sanitárias, dado que na zona rural do município ainda existe residência sem acesso a banheiro individual. A cultura e a realidade da população rural são muito diferentes da urbana. Existem áreas rurais vivendo em condição precária de higiene e infraestrutura sanitária, no qual os moradores precisam se deslocar para áreas do seu terreno destinado às necessidades fisiológicas, como as casinhas ou a própria vegetação.

Outra grande preocupação da gestora é a condição de saúde e higiene das mulheres rurais, que estão mais propensas a doenças relacionada a higiene, como, por exemplo, as micoses superficiais, doenças de pele e infecções íntimas. Portanto, serão necessárias ações de instalação de banheiros individuais para essas residências, antes de qualquer outra medida de tratamento de esgoto.

Uma forma de promover a implementação de banheiros na zona rural é por meio do Projeto de Melhorias Sanitárias Domiciliares da FUNASA. Esse projeto visa a implementação de medidas individuais que gere soluções sanitárias em diversas situações, como na redução de morbimortalidade e maior proteção para famílias suscetíveis a DRSAL, além da promoção de hábitos higiênicos. Um exemplo dessas medidas é a construção de módulos sanitários para atender as necessidades básicas da população.

Outro objetivo destacado no contexto social foi a propagação da educação sanitária na zona rural. Ficou claro que todas essas metas e medidas, visadas pelo município, não poderiam ocorrer a curto prazo e para que elas sejam alcançadas a ferramenta chave é a educação. A educação sanitária, principalmente em áreas mais carentes, com a execução de programas sanitários, é uma responsabilidade do município estabelecida a partir da Lei Orgânica municipal de Pocinhos (2009). Essas ações, conforme o Decreto, visam garantir o bem-estar da população local. Portanto, cabe ao município a consolidação da consciência sanitária.

Uma maneira identificada pela gestora de alcançar seu objetivo de educação sanitária foi a adoção de parceria município - instituições, como iniciativa filantrópica, para desenvolver práticas pedagógicas e executar ações de campanhas e projetos de medidas sanitárias. De acordo com o Diagnóstico Técnico Participativo do município (PMSB-PB/UFCG, 2021), dada a não identificação de ações pedagógicas ambientais desenvolvidas nos últimos anos no município e a ausência de estudos pontuais sobre

a temática, a educação ambiental na área de saneamento básico e social é um ótimo campo para o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas e de políticas públicas.

No aspecto ambiental, a fim de assegurar o direito de proteção ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, a gestora buscava minimizar a contaminação dos rios e solo. A região tem a cultura de descartar o esgoto em fossas rudimentares, valas a céu aberto ou em rio. Essas ações além de causar danos ambientais para localidade, como contaminação do solo e de reservatórios, geram danos à saúde da região e afeta também a produção rural.

Para atingir esse objetivo, a gestora afirmou que a ação que deve ser garantida de imediato é a eliminação do descarte do esgoto bruto a céu aberto. Como destacado pelo decisor, uma forma viável de atingir esses objetivos na zona rural é por tecnologias descentralizadas de tratamento de esgoto, como, por exemplo, as fossas sépticas e fossa biodigestora.

Um objetivo importante e bem salientado durante a entrevista foi a possibilidade do reúso do efluente, principalmente para irrigação. De acordo o Diagnóstico Técnico Participativo do município (PMSB-PB/UFCG, 2021), por meio de audiência pública com a população, a equipe técnica identificou que grande parte da população do município, sendo mais recorrente na zona rural, realiza reúso do esgoto bruto ou tratado seja para regar plantas, dessedentação animal, agricultura e/ou pastagem.

Com a água proveniente do reúso, a gestora enfatizou que a população rural poderia prosseguir com a irrigação mesmo em períodos de estiagem, uma vez que esse período é rigoroso no semiárido paraibano. Portanto, além do tratamento do esgoto, o sistema seria uma medida de convivência com a seca. Atrelada a economia de água, a partir do reúso seria possível uma maior produção rural durante o ano.

Nesse processo a gestora também destacou a aplicação dessa água de reúso no campo de forragem. Com essa medida e por meio de medidas educativas, o município iria incentivar a população rural do semiárido a produzir ração e desenvolver a cultura de produzir silagem para os animais, a fim de melhor lidar com o período de estiagem. Portanto, diante desse objetivo, a qualidade do efluente final era um aspecto importante para gestora.

Para possibilitar o reúso do efluente tratado seria necessária análise frequentes da qualidade da água e da cultura para garantir e adequar a água para irrigação. Uma forma identifica de atingir tais objetivos foi a parceria com instituições pública, como laboratórios universitários ou de institutos, para realização de análises periódicas e estudos.

No âmbito econômico, um dos objetivos foi o custo de implementação. A tecnologia adotada não pode apresentar um custo elevado. As parcerias também foi um meio identificado pelo decisor de alcançar uma redução no custo, que para ela é um objetivo muito importante. Segundo o Diagnóstico do município, nos últimos três anos os valores autorizados para o orçamento de execução de gastos públicos em serviços de esgotamento sanitário são inferiores aos valores informados na Lei Orçamentária Anual (LOA). Essa situação acaba limitando ações destinadas para melhoria no quadro do esgotamento sanitário do município.

Entre os aspectos técnicos levantados pela secretária estavam a praticidade de manuseio do sistema de tratamento e a simplicidade de manutenção. Um sistema para essa região não pode ser complexo e dotar, frequentemente, de mão de obra especializada, pois o processo contará com a participação ativa da população local. Para garantir a funcionalidade, o decisor destacou a importância de conhecer o processo de tratamento e garantir que ele seja simples, dado que a participação da população rural no serviço de esgotamento é de grande valia.

Uma tecnologia individual exige maior participação do morador, não omitindo as responsabilidades e obrigações do município. Mas compreender o funcionamento do sistema e quais ações podem ser tomadas para garantir um melhor resultado do efluente tratado, possibilita uma melhor aceitação da implementação das tecnologias por parte da população rural.

Durante a primeira entrevista alguns objetivos foram definidos e aprovados pelo decisor. Após revisão, por parte do analista, da entrevista já digitalizada, os objetivos fundamentais foram definidos e a rede construída. A proposta foi apresentada ao decisor de maneira virtual para validação da proposta. A gestora propôs pequenas alterações na rede, como o acréscimo dos objetivos meios “sistemas descentralizados que utilizam filtros”, visto que ela já tinha conhecimento e familiaridade com alguns projetos do tipo e tinha observado bons resultados de sua aplicação, e “campanha municipal voltada para silagem e monocultura”.

3 – Estabelecer os critérios.

Segundo Keeney (1992) uma lista bem elaborada de objetivos fundamentais consegue fornecer uma perspectiva clara e considerável do problema. Deve-se pensar a respeito desses objetivos e de como será feita a sua quantificação, ou seja, como ele irá atender a propriedade de mensuração. Assim, para medir o desempenho e analisar o quanto foi alcançado dos objetivos no problema de decisão foi feito o uso dos critérios.

Para cada objetivo fundamental apresentado no Quadro 5, foi atribuído um critério e apresentado sua classificação, como pode ser observado no Quadro 6.

Alguns atributos já eram muito utilizados em problemas de decisão dentro desse contexto, como pôde ser observado no Quadro 1, e se mostram compatíveis com os objetivos da gestora. Além desses critérios, foram implementados novos atributos no modelo a partir da análise da rede de objetivos do decisor. Os atributos identificados a partir da percepção da gestora, foram definidos por debates entre o analista e o decisor a fim de complementar a análise.

A gestora já havia trabalhado em projetos de tecnologia para melhorias na zona rural, principalmente para o abastecimento, e tinha conhecimento em estudo dos solos, o que contribui para o estabelecimento dos critérios. O processo também contou com buscas literárias em trabalhos voltados para essa temática (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006; VON SPERLING, 2014), a fim de contribuir para o processo de definição dos atributos.

A etapa seguinte, após definição dos critérios em acordo com a gestora, o analista, a partir de levantamentos bibliográficos, construiu os atributos e apresentou a gestora, totalizando nove atributos para esse problema de decisão, como pode ser observado no Quadro 6.

Quadro 6 - Características dos critérios do problema de decisão

ID.	Objetivo fundamental	Atributo	Classificação
1.1	Minimizar a contaminação do solo	Condutividade elétrica do efluente tratado	Critério <i>proxy</i>
1.2	Minimizar a contaminação dos rios	Eficiência na redução de nitrogênio do efluente tratado	Critério <i>proxy</i>
2.1	Minimizar propagação de doenças sanitárias	Eficiência do sistema na remoção de coliformes	Critério <i>proxy</i>
2.2	Facilitar a difusão da educação sanitária	Simplicidade operacional e didática da TTE rural	Critério <i>proxy</i>
3.1	Maximizar reúso da água tratada na irrigação	Teor de toxicidade do efluente final do sistema	Critério <i>proxy</i>
3.2	Minimizar custo de implementação	Custo de implementação	Critério natural
4.1	Maximizar a funcionalidade do sistema	Confiabilidade	Critério construído
4.2	Maximizar qualidade do efluente	Eficiência na Remoção de DBO	Critério <i>proxy</i>
4.3	Minimizar a complexidade da manutenção	Frequência de manutenção	Critério construído

Fonte: A autora (2023).

a) Critério 1 (C1) – Condutividade elétrica do efluente tratado

A contaminação do solo por esgoto pode gerar danos como a infertilidade do solo, propagação de doenças e contaminação das águas subterrâneas. O decisor objetivava que o esgoto fosse tratado e que o efluente final pudesse ser destinado à irrigação de forma que essa atividade não gerasse a contaminação do solo.

Uma preocupação quanto ao efluente tratado que seria descartado no solo foi a concentração sais, visto que uma alta salinidade resulta em alterações negativas na característica do solo, podendo torná-lo impraticável, e a lixiviação para o lençol freático. Segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006) quando o teor de sais é elevado, o solo pode sofrer danos que levem a sua degradação, como, por exemplo, a alcalinização e salinização.

Conforme a literatura (FLORENCIO, BASTOS, AISSE, 2006; ROLIM *et al.*, 2016) a condutividade elétrica é uma maneira de avaliar a salinidade. A condutividade elétrica da água representa sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função

da presença de substâncias dissolvidas, principalmente inorgânicas, que se dissociam em cátions e ânions (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

Com isso, por meio de buscas literárias foi identificada a condutividade elétrica do esgoto tratado por cada tecnologia apresentada como alternativa para o problema. Para esse critério, espera-se que a condutividade elétrica esteja dentro dos padrões de uso para irrigação que não exija nenhuma restrição ou que seja restrição ligeiramente moderada.

Para avaliar as alternativas, o critério apresenta três níveis, como pode ser observado no Quadro 7. A descrição de cada nível foi construída a partir de uma adaptação dos trabalhos proposta por Florencio; Bastos; Aisse (2006).

Quadro 7 - Descrição dos níveis para o C1 – Condutividade elétrica do efluente do esgoto tratado

Níveis	Descrição dos Níveis
1	Nenhuma restrição quanto a utilização do efluente no solo devido a salinidade. A condutividade elétrica < 0,7 dS/m
2	Apresenta restrição ligeiramente moderada quanto a utilização do efluente no solo devido a salinidade. Condutividade elétrica entre 0,7 – 3,0 dS/m
3	Apresenta restrição severa quanto a utilização do efluente no solo devido a salinidade. Condutividade elétrica > 3,0 dS/m

Fonte: Adaptação de Florencio; Bastos; Aisse (2006).

b) Critério 2 (C2) - Eficiência na redução de nitrogênio do efluente tratado

Para mensurar o objetivo “minimizar a contaminação dos rios” de forma indireta foi utilizado o critério “eficiência na remoção de nitrogênio do efluente tratado”. Com isso, o decisor deseja que a alternativa apresente uma elevada porcentagem nesse critério.

De acordo com Von Sperling (2014), um dos principais parâmetros investigados em uma análise de água, principalmente residuais brutas e tratada, é o parâmetro químico nitrogênio. Em termos de tratamento de água residual, é necessário que exista uma adequada concentração de nitrogênio e fósforo no esgoto. A remoção desse elemento já vem se mostrando um critério importante em outros problemas de decisão, como observado no Quadro 1 da seção 4.1.

c) Critério 3 (C3) – Eficiência do sistema na remoção de coliformes

Uma grande preocupação do decisor diante desse contexto foi a propagação de doenças sanitárias nas comunidades rurais, dado que o esgoto é um grande transmissor de vetores. Uma maneira de melhorar a saúde da zona rural e reduzir o

quadro de doenças vinculadas a ausência de saneamento adequado, como, por exemplo, diarreia e infecções por baratas e moscas, é realizando o controle da qualidade do efluente.

Diante disso, o parâmetro definido pelo decisor para medir a “propagação de doenças sanitárias” foi a eficiência na remoção de coliformes. Os coliformes são constituintes indesejados para qualquer que seja a atividade e destinação do efluente tratado, por isso se trata de um critério considerado em outros modelos, como apresentado no Quadro 1 da seção 4.1.

As consequências das alternativas para esse critério são apresentadas em porcentagem e o desejável é que o valor seja o mais próximo de 100%, pois representa maior eficiência na remoção de coliformes e menor concentração de organismos danosos a saúde.

d) Critério 4 (C4) – Simplicidade operacional e didática da TTE rural

Para medir a facilidade na difusão da educação sanitária, foi utilizado uma medição indireta nomeada “simplicidade operacional e didática da tecnologia de tratamento de esgoto (TTE) rural”. Vale reforçar que a orientação e a campanha educativa têm que existir, seja qual for a tecnologia implementada. No entanto, algumas tecnologias exigem mais atenção, pois apresentam processos mais complexos.

Essas tecnologias mais complexas tendem a exigir mais do morador rural, seja na compreensão do processo, ou na execução da tecnologia. A seção 4.1 deste trabalho apresenta diferentes fontes que também consideraram o critério simplicidade no modelo de decisão. Para mensuração desse critério foi utilizado o Quadro 3 presente no capítulo 4.

Portanto, o sistema precisa apresentar uma baixa dependência de operadores especializados, visto que o esperado é que o acompanhamento diário seja realizado pela população local e acompanhamento periódico pela gestão municipal. A gestora relembra que as famílias rurais serão capacitadas para desempenhar essa atividade.

e) Critério 5 (C5) – Teor de toxicidade do efluente final do sistema.

O reúso da água tratada para irrigação foi uma maneira que o decisor identificou de garantir a produtividade rural dessas pequenas comunidades mesmo em período de estiagem da região. Para garantir o uso dessa água na irrigação algumas diretrizes devem ser analisadas. Assim, uma forma de mensura de maneira indireta a capacidade de reúso do esgoto tratado para irrigação é através do teor de toxicidade do efluente final.

Do ponto de vista de irrigação, no qual o efluente terá impacto sobre o solo e plantas, a toxicidade é um bom parâmetro de análise. Quando a concentração de íons excede algumas diretrizes que regulamentam esse processo de irrigação por reúso, gera uma diminuição do rendimento dos cultivos. Através do projeto PROSAB, Florencio, Bastos e Aisse (2006) apresentam uma adaptação dos parâmetros de qualidade da água para irrigação no qual classificam a água em três níveis de restrição, sendo: sem restrição; com restrição moderada e com restrição severa.

A toxicidade que afeta as culturas pode ser avaliada com base no elemento químico sódio (Na). A descrição dos níveis para esse critério está apresentada no Quadro 8. Outro ponto importante dentro do contexto de uso do efluente tratado para irrigação é o risco de obstrução do sistema de irrigação, que também pode ser classificado em nenhum, moderado e restrito, com base no pH e sólidos em suspensão. Quanto ao pH, ele pode interferir de duas formas: provocando a alteração de substâncias e afetando a toxicidade do meio.

Em aspecto ambiental, o esgoto não tratado polui e causa problemas ao solo como o aumento da sua condutividade elétrica, pH e razão de adsorção de sódio (RAS). Assim, para garantir um bom nível de produção agrícola e de qualidade, é necessário garantir a estrutura física e química do solo. Para analisar esses dois aspectos, os níveis do critério foram descritos com base na concentração de sódio e Ph, como mostra o Quadro 8.

Quadro 8 - Descrição dos níveis do critério Teor de toxicidade do efluente final do sistema

Níveis	Descrição dos Níveis
1	O efluente tratado não apresenta nenhuma restrição de uso para irrigação. A concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial < 3 RAS e pH < 7.
2	O efluente tratado não apresenta nenhuma restrição quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH < 7), no entanto apresenta restrição ligeiramente moderada de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial entre 3 - 9 RAS).
3	O efluente tratado não apresenta nenhuma restrição quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH < 7), no entanto apresenta restrição severa de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial > 9 RAS).
4	O efluente tratado apresenta restrição ligeiramente moderada quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH entre 7 e 8) e não apresenta restrição quanto ao uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial < 3 RAS).
5	O efluente tratado apresenta restrição ligeiramente moderada quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH entre 7 e 8) e apresenta restrição ligeiramente moderada de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial entre 3 - 9 RAS).
6	O efluente tratado apresenta restrição ligeiramente moderada quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH entre 7 e 8) e apresenta restrição severa de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial > 9 RAS).
7	O efluente tratado apresenta restrição severa quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH > 8) e não apresenta restrição quanto ao uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial < 3 RAS).
8	O efluente tratado apresenta restrição severa quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH > 8) e apresenta restrição ligeiramente moderada de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial entre 3 - 9 RAS).
9	O efluente tratado apresenta restrição severa quanto a obstrução no sistema de irrigação (pH > 8) e apresenta restrição severa de uso para irrigação devido a toxicidade do elemento químico sódio na cultura (concentração de Sódio (Na) para irrigação superficial > 9 RAS).

Fonte: Adaptação de Florencio; Bastos; Aisse (2006).

f) Critério 6 (C6) – Custo de implementação

O custo de investimento na tecnologia foi classificado como atributo natural, visto que é comumente utilizado e facilmente mensurável por meio de valor monetário. Espera-se que a consequência nesse critério seja a menos possível.

Esse critério já vem sendo bastante utilizado quando se fala em modelo de apoio a decisão para tratamento de esgoto, como foi destacado na seção 4.1.

g) Critério 7 (C7) – Confiabilidade

Assim como a gestora, diferentes autores destacaram a confiabilidade como um critério importante na hora de escolher a tecnologia (HUNT, 2013; KALBAR *et al.*, 2013; VON SPERLING, 2014), dado que é um atributo ligado diretamente a funcionalidade do sistema. A análise desse critério ocorreu por meio de níveis, como pode ser observado no Quadro 2 da seção 4.1.

h) Critério 8 (C8) – Remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio

O oitavo objetivo foi mensurado a partir da remoção percentual de DBO. A redução de DBO é um critério recorrente na literatura para seleção de tecnologia, visto que está relacionado a eficiência do sistema com relação a matéria orgânica, como destacado na seção 4.1.

Através da revisão de literatura foi apresentado como consequência a eficiência de cada sistema na remoção de DBO. O esperado pelo decisor é que a porcentagem removida seja a máxima possível e acima de 60%.

i) Critério 9 (C9) - Frequência de manutenção

O decisor objetivava minimizar a complexidade no processo de manutenção, visto que essa ação seria realizada pelos moradores da zona rural e caberia ao setor público, isolado ou em parceria com outras instituições, o acompanhamento periódico do sistema, da qualidade do efluente, da qualidade do solo e da população rural.

Para que o sistema tenha um bom funcionamento é necessário que a manutenção seja feita de forma correta e na frequência estimada. Visando diminuir o esforço do homem rural, buscaram-se tecnologias que não exigisse elevada frequência de manutenção.

Diante disso, para mensurar o objetivo, foi utilizado o critério “frequência de manutenção”, visto que a preocupação do decisor era mais direcionada para o tempo de recorrência de manutenção do que o custo, como a maioria dos autores apresentados no Quadro 1 da seção 4.1. A escala de níveis adotada no trabalho foi proposta por Tonetti *et al.* (2018), como pode ser observado no Quadro 9.

Quadro 9 - Descrição dos níveis do atributo frequência de manutenção

Níveis	Descrição dos Níveis
1	O sistema apresenta uma baixa frequência de manutenção. Sendo assim necessária uma manutenção ao ano.
2	O sistema apresenta uma média frequência de manutenção. Sendo assim necessária de 2 a 4 manutenções ao ano.
3	O sistema apresenta uma alta frequência de manutenção. Sendo assim necessária de 5 ou mais manutenções ao ano.

Fonte: Adaptação de Tonetti *et al.* (2018).

4 – Estabelecer o espaço de ações e a problemática

Nessa etapa foi realizada duas ações, sendo elas: o estabelecimento do espaço de ações e geração de alternativas; determinação da problemática.

- Estabelecimento do espaço de ações e geração de alternativas

Nessa etapa ocorreu o debate entorno da forma que os valores poderiam ser atingidos. As alternativas para esse problema de decisão são tecnologias já existentes que foram identificadas a partir dos valores extraídos do decisor. Portanto, o conjunto de ações desse problema são projetos existente, alguns bastantes discutidos na literatura, que atendem os objetivos fundamentais do decisor.

Entre as alternativas mais mencionadas na literatura, principalmente pelos autores apresentados no Quadro 1, que são compatíveis com os objetivos do decisor estão os reatores, destaque para o UASB, o *wetland* construído, o tanque sépticos + filtro anaeróbio e filtros biológicos como os vermifiltros.

Durante a aplicação da entrevista, através dos valores da gestora, foi possível identificar outras alternativas além das mais recorrentes na literatura, como citado anteriormente. A secretária destacou o interesse em conhecer ONG e instituição que trabalham com tecnologias para o saneamento rural e desenvolver parceria. Diante desse objetivo meio e de uma análise conjunta da rede foi possível identificar um leque de alternativas para o problema de decisão.

No Brasil existe diferentes órgãos que debatem e desenvolvem pesquisa para sanar esse déficit rural. O decisor apresentou algumas organizações que eram de seu conhecimento, como, por exemplo, o Centro Sabiá. Essa organização trabalha com a política voltada para melhoria das condições rurais do semiárido pernambucano. Entre seus projetos para melhoria do saneamento na zona rural da região está a tecnologia de bacia de evapotranspiração e o projeto de reúso de águas cinzas.

Analisando o conjunto de objetivos fundamentais, outra tecnologia adequada para o problema de decisão foi a fossa biodigestora (FSB). O sistema foi desenvolvido pela Embrapa em 2001 como uma solução alternativa frente a falta de saneamento da zona rural. É uma tecnologia que evita contaminação de água e solo, possibilita o reúso do efluente e evita o descarte irracional do esgoto. Conforme Silva *et al.* (2021), a FSB é uma tecnologia social de fácil instalação e ideal para propriedades rurais e áreas isoladas,

A partir da identificação das alternativas, foi possível construir a matriz de consequência do problema, visto que os critérios já foram definidos na etapa anterior. A Tabela 3 apresenta a matriz de consequência para o problema de decisão de priorização de tecnologia de tratamento para o esgoto rural de um município paraibano.

- Determinação da problemática

O procedimento utilizado no modelo depende do tipo de problemática considerada. O propósito do decisor era selecionar a alternativa que melhor atendesse os seus objetivos. No entanto, ela desejava observar o comportamento das alternativas no ranking de decisão. Ou seja, a gestora desejava observar as posições no ranking de cada alternativa analisada, por mais que seu objetivo fosse escolher apenas a tecnologia que apresentasse o melhor desempenho.

Diante da necessidade do decisor de obter seus resultados de forma elencada, foi considerado que a problemática mais adequada para o problema de decisão era a do tipo ordenação (P.γ).

Tabela 3 - Matriz de consequência do problema de decisão de esgotamento rural

	Condutividade elétrica	Redução de nitrogênio	Eficiência na remoção de coliformes (%)	Simplicidade didática e operacional	Teor de toxicidade	Custo de implementação	Confiabilidade	Eficiência na remoção de DBO (%)	Frequência de manutenção
A1 - Projeto Bioágua - vermifiltro	2	26,6	53,7	3	3	R\$ 4.960,20	4	81	3
A2 - UASB	2	40	85	4	5	R\$ 5.900,00	3	78	2
A3 - Fossa Biodigestora	3	36,1	77	3	7	R\$ 5.438,56	4	66,7	3
A4 - Bacia de evapotranspiração	3	32	91	5	4	R\$ 5.813,11	4	93,6	1
A5 - Tanque séptico + filtro anaerobio	2	30	84,1	4	5	R\$ 4.657,77	3	83,7	1
A6 - Reator anaerobico compartimentado ou FSE	3	34	84	4	4	R\$ 3.287,27	4	58,4	1
A7 - Wetlands construídas	2	35	92	5	4	R\$ 5.162,48	4	81	2

Fonte: A autora (2023)

5.2.3 Fase 3: Concluir *framework* e Aplicar o Método PROMETHEE - ROC

5 – Identificar os fatores não controlados

Os fatores não controlados consistem em fatores probabilísticos que não estão sob o controle do decisor. Esses fatores são classificados como estado da natureza. Ainda que neste problema de decisão alguns critérios fujam do controle do decisor, como, por exemplo, a confiabilidade do sistema, todos os critérios foram considerados determinísticos.

Portanto, não foi considerada a incerteza referente aos fatores não controlados pelo decisor, visto que essa é uma maneira de simplificar o problema. Antecipadamente, observa-se uma limitação do presente estudo e propõe-se para estudo futuros a análise dos fatores probabilísticos para melhor desenvolvimento do modelo do problema de decisão.

6 - Efetuar modelagem de preferência

Nessa etapa do framework foi identificada as preferências do decisor diante das consequências do conjunto de alternativas, assim como também foi definida a racionalidade do decisor. A partir da estrutura de preferência, da racionalidade e da problemática foi possível definir o método multicritério que seria empregado nesse contexto de problema de decisão.

A estrutura de preferência que retrata a preferência do decisor são P e I, posto que o decisor apresentou situações de preferência estrita (P) e de indiferença (I) na comparação entre os pares das alternativas do conjunto de ações.

Quanto a racionalidade, nesse contexto de decisão, a gestora desejava encontrar uma alternativa balanceada. Ou seja, ela desejava obter a alternativa que

possuísse o melhor desempenho médio em todos os critérios analisados, visto que cada critério tinha seu grau de importância dentro do contexto do problema de decisão.

Portanto, constatou-se que a racionalidade do decisor era não compensatória, visto que, como afirma De Almeida (2013), os métodos não compensatórios favorecem as alternativas mais equilibradas, diferente do método compensatórios, que considera os *tradeoff* entre os critérios, e finda favorecendo alternativas menos equilibradas.

Dessa maneira, as considerações apresentadas possibilitaram afirmar que os métodos de sobreclassificação eram os indicados para o problema de decisão. Optou-se por trabalhar com um dos métodos da família PROMETHEE, o método PROMETHEE – ROC, dada a sua simplicidade de aplicação e fácil compreensão pelo decisor, além de exigir pouco esforço do decisor na etapa de definição dos pesos.

5.2.3.1 Aplicação do Método PROMETHEE - ROC

Nesse tópico está apresentado a aplicação do problema de decisão no Sistema de Apoio a Decisão do PROMETHEE – ROC e o resultado do modelo para esse problema de decisão, além de discussões a partir da análise de sensibilidade. A construção desse tópico contou com o desenvolvimento de quatro etapas do framework, que são elas: efetuar avaliação intracritério; efetuar avaliação intercritério; avaliar alternativas; efetuar análises de sensibilidade.

O programa PROMETHEE – ROC solicitou algumas informações necessárias para construção do modelo, como, por exemplo, os critérios, as alternativas, as consequências, escalas dos critérios e direção de preferência. Todas essas informações já foram coletadas e apresentadas na construção deste trabalho. Assim, por meio de planilhas eletrônicas de modelo padrão disponibilizado pelo *software*, os dados foram preenchidos e implementados no sistema. As Figura 8 e 9 representam a etapa de *input* do problema de decisão. O sistema permitiu a verificação dos dados da planilha antes do *upgrade* da matriz de consequência.

Figura 8 - Planilha modelo para input dos dados do problema de decisão

1	Criteria's name	Condutividade	Redução c	Eficiência	Simp.	Didé	Teor de tc	Custo de I	Confiabili	Remoção	Freq. de manutenção
2	Criteria's code	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	
3	Preference Direction	0	1	1	1	0	0	1	1	0	
4	Decision Weights										
5	Preference Function's Type	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	Preference Threshold										
7	Indifference Threshold										
8	Gaussian Threshold										
9	Alternatives's code	CONSEQUENCE MATRIX									
10	A1 - Projeto Bioágua - verr	2	26,6	53,7	3	3	4960,2	4	81	3	
11	A2 - UASB	2	40	85	4	5	5900	3	78	2	
12	A3 - Fossa Biodigestora	3	36,1	77	3	7	5438,56	4	66,7	3	
13	A4 - Bacia de evapotranspi	3	32	91	5	4	5813,11	4	93,6	1	
14	A5 - Fossa septica + filtro c	2	30	84,1	4	5	4657,77	3	83,7	1	
15	A6 - FSE	3	34	84	4	4	3287,27	4	58,4	1	
16	A7 - Wetland construido	2	35	92	5	4	5162,48	4	81	2	

Fonte: A autora (2023).

Figura 9 - Tela do SAD com resumos dos dados de entrada

Fonte: A autora (2023).

7 – Efetuar Avaliação intracritério

Outra informação necessária para o funcionamento do programa foi a avaliação intracritério. O Quadro 10 apresenta os critérios do problema de decisão e seus respectivos critérios generalizados. Observa-se que para esse problema de decisão todos os critérios são categorizados como critério usual. Ou seja, qualquer diferença

favorável na performance de uma alternativa representa uma preferência estrita do decisor.

Dos nove critérios, cinco critérios apresentavam suas consequências em níveis, sendo condizente trabalhar como critérios usuais. Para os demais critérios, o decisor não apresentou dúvidas para definir suas preferências.

Quadro 10 - Avaliação intracritério (critérios generalizados)

ID	Atributo	Critério generalizado
C1	Condutividade elétrica do efluente tratado	Critério usual
C2	Eficiência na redução de nitrogênio do efluente tratado	Critério usual
C3	Eficiência do sistema na remoção de coliformes	Critério usual
C4	Simplicidade operacional de didática	Critério usual
C5	Teor de toxicidade do efluente final do sistema	Critério usual
C6	Custo de implementação	Critério usual
C7	Confiabilidade	Critério usual
C8	Eficiência na Remoção de DBO	Critério usual
C9	Frequência de manutenção	Critério usual

Fonte: A autora (2023).

Com as informações coletadas até a etapa 7 do *framework* (Figura 4) foi possível preencher os componentes necessários para o funcionamento do SAD. Assim, no *software* foi realizado a submissão da matriz de consequência (Figura 10) e desbloqueado o sistema para elicitação dos pesos, a qual é a etapa de avaliação intercritério do *framework*.

Figura 10 - Interface do software PROMETHEE-ROC com input da matriz de consequência

► **Data Collection** This section aims to edit, delete or create new criteria/ alternatives. If you are satisfied, please click on "Go Forward".

Problem Criteria and Alternatives **Consequences Matrix**

About the consequences matrix

Problem:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A1	2	26.6	53.7	3	3	4960.2	4	81	3
A2	2	40	85	4	5	5900	3	78	2
A3	3	36.1	77	3	7	5438.56	4	66.7	3
A4	3	32	91	5	4	5813.11	4	93.6	1
A5	2	30	84.1	4	5	4657.77	3	83.7	1
A6	3	34	84	4	4	3287.27	4	58.4	1
A7	2	35	92	5	4	5162.48	4	81	2

Do you confirm that these parameters are correct?

Click on "Go Forward" if the data collection of your problem is satisfactory. After that, we will begin the weights elicitation process.

Fonte: A autora (2023)

8 – Efetuar Avaliação intercritério

A etapa 8 do *framework* consiste na avaliação intercritério. De acordo com Clemente (2015), a principal contribuição do PROMETHEE-ROC é representar os pesos a partir da ordenação dos critérios de decisão. Sendo assim, o decisor foi solicitado a listar os critérios na ordem decrescente de grau de importância para o problema de decisão.

A Figura 11 apresenta a interface do PROMETHEE-ROC após a ordenação dos critérios e Tabela 4 contém os resultados dos pesos dos critérios obtidos a partir do ROC após a elicitación da preferência do decisor. Observa-se que quanto maior o grau de importância do critério, maior o peso substituto.

Figura 11 - Elicitación dos pesos no SAD a partir do procedimento ROC

► **Weight Elicitation**

Choose Direct Evaluation (ROC) Ratio

About the ROC procedure

Among the criteria available below, which one is the most important for you?
Answer the question until there is no criterion available.

List of Criteria:

Criteria Ranking:
C6: Custo de Imp.
C5: Teor de toxicidade
C3: Eficiência na remoção de coliforr
C1: Condutividade elétrica
C8: Remoção de DBO
C7: Confiabilidade
C4: Simp. Didática e operacional
C9: Freq. de manutenção
C2: Redução de nitrogênio

Decision Weights: ROC results

Criterion's Code	C1	C2	C3	C4	C5
Criterion's Name	Condutividade elétrica	Redução de nitrogênio	eficiência na remoção de coliformes	Simp. Didática e operacional	Teor de to
ROC weight	0.1106	0.0123	0.1477	0.0421	0.2032

Fonte: A autora (2023).

Tabela 4 - Resultados dos pesos ROC para os critérios do problema de decisão “tecnologia para o tratamento do esgoto rural”

Ranking	Cod.	Critério	Peso ROC
1	C6	Custo de implementação	0,3143
2	C5	Teor de toxicidade do efluente tratado	0,2032
3	C3	Eficiência do sistema na remoção de coliformes	0,1477
4	C1	Condutividade elétrica do efluente tratado	0,1106
5	C8	Eficiência na Remoção de DBO	0,0828
6	C7	Confiabilidade	0,0606
7	C4	Simplicidade didática e operacional	0,0421
8	C9	Frequência de manutenção	0,0262
9	C2	Eficiência na redução de nitrogênio do efluente tratado	0,0123

Fonte: A autora (2023).

Antes de iniciar a elicitación dos pesos, o decisor demonstrou dificuldade em escolher qual dos objetivos era mais importante que o outro. Durante o processo de elicitación, ela sempre buscou deixar claro que todos os objetivos apontados eram importantes dentro desse contexto de decisão, o que acabava dificultando elencá-los.

Observou-se que para o decisor o critério C6 (custo) era o mais importante. A gestora afirmou que, dentro desse contexto, o custo é um importante ponto, dadas as limitações de repasse financeiro enfrentadas pelo município. Analisando o Diagnóstico Técnico participativo (PMSB-PB/UFCG,2021), notou-se que de 2019 a 2021 os valores dos orçamentos autorizados para os serviços de esgotamento sanitário do município eram 50% inferiores que os valores orçados e informados na Lei Orçamentária Anual (LOA). Esse dado demonstra uma das razões da gestora enfatiza a importância do atributo custo.

O atributo teor de toxicidade do efluente tratado está associado ao objetivo reúso da água para irrigação. Durante a entrevista a gestora sempre demonstrou interesse quanto a implementação de medidas que atendessem a estas duas necessidades, o tratamento do esgoto rural e o reúso de efluente tratado, principalmente em período de estiagem, evitando que a produção rural seja suspensa nessa época e garantindo que a forragem do gado, seja produzida em qualquer período do ano. Dada essa justificativa, o C5 foi o segundo critério mais importante do ranking do decisor, estando associado a ele o peso substituto 0,2032 (Tabela 4).

Observou-se que os dois critérios referentes aos aspectos econômicos foram os mais importantes para o decisor. Por mais que o reúso tenha um viés ambiental,

para o decisor, essa ação estava associada a produção rural das comunidades. Na definição do terceiro critério do ranking, o decisor demonstrou uma indecisão entre os critérios C1, C3 e C8. Ela optou por elencar o critério C3 (minimizar a propagação de doenças sanitárias), um critério de aspecto social, para terceira posição, dada sua preocupação com a saúde da população rural, principalmente das mulheres. A ausência de banheiro também é uma das grandes preocupações da gestão, uma vez que está vinculado diretamente a propagação de doenças e a qualidade de vida do povo rural.

As três posições consecutivas do ranking de preferência do decisor, a quarta, a quinta e a sexta, foram ocupadas por um critério ambiental (C1 – condutividade elétrica) e dois critérios técnicos (C8 – Remoção do DBO e C7 - Confiabilidade). A gestora destacou sua preocupação com a contaminação do solo devido a elevada salinidade, entre outros fatores, e os danos ambientais que o descarte inadequado do efluente pode acarretar a região. Para o aspecto técnico, o decisor mencionou a importância do sistema apresentar uma boa eficiência e garantir funcionalidade do processo de tratamento.

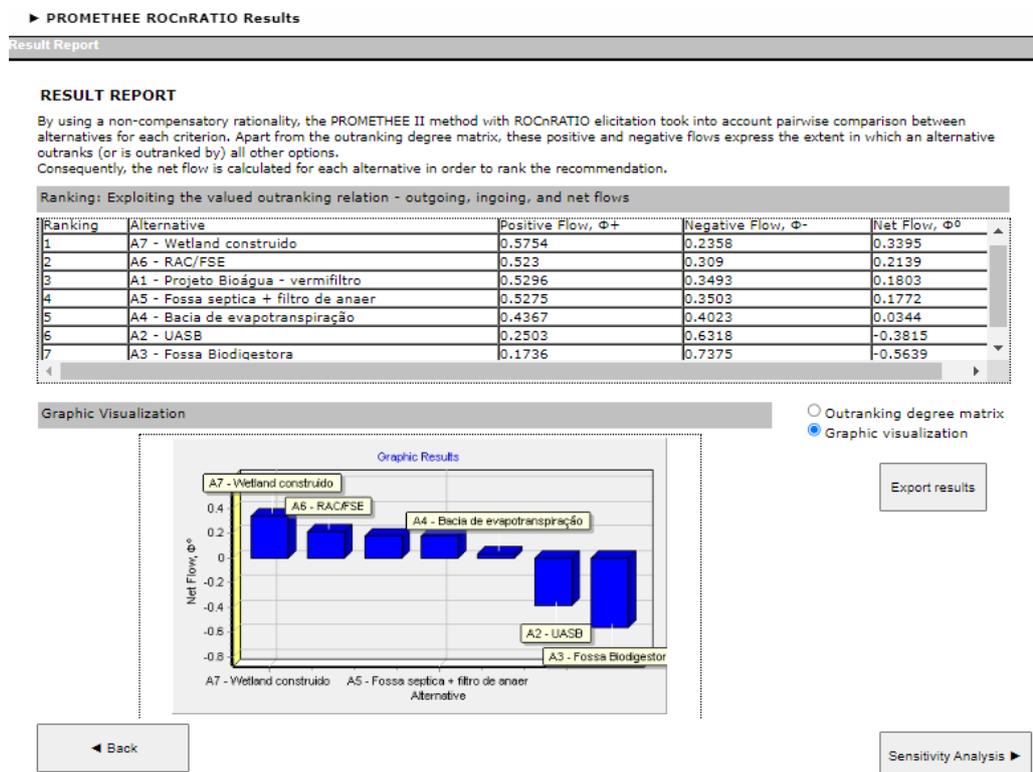
Os três últimos critérios dos rankings de preferência do decisor foram, respectivamente, simplicidade didática e operacional (C4), frequência de manutenção (C9) e eficiência na redução de nitrogênio do efluente tratado (C2). Apesar do processo de elicitação dos pesos do método PROMETHEE – ROC exigir menor esforço cognitivo do decisor, ainda assim, a gestora enfatizou que sentiu dificuldade em concluir essa etapa do modelo. Todos os atributos apresentados eram importantes para ela, o que refletiu em uma dificuldade ao elencar os critérios mais e menos importantes. Para concluir essa fase e evoluir com o modelo, ela teve que pensar bastante e analisar toda conjuntura do problema no âmbito municipal e dentro a realidade da gestão e da comunidade rural.

9 – Avaliar Alternativas

Com todos os parâmetros necessários para a análise do modelo, o *software* aplicou a estrutura de cálculo do PROMETHE II, apresentada no tópico 2.1.4 deste trabalho, para análise das performances das tecnologias de tratamento em relação aos critérios elencados. A partir do sistema de apoio a decisão “*ROC and Ratio elicitation with PROMETHEE Ranking via web*” a tecnologia que o modelo recomendou para o esgotamento rural do município de Pocinhos foi o *wetland* construído.

A Figura 12 apresenta a interface do SAD. Nela está a tabela contendo os fluxos negativos, positivos e total das alternativas gerados pelo método PROMETHEE-ROC e o gráfico que permite uma fácil visualização dos resultados.

Figura 12 - Ranking final apresentado pelo SAD



Fonte: A autora (2023).

Como recomendação do SAD, a tecnologia que deve ser priorizada para esse problema de decisão é a tecnologia *Wetland* construído, que foi a alternativa que assumiu maior valor de fluxo líquido. Como segunda colocada no ranking das alternativas ficou a tecnologia com segundo maior valor de fluxo líquido, o reator anaeróbico compactado (RAC) ou também conhecido na literatura como Fossa séptica econômica (FSE). A alternativa Fossa Biodigestora foi a última colocada no ranking final de priorização do problema.

Analisando a performance de cada tecnologia, foi possível gerar alguns comentários:

Como esperado, o programa apresentou como principal indicação de tecnologia para solução do problema, aquela com melhor desempenho médio. O sistema *wetland* construído, para os dois critérios mais importantes, custo e toxicidade, apresentou valores medianos de desempenho. A alternativa se comportou como a melhor na remoção de coliformes (terceiro critério mais importante) e nos demais critérios apresentou desempenho mediano. Isso mostra que o SAD

recomendou a alternativa melhor balanceada como solução, mediante a comparação par a par com as demais.

Apesar do RAC/FSE ser a alternativa de menor custo e apresentar eficiência na remoção de toxicidade semelhante ao WC, seu desempenho foi inferior, comparando ao primeiro colocado, na remoção de coliformes, no atributo condutividade elétrica e remoção de DBO, os critérios de posição 3, 4 e 5 no ranking de grau de importância dos atributos.

O último colocado no ranking foi a tecnologia fossa biodigestora. Essa tecnologia demanda de uma participação mais ativa da população. O morador da zona rural teria que introduzir estrume bovino periodicamente no sistema para garantir seu bom funcionamento e realizar sua manutenção por pelo menos três vezes no ano. A tecnologia não apresentou um bom desempenho no critério toxicidade. É recorrente na literatura o pH do efluente final está acima de 8, representando restrição severa quanto a obstrução no sistema de irrigação conforme o Quadro 6 deste trabalho.

A gestora afirma que em uma situação hipotética, em que as ações do município não fossem limitadas pelas despesas financeiras, o critério de maior importância seria o de toxicidade do efluente. Ela acredita que é necessário pensar mais na possibilidade de reúso do efluente tratado, principalmente para população rural que poderia fazer uso desse efluente no sistema de forragem ou irrigação de plantios.

10 – Efetuar Análises de sensibilidade

A fim de avaliar o quão sensível era o ranking final foi realizado, a partir do SAD, a análise de sensibilidade do problema, correspondendo a 10ª etapa do *framework*. Para esse problema de decisão optou-se, inicialmente, por variar todos os critérios a um percentual de intervalo de variação de 15%. Além disso, também foi realizada variação em todas as performances da matriz de consequência obedecendo a mesma porcentagem de variação (Figura 13)

Quanto ao número de repetições de simulações efetuadas, foi estimada as 100.000 situações de análise capaz de ser realizada no SAD. Na última etapa do processo foi assumido um nível de significância 0,05 para análise de sensibilidade do problema (Figura 14).

Figura 13 - Análise de sensibilidade fornecida pelo SAD

About

► The Sensitivity Analysis module allows the decision maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the weight assignment.

Weights

Do you want to insert the weights in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution:
 Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Weight	Range (%)
Cr 1:	0.111	15
Cr 2:	0.012	15
Cr 3:	0.148	15
Cr 4:	0.042	15
Cr 5:	0.203	15
Cr 6:	0.314	15

Consequences Matrix

Do you want to insert the evaluation matrix in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution:
 Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Evaluation	Range (%)
Cr 1: C1		15
Cr 2: C2		15
Cr 3: C3		15
Cr 4: C4		15
Cr 5: C5		15
Cr 6: C6		15
Cr 7: C7		15

Start simulation

Number of cases: Run Sensitivity Analysis

[Click here to run Sensitivity Analysis:](#) *This might take some time

Fonte: A autora (2023).

Figura 14 - Definição do nível de significância para o teste de correlação

About the Correlation Analysis

Kendall's tau (τ) Correlation Coefficient

► It is a statistic test used to measure the association between two measured quantities.

Significance Level (α)

► Values of α must be between 0 (zero) and 1 (one). Historically, the α -value of 0.05 has been used for α . This means that about one test in twenty (1:20) will falsely reject the null hypothesis.

Hypothesis Test

► Under the null hypothesis of independence between two entities, X and Y, the sampling distribution of τ has an expected value of 0 (zero). Here, X means the original ranking from PROMETHEE II, while Y represents the simulated ranking from the Monte Carlo Sensitivity Analysis.

Kendall's τ Coefficient Report		Hypothesis Test	
Maximum	1	Significance Level (α):	0.05
Mean	0.675		
Minimum	-0.4286		
Mode	0.7143	► <i>H₀: "There is no association between the rankings (original and the simulated ones) under analysis."</i>	
Median	0.7143	The Null Hypothesis is:	Rejected
Standard Deviation	0.195		

[Go to Simulation Analysis](#) ►

Fonte: A autora (2023).

Observa-se que em 48,3% das simulações a tecnologia *Wetland* construído permaneceu na primeira posição do ranking e que em 51,7% ela se encontrou em posições diferentes (Figura 15). Essa alternativa apresentou um equilíbrio de variação, pois seu valor de permanência na posição inicial de ranking e seu valor de variação ficou em torno de 50%. Essas porcentagens servem para verificação da robustez dos resultados recomendados para esse problema de decisão.

Figura 15 - Resultado da simulação da análise de sensibilidade para alteração de todos os parâmetros

Simulation Results

► The Sensitivity Analysis module allows the decision-maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the decision weights.

Rank Changes Report

Rank Position	Alternative	% original	% ch
1	A7 - Wetland construído	48.265	51.0
2	A6 - RAC/FSE	38.138	61.0
3	A4 - Bacia de evapotranspiração	28.228	71.0
4	A1 - Projeto Bioágua - vermifiltro	32.07	67.0
5	A5 - Fossa septica + filtro de anaer	53.471	46.0
6	A2 - UASB	78.905	21.0
7	A3 - Fossa Biodigestora	86.83	13.0

Fonte: A autora (2023).

Observa-se que as alternativas A1, A4 e A5 sofreram mudanças com relação as suas posições no ranking original, implicando que a terceira, quarta e quinta posições estão sensíveis e suscetíveis a modificações. A fossa biodigestora permaneceu em última posição e se manteve nela em 86,83% das simulações.

A fim de interagir com o SAD, foram realizadas novas análises de sensibilidade.

a) Variando de forma isolada todos do peso no limite de 15%.

A dificuldade que o decisor sentiu em definir o grau de importância de cada critério, mesmo utilizando a metodologia ROC, levou a analisar de forma isolada o comportamento do resultado a partir da variação dos pesos atribuídos. Com isso, analisando a robustez do modelo a partir da variação de 15% dos pesos e fixando a matriz de consequência, obteve-se uma ótima robustez, pois em 100% das simulações a tecnologia WC permaneceu como a mais indicada para o problema de decisão (Figura 16). Assim, deixando de ser prioritária em apenas 48,26% das vezes, como mostra a Figura 15.

As três últimas colocadas no ranking original também apresentaram elevado percentual de permanência, assim como a primeira colocada. No entanto, o ranking sofreu alteração na segunda e terceira posição. A tecnologia vermifiltro, que ocupava a terceira posição no ranking original, após a variação dos pesos, passou a ocupar a segunda posição no ranking de priorização, enquanto a FSE passa a ocupar a terceira. Dado que o principal resultado (o primeiro colocado) se manteve constante, pode-se afirmar que a recomendação de resultado oferecido pelo PROMETHEE-ROC é robusta com relação aos parâmetros pesos.

Figura 16 - Variação dos pesos no limite de 15% em uma distribuição normal de probabilidade

Weights

Do you want to insert the weights in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution: Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Weight	Range (%)
Cr 1:	0.111	15
Cr 2:	0.012	15
Cr 3:	0.148	15
Cr 4:	0.042	15
Cr 5:	0.203	15
Cr 6:	0.314	15

[Customize variation](#)

Consequences Matrix

Do you want to insert the evaluation matrix in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution: Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Evaluation	Range (%)
Cr 1:	C1	0
Cr 2:	C2	0
Cr 3:	C3	0
Cr 4:	C4	0
Cr 5:	C5	0
Cr 6:	C6	0
Cr 7:	C7	0

[Customize variation](#)

Start simulation

Number of cases:

[Click here to run Sensitivity Analysis:](#) Run Sensitivity Analysis

**This might take some time*

Simulation Results

► The Sensitivity Analysis module allows the decision-maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the decision weights.

Rank Changes Report				
nk	Position	Alternative	% original	% chan
1		A7 - Wetland construido	100	0
2		A1 - Projeto Bioágua - vermifiltro	82.49	17.51
3		A6 - RAC/ FSE	43.354	56.64
4		A5 - Fossa septica + filtro de anaer.	53.028	46.97
5		A4 - Bacia de evapotranspiração	100	0
6		A2 - UASB	100	0
7		A3 - Fossa Biodigestora	100	0

Fonte: A autora (2023).

b) Variação de 15% (mais ou menos) no critério custo, o qual é mais importante para o decisor.

Para este estudo foi considerado o intervalo de 15% de variação da performance das alternativas na matriz de consequência. Trata-se de uma análise válida, dado que para dimensionar o custo das tecnologias e alimentar a matriz de consequência foi utilizado projetos apresentados na literatura como referência para elaboração do orçamento. Portanto, apresentam um grau de significância aproximado.

A variação exclusiva nesse critério reduziu o percentual de permanência do WC, em comparação a análise onde todos os pesos variavam no intervalo de 15% (Figura 16), saindo de 100% para 71,45%. Apesar de reduzida, a porcentagem de permanência manteve-se alta (Figura 17).

Figura 17 - Variação com intervalo de 15% no critério custo em uma distribuição normal de probabilidade

Weights

Do you want to insert the weights in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters: Choose the type of distribution:

Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Weight	Range (%)
Cr 1: C1	0.111	0
Cr 2: C2	0.012	0
Cr 3: C3	0.148	0
Cr 4: C4	0.042	0
Cr 5: C5	0.203	0
Cr 6: C6	0.314	0

Consequences Matrix

Do you want to insert the evaluation matrix in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters: Choose the type of distribution:

Uniform Triangular

Parameter Range (%): >>

Criteria	Evaluation	Range (%)
Cr 1: C1	C1	0
Cr 2: C2	C2	0
Cr 3: C3	C3	0
Cr 4: C4	C4	0
Cr 5: C5	C5	0
Cr 6: C6	C6	15
Cr 7: C7	C7	0

Start simulation

Number of cases: Run Sensitivity Analysis

[Click here to run Sensitivity Analysis.](#)

Simulation Results

► The Sensitivity Analysis module allows the decision-maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the decision weights.

Rank Changes Report

Rank Position	Alternative	% original	% chan
1	A7 - Wetland construido	71.456	28.54
2	A1 - Projeto Bioágua - vermifiltro	62.061	37.93
3	A6 - RAC/ FSE	28.614	71.38
4	A5 - Fossa septica + filtro de anaer.	43.608	56.39
5	A4 - Bacia de evapotranspiração	49.01	50.99
6	A2 - UASB	79.231	20.76
7	A3 - Fossa Biodigestora	89.345	10.65

Fonte: A autora (2023).

c) Variação de 15% (mais ou menos) no critério “teor de toxicidade”.

Analisando o comportamento do ranking caso a performance das alternativas no segundo critério mais importante para o decisor variasse em 15%, observou-se que WC permaneceu na primeira posição do ranking, dessa vez com um percentual de permanência maior do que o obtido quando foi variado 15% do critério custo (mais importante) (Figura 17). Portanto, a permanência no primeiro lugar saiu de 71,45% das simulações para 80,05%, como pode ser observado comparando a Figura 17 com a Figura 18.

Figura 18 - Variação de 15% (mais ou menos) no critério Teor de toxicidade

About

► The Sensitivity Analysis module allows the decision maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the weight assignment.

Weights

Do you want to insert the weights in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution: Uniform Triangular

Parameter Range (%):

[Customize variation](#)

Criteria	Weight	Range (%)
Cr 1: C1	0.111	0
Cr 2: C2	0.012	0
Cr 3: C3	0.148	0
Cr 4: C4	0.042	0
Cr 5: C5	0.203	0
Cr 6: C6	0.314	0

Consequences Matrix

Do you want to insert the evaluation matrix in the sensitivity analysis? Yes No Restart

Select parameters:

Choose the type of distribution: Uniform Triangular

Parameter Range (%):

[Customize variation](#)

Criteria	Evaluation	Range (%)
Cr 1: C1		0
Cr 2: C2		0
Cr 3: C3		0
Cr 4: C4		0
Cr 5: C5		15
Cr 6: C6		0
Cr 7: C7		0

Start simulation

Number of cases:

[Click here to run Sensitivity Analysis:](#) Run Sensitivity Analysis

Simulation Results

► The Sensitivity Analysis module allows the decision-maker to perform the analysis by varying the original consequence matrix values of the problem for the selected criteria as well as the decision weights.

Rank Changes Report

Rank Position	Alternative	% original	% ch
1	A7 - Wetland construido	80.05	19.
2	A6 - RAC/FSE	46.743	53.
3	A5 - Fossa septica + filtro de anaer	50.264	49.
4	A1 - Projeto Bioágua - vermifiltro	46.889	53.
5	A4 - Bacia de evapotranspiração	97.173	2.8
6	A2 - UASB	99.993	0.0
7	A3 - Fossa Biodigestora	100	0

Fonte: A autora (2023).

O RAC/FSE permaneceu na mesma posição do ranking original. Nas duas análises anteriores, em que o custo foi variado e todos os pesos foram variados no intervalo de 15%, a tecnologia RAC deixou de ocupar a posição de segundo lugar. Essa posição passou a ser ocupada pelo Vermifiltro e o RAC passou a ocupar a terceira posição do ranking das tecnologias indicadas para o problema.

5.2.4 Fase 4: Discutir Resultados do *framework*

Etapa 11 – Recomendações ao decisor:

As recomendações consistem em um relatório que visa oferecer melhores orientações ao decisor e informar os riscos que envolve o processo, uma vez que todos os modelos são simplificações. A busca é por um modelo que seja útil. A primeira recomendação foi referente as simplificações adotadas ao longo do processo de construção do modelo, como, por exemplo, os dados da matriz de consequência.

A matriz de consequência foi construída a partir de revisão bibliográfica, o que pode gerar uma sensação de imprecisão para o problema. Diante disso, é recomendado que, se possível, projetos pilotos das tecnologias sejam construídos obedecendo às características da região. Para isso, é indicado parcerias com instituições ou grupos de pesquisas de universidade com área de conhecimento e atuação nessa temática.

Em todas as análises realizadas, o *wetland* construído manteve-se na primeira posição. Diante disso, algumas recomendações devem ser realizadas quanto a funcionalidade desse sistema. Essa tecnologia é bastante difundida, consolidada e disponibiliza de muitos estudos e matérias que permitem maior compreensão e incorporação desse sistema para tratamento de esgoto.

O orçamento do *wetland* indicado para esse município foi elaborado com base na cartilha de Von Sperling e Sezerino (2018). No entanto, é recomendado que o projeto seja desenvolvido e executado por uma equipe de engenharia que conheça as condições da comunidade local, para que ele seja mais apropriado e fidedigno a realidade.

Vale frisar que o desempenho do tratamento está associado as condições adotadas e aos elementos atuantes no sistema de tratamento. Para o modelo em questão, o *wetland* construído não conta com um tratamento primário a montante. Ele receberá o esgoto bruto direto das residências, visto que o sistema WC de escoamento vertical (sistema francês) conta com dois estágios, o primeiro que recebe o esgoto bruto, realiza o tratamento e encaminha para o segundo estágio.

Etapa 12 – Implementar decisão

Assim como o processo de escolha da tecnologia de tratamento, o processo de implementação não consiste em uma tarefa simples. A tecnologia terá que ser avaliada pelos demais envolvidos no processo, como membros da prefeitura (tesoureiro e equipe jurídica) e, principalmente, pelos moradores da zona rural. Para implementação da tecnologia será necessária uma equipe técnica para elaborar o projeto com o intuito que ele se adéque as condições locais e atenda as normas e legislações de saneamento e o orçamento municipal.

A equipe de implementação deve ser treinada e capacitada para, além de desenvolver e implementar o projeto, saber transmitir para o morador rural importância do esgotamento sanitário e saber capacitar esses moradores a conviver com essa nova tecnologia. Outros desafios enfrentados pela equipe, antes mesmo de implementar uma medida de tratamento de esgoto, é sanar a ausência de banheiros sanitários. A instalação de banheiros individuais nas zonas rurais deve ser a medida prioritária. As soluções básicas devem ser executadas na intenção de adequar as condições de instalações sanitárias para todos da zona rural, para então dar início nas ações mais complexas, como as tecnologias de tratamento.

Outra medida básica que deve preceder a implantação da tecnologia de tratamento é a educação sanitária. Torna-se necessário gerar um conhecimento prévio do que consiste o saneamento básico, visto que, segundo a gestora, a população rural prioriza o serviço de abastecimento de água e pretere os demais serviços de saneamento. É necessário criar uma cultura volta para educação sanitária enfatizando a importância de promover o seu funcionamento de maneira conjunta. Portanto, um plano de ação educativo deve ser construído de modo que envolva a equipe de saúde, educação, serviço social e agricultura do município. Quanto a implementação do plano, ela pode ocorrer por oficinas teóricas e práticas com metodologias voltadas para o público da zona rural.

5.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Nessa seção foi realizada a aplicação do modelo proposto para priorização de tecnologias de tratamento de esgoto. A fim de validar os benefícios do modelo, foi feita uma aplicação em um caso real do município de Pocinhos-PB, que possui uma área municipal com grande predominância de pequenas e micro propriedades rurais e um serviço de esgotamento sanitário rural, em sua maioria, rudimentar ou inexistente.

Partindo da aplicação do VFT foi possível identificar os valores da gestora e, com isso, agregar novos critérios e alternativas ao problema, além dos propostos nas bibliografias. O VFT possibilitou a análise e compreensão de diferentes pontos de vista do decisor acerca do problema.

Posteriormente, após a estruturação de problema, foi utilizado o SAD do PROMETHEE ROC como ferramenta para condução do processo de construção do modelo. O SAD se mostrou bastante útil para o decisor, proporcionando maior flexibilidade e visibilidade do modelo. Por fim, foi obtido o ranking das tecnologias de

tratamento de esgoto para a zona rural isolada do município de Pocinhos, analisada a sensibilidade do ranking e apresentada recomendações para o decisor e para implementação da decisão.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

Critérios subjetivos e conflitantes, variedade de tecnologias descentralizadas para tratamento de esgoto, múltiplos objetos, limitação na aplicação de recursos e comunidades isoladas são uns dos pontos presentes em um processo de priorização de medidas para o esgotamento sanitário rural. Diante disso, este trabalho demonstrou que o apoio a decisão multicritério possibilita uma visão simplificada do problema de decisão, no qual todos os pontos apresentados anteriormente podem ser considerados durante o processo.

O estudo permitiu uma nova forma de abordar o problema e como melhor definir os critérios em uma problemática complexa, como o esgotamento sanitário. O modelo proposto possibilitou uma análise mais consistente da situação, uma vez que agregou método de estruturação de problema e métodos multicritério numa metodologia fácil e didática, estruturada em um *framework* interativo, para facilitar o processo de decisão do gestor.

A partir da aplicação do VFT foi identificado os valores do decisor, que se manifestaram em quatro dimensões (ambiental, social, econômico e técnico), e foram definidas as alternativas. Todas as alternativas se tratavam de tecnologias descentralizadas, as quais são tecnologias apropriadas para área mais isolada, zona rural ou regiões no qual a implementação de uma rede de esgoto se torna inviável. Algumas das tecnologias apresentadas já são bastante discutidas na literatura, como *wetland* construído, UASB e fossa biodigestora, e outras apresentam uma menor quantidade de dados e estudos científicos, como RAC.

Com as alternativas e critérios definidos, foi dado continuidade na construção do modelo de apoio a decisão seguindo as 12 etapas propostas no *framework* De Almeida (2013), que levou a priorização e aplicação do método multicritério PROMETHEE-ROC. O método da família PROMETHEE foi o escolhido devido à problemática de ordenação no qual o problema foi classificado, a estrutura de preferência do decisor e sua racionalidade não compensatória.

Para desenvolvimento do problema foi utilizado um SAD. O “*ROC and ratio elicitation for PROMETHEE Ranking*” permitiu que o decisor, uma pessoa que desconhecia método multicritério e apoio a decisão, compreendesse o processo de

forma clara e prática, devido a seus recursos visuais e sua interatividade, e demandasse menos esforço, graças aos pesos substitutos gerados pelo ROC. Na etapa do SAD de elicitação dos pesos, o decisor definiu como critério com maior grau de importância o custo de implementação, justificando que o repassa financeiro do município apresentava limitações.

O segundo critério mais importante, conforme o ranking dos critérios construído pelo decisor, é o teor de toxicidade do efluente final. Esse critério está relacionado ao objetivo de reúso do efluente para irrigação e forragem. O resultado proposto pelo SAD mostrou que a tecnologia mais adequada para o problema de decisão é o *wetland* construído, enquanto a fossa biodigestora foi a menos preferível.

Quanto a consistência do ranking, mesmo com a variação dos pesos e das consequências da matriz, ele praticamente se manteve inalterado. Em todas as análises de sensibilidade, o WC se mantém na primeira posição do ranking, demonstrando boa consistência. A segunda e terceira posição do ranking se mostraram mais sensíveis. As alternativas RAC/FSE e Vermifiltro oscilavam nessas posições.

Entende-se que o objetivo deste trabalho foi atingido e o apoio à decisão multicritério, através da estrutura metodológica do *framework*, se mostrou útil no contexto de saneamento básico da zona rural, permitindo compreensão e estruturação do problema. O modelo possibilitou que o gestor não limitasse sua análise e escolha apenas parâmetros objetivos, visto que possibilitou também o julgamento subjetivo, como, por exemplo, a qualidade de vida da população e as questões ambientais.

Com isso, o modelo de apoio a decisão pode ser aplicado nos demais serviços que engloba o saneamento, como, por exemplo, em processos decisórios envolvendo o serviço de abastecimento de água e coleta de resíduos sólidos, demandando apenas adequações ao problema.

Com esse potencial de aplicabilidade, o processo metodológico pode contribuir para expansão da cobertura de serviços de saneamento, para o alcance dos ODS e no processo de priorização de ações que promova melhorias no quadro de saneamento no Brasil e da qualidade do meio ambiente e da população rural. A aplicação do modelo permitiu uma melhoria no processo de tomada de decisão, demandando menos recursos e possibilitando um melhor uso desses recursos.

Esta pesquisa também propiciou um lugar de destaque para zona rural, visando gerar maior sensibilidade na comunidade acadêmica para o saneamento nessa área.

Busca-se contribuir para que mais pesquisas sejam direcionadas para essa população tão carente de esgotamento sanitário, visto que conhecida a realidade do esgotamento sanitário na área rural, mais debates poderão ser desenvolvidos e mais perguntas, ainda não respondidas, passarão a ter respostas. Assim, esta pesquisa destaca e importância de induzir debate que estimule a criação de políticas de fortalecimento do saneamento da zona rural.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas limitações do estudo devem ser destacadas objetivando que em estudos futuros elas possam ser sanadas. A primeira é referente aos dados da matriz. Todos os dados foram obtidos da revisão de literatura, dada a impossibilidade de tempo e recurso para construção de pilotos de cada tecnologia obedecendo às características de Pocinhos. Para maior robustez seria indicado mensurações mais detalhadas, dados mais precisos e fidedignos com a realidade do local para construção da matriz.

O modelo contou com simplificações, como, por exemplo, na etapa de “fatores não controlados pelo decisor”, onde não foi considerada as incertezas. Dada a complexidade desse processo decisório, optou-se por adotar que todos os fatores eram controlados pelo decisor, mesmo sabendo da existência de fatores de caráter probabilísticos inerentes a esse problema. Para trabalhos futuros, visando aperfeiçoar o presente estudo, é proposto uma extensão do modelo em que esteja adequado a considerar a presença de eventuais estados da natureza.

Também fica como sugestão a ampliação do modelo para tomadas de decisão em grupos. No contexto de saneamento básico existe a medida de regionalização para universalização do serviço de água e esgoto. Nessa situação em que o processo de decisão envolve mais de um decisor, visando unir diferentes pontos de vista, orienta-se a utilização de outro método de estruturação de problemas, como, por exemplo, o SODA, que possibilita uma boa análise a partir de seus mapas cognitivos.

Por fim, reafirmar a importância do trabalho para o contexto de gestão sanitária na zona rural. O trabalho apresentou a necessidade de discutir medidas para zona rural, que muitas vezes é ignorada e esquecida no planejamento da gestão, e que por metodologia científica é possível estruturar o problema e fundamentar a escolha, considerando e priorizando os reais valores do gestor, sem limitar sua escolha aos

fatores financeiros. O modelo estudado é uma maneira de melhorar o processo de decisão para o gestor, possibilitar um direcionamento dos recursos e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população rural, a partir da redução de danos à saúde e ao ambiente.

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. Problem structuring methods 'in the Dock': Arguing the case for Soft OR. **European Journal of Operational Research**, v. 219, n. 3, p. 652-658, 2012.
- ALENCAR, L. H. **Avaliação e gestão de projeto na construção civil com apoio do método multicritério PROMETHEE**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- ALENCAR, Marcelo Hazin; PRIORI JR, Luiz; ALENCAR, Luciana Hazin. **Structuring objectives based on value-focused thinking methodology: Creating alternatives for sustainability in the built environment**. *Journal of cleaner production*, v. 156, p. 62-73, 2017.
- ALMEIDA, S. D.; MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. Agregação de pontos de vista de stakeholders utilizando o Value-Focused Thinking associado à mapeamento cognitivo. **Production**, v. 24, p. 144-159, 2014.
- AI-RASHDAN, D.; AI-KLOUB, B.; DEAN, A.; AI-SHEMMERI, T Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. **European Journal of Operational Research**, v. 118, n. 1, p. 30-45, 1999.
- ANAGNOSTOPOULOS, K. P.; GRATZIOU, M.; VAVATSIKOS, A. P. Using the fuzzy analytic hierarchy process for selecting wastewater facilities at prefecture level. **European Water**, v. 19, n. 20, p. 15-24, 2007
- BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2002
- BOENO, E. G.; CHIWIACOWSKY, L. D. Modelo de apoio a tomada de decisão na gestão de portfólio de projetos com base em uma abordagem de análise multicritério. **Scientia cum Industria**, v. 8, n. 2, p. 145-155, 2020.
- BORGES, S. F. S.; JUNIOR CARDOSO, M. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Seleção de perfil de palestrante especialista para oficina de formação docente. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 15, p. 1-18, 2022.
- BORTOLUZZI, M.; FURLAN, M; COLOMBO, S.G; AMARAL, T.M; DE SOUZA, C.C; DOS REIS NETO, J.F; DE FRANÇA, J.F. Combining value-focused thinking and promethee techniques for selecting a portfolio of distributed energy generation projects in the brazilian electricity sector. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 11091, 2021.
- BOS, R.; ROAF, V., PAYEN, G., J ROUSSE, M., LATORRE, C., MCCLEOD, N., & ALVES, D. **Manual on the human rights to safe drinking water and sanitation for practitioners**. London: IWA Publishing, 2016.
- BRANS, J. P. **L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'Aide à la décision. La méthode PROMETHEE**. In: **COLLOQUE D'AIDE À LA DECISION**, Quebec: Université LAVAL, 1982.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **Prométhée-Gaia: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples**. Bruxelas: Éditions de l'Université de Bruxelles, 2002.

BRASIL. CONAMA. **Resolução Nº. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, Complementa e Altera a Resolução No. 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília-DF: Diário Oficial da União, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/>. Acesso em: 12 mai. 2022.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 19 jan. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 8.141, de 20 de novembro de 2013**. Dispõe sobre o Plano Nacional de Saneamento Básico -PNSB. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8141.htm. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. **Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico[...]. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 19 jan. 2022.

BRASIL. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984 [...] Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20192022/2020/lei/l14026. Acesso em: 5 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural/** Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Brasília, DF: Funasa, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Termo de referência para elaboração de plano municipal de Saneamento Básico**. Brasília: Funasa, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional – MDR. Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto - 2020**. Brasília: MDR, 2021a

BRASIL. **Proposta de Emenda à Constituição nº 2, de 2016**. Altera o art. 6º da Constituição da República, para incluir, dentre os direitos sociais, o direito ao saneamento básico. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/124779>. Acesso em: 07 ago 2022

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR. Secretaria Nacional de Saneamento -SNS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021** / Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília/ DF, 2021b.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil)**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 ago. 2022.

CARCARÁ, M. S. M.; SILVA, E. A. da; MOITA, J. M. Saneamento básico como dignidade humana: entre o mínimo existencial e a reserva do possível. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 493-500, 2019.

CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operação**. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CHAISSAR, M.; GARG, S. K. Selection of Sewage Treatment Technology using Analytic Hierarchy Process. **Materials Today: Proceedings**, v. 56, p. 3433-3440, 2022.

CHECKLAND, P. From optimizing to learning: A development of systems thinking for the 1990s. **Journal of the Operational Research Society**, v. 36, p. 757-767, 1985.

CLEMENTE, T.R.N. **Estudo de Pesos Substitutos para o Método PROMETHEE II e Aplicação em Modelo para Avaliação de Tecnologias Críticas**. 2015. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CUNHA, A. A. R. **Proposta de construção e validação de mapas cognitivos voltada à estruturação de problemas para decisões em grupo**. 2016. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

CUNHA, C. P. C. B. da. **Decisão Multicritério na priorização das operações especiais da Polícia Federal**. 2019. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

DA SILVA, B. C.; SCHMITZ, E. A.; DA SILVA, M. F.; RANGEL, L. A. D. Multicriteria Decision Aiding for R&D Project Prioritization: A case study in an oil & gas company. Brazilian. **Journal of Information Systems**, v. 13, n.1, p. 05–32, 2020.

DE ALMEIDA, A. T. **Processo de Decisão Nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013.

FALTA de saneamento básico mata 700 crianças abaixo de cinco anos por dia. **Nações Unidas – Brasil**, 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/11/1771012>. Acesso em: 15 jan. 2022.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários (Projeto PROSAB)**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FREIJ, E. A. **Modelo multicritério para seleção de fornecedores e análise da problemática de ordenação com fitradeoff**. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FREITAS, E. C. B. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Esgoto Utilizando Análise Multicritério**. 2020, 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

GOFFI, A. S. **Uso de análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, PR, 2017.

GOUVEIA, A. R. **Manual de Uso e Manutenção do Sistema de Bioágua**. Salvado: Projeto Enel - Bioágua Familiar, 2019.

HONORATO, L. M. C; D'EÇA, N. F. G; SANTOS, A. S. P; SALOMÃO, A. L. S. Tratamento descentralizado de esgoto doméstico: revisão sistemática. **Revista DAE**, v. 233, 2021.

HUANG, Y.; LI, P; LI, H; ZHANG, B; HE, Y. To centralize or to decentralize? A systematic framework for optimizing rural wastewater treatment planning. **Journal of Environmental Management**, v. 300, p. 113673, 2021.

HUANG, Y; WU, L; LI, P; LI, N; HE, Y. What's the cost-effective pattern for rural wastewater treatment?. **Journal of Environmental Management**, v. 303, p. 114226, 2022.

HUNT, C. C. **Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Aplicado à Seleção de Sistema de Tratamento de Esgoto para Pequenos Municípios**. 2013. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

IBGE– Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Atlas de Saneamento: Abastecimento de água e Esgoto Sanitário**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 15 jun. de 2022.

IBGE. **Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 84p. (Estudos e pesquisas. Informação geográfica, ISSN 1571-1450; n 11). ISBN 978-85-240-4421-2.

IBGE. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios (PNAD): síntese de indicadores 2015**. Rio de Janeiro: IBGE: 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/927-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

IBGE. Malhas territoriais. **Malha de Setores Censitários**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=saiba-mais-edicao>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA APLICADA. **Agenda 2030**: metas nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Brasília, DF: Ipea, 2019. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf. Acesso em: 20 abr. 2022.

IRIBARNEGARAY, M. A.; RODRIGUEZ-ALVAREZ, M. S.; MORAÑA, L. B.; TEJERINA, W. A.; SEGHEZZO, L. Management challenges for a more decentralized treatment and reuse of domestic wastewater in metropolitan areas. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 8, n. 1, p. 113-122, 2018.

KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach. **Journal of environmental management**, v. 128, p. 844-851, 2013.

KEENEY, R. L. **Value Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making**. Cambridge - MA: Harvard University Press, 1992

KIPNIS, T. G; CASTRO, P. B. N. A. **Relevância Do Esgotamento Sanitário Descentralizado E Sistemas Baseados No Manejo Do Lodo Fecal**: caminhos para o saneamento inclusivo no Brasil. São Paulo: Instituto Água E Saneamento (IAS), 2020.

LIMA, M.N.E.; MORAIS, D.C. Modelo para priorização de medidas de gestão para redução da demanda de água. *In*: XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2022, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Rio de Janeiro, ABEPRO, 2022

LIMA, M.N.E.; MORAIS, D.C. Identificação de medidas para o esgotamento sanitário na zona rural através da aplicação do VFT. *In*: ANAIS DO LIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2022, Juiz de Fora. **Anais eletrônicos** [...] Campinas, Galoá, 2022

LIZOT, M.; GOFFI, A.S.; THESARI, S. S.; TROJAN, F.; AFONSO, P. S.; FERREIRA, P. F. Multi-criteria methodology for selection of wastewater treatment systems with economic, social, technical and environmental aspects. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, p. 9827-9851, 2021.

MAYER, M. C; BARBOSA, R. D. A; LAMBAIS, G. R; MEDEIROS, S. D. S; VAN HAANDEL, A. C; SANTOS, S. L. D. Tecnologia de tratamento de esgoto: uma alternativa de saneamento básico rural e produção de água para reúso agrícola no Semiárido Brasileiro. **Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: Estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a**

sustentabilidade no Brasil. Brasília: CEPAL, 2020. LC/TS. 2020/37. p. 103-113, 2020.

MELO, C. S. L. D. **Coalizões políticas em processos de mudança institucional: uma abordagem utilizando Value-Focused Thinking associado aos mapas cognitivos.** 2017, 191 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P.; GOMES, U. A. F.; BORGES, A. C. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: Aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, 2021.

MONTE, M. B. S. **Decision-making models to structure and support urban water supply problems.** 2018, 121 f. Tese (Doutorado em engenharia de produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

MONTE, M. B. S; MORAIS, D. C. A decision model for identifying and solving problems in an urban water supply system. **Water Resources Management**, v. 33, p. 4835-4848, 2019.

MORAIS, D.C; ALMEIDA, A.T; ALENCAR, L.H; CLEMENTE, T.R.N; CAVALCANTI, C.Z.B. PROMETHEE-ROC model for assessing the readiness of technology for generating energy. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2015, 2015.

O SANEAMENTO básico no Brasil rural: reflexões para alcançar a universalização. **Instituto Água e Saneamento**, 2022. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/o-saneamento-basico-no-brasil-rural-reflexoes-para-alcancar-a-universalizaca/>. Acesso em: 04 de ago. de 2022.

OLIVEIRA, G. A; COLARES, G. S; LUTTERBECK, C. A; DELL'OSBEL, N; MACHADO, Ê. L; RODRIGUES, L. Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. **Science of the Total Environment**, v. 773, p. 145609, 2021.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário.** 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PARAÍBA. **Lei nº 9.260, de 25 de novembro de 2010.** Institui princípios e estabelece diretrizes da política estadual de saneamento básico, autoriza e 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-PB: Diário Oficial do Estado da Paraíba, 2010. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=146146>. Acesso em: 05 ago. 2022.

PEREIRA, T. S. T.; HELLER, L. Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos brasileiros. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 20, p. 395-404, 2015.

PMSB-PB/UFCG. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Pocinhos. Produto C - Diagnóstico.** Paraíba: FUNASA/UFCG. 2021.

POCINHOS. **Lei Orgânica do Município de Pocinhos, de 24 de março de 2009.** Pocinhos – PB: Câmara Municipal, 2009. Disponível em: <http://pocinhos.pb.gov.br/leis-municipais/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

REIS, A. O. P. **Sistemática para Seleção de Tecnologias de Tratamento de Efluentes: uma Análise Multicriterial Aplicada à Bacia Hidrográfica.** 2018. Tese (Doutorado em engenharia de produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.

ROC and ratio elicitation for PROMETHEE Ranking with Monte Carlo Sensitivity and Kendall Test via web. Version 1.2023. **Working paper CDSID.** Disponível em: <http://cdsid.org.br/prometheeroc/>

ROLIM, H.O.; CHAVES, J.R.; NUNES, A.B.A.; SILVA FILHO, H.A.; SANTOS, E.V.M. Qualidade dos efluentes de sistemas de tratamento biológico UASB e UCT para reúso agrícola. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 393-414, 2016.

ROSSONI, L. Modelagem e simulação soft em estratégia. **Revista Produção Online**, v. 6, n. 2, 2006.

ROY, B. **Mulcriteria Methodology for Decision Aiding.** Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1996.

SANTIAGO, F; JALFIM, F; BLACKBURN, R; DOMBROSK, S; MONTEIRO, L; NANES, M; DIAS, I; GURGEL, R; OLIVEIRA, B; OLIVEIRA, G; SANTOS, W; PINHEIRO, M. R; SALES, F; SILVA, J. Manual de implantação e manejo do sistema bioágua familiar: reúso de água cinza doméstica para a produção de alimentos na agricultura familiar do semiárido brasileiro. **Caraúbas: Atos**, 2015.

SCALIZE, P. S., BEZERRA, N. R. (Organizadores). **Curso de especialização de saneamento e saúde ambiental: Saneamento Básico Rural.** [Ebook]. Nolan Ribeiro– Goiânia: CEGRAF UFG, 2020

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural Saúde: saneamento rural.** Brasília: Senar, 2019.

SILVA, E. L. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4ed. Florianópolis: Atual, 2005.

SILVA, L. B. L. **Modelo multicritério para alocação de recursos no setor elétrico com base no PROMETHEE V usando o conceito de portfólio c-ótimo.** 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, W.T.L.; MARMO, C. R.; SILVA, J.C.; FRAGALLE, E. P. **20 anos do saneamento rural na Embrapa Instrumentação: do básico ao ambiental.** São

Carlos (SP): Embrapa Instrumentação, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1138679/20-anos-do-saneamento-rural-na-embrapa-instrumentacao-do-basico-ao-ambiental>. Acesso em: 02 mai. 2022

SIMÕES, A; SILVA, C; ANDRADE, T; BELDERRAIN, M. C. Estruturação do Problema de Desempenho das Unidades Operacionais de Instituição de Ensino Profissionalizante Utilizando uma Multimetodologia. **FACEF Pesquisa-Desenvolvimento e Gestão**, v. 18, n. 3, 2015.

SUDEMA - Superintendência de Meio Ambiente do Estado da Paraíba. **DZ 201 – classificação das águas interiores do Estado**. Paraíba: SUDEMA, 1988. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/enquadramento/>. Acesso em: 08 mar. 2021.

TONETTI, A. L., BRASIL, A. L., MADRID, F. J. P. L., FIGUEIREDO, I. C. S., SCHNEIDER, J., CRUZ, L. D. O., MAGALHÃES, T. M. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. **Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo**, v. 153, 2018.

UNICEF. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000–2017**. New York: WHO, 2019.

UNITED NATIONS. **The sustainable development goals report 2019**. New York: United Nations, 2019. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019>. Acesso em: 02 mai. 2022.

United Nations General Assembly (UNGA). **Human Right to Water and Sanitation**. Geneva: UNGA; 2010. UN Document A/RES/64/292.

VERGARA, S. C. **Métodos de Pesquisa em Administração**. São Paulo, SP: Atlas, 2005.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. Bruxelles: Wiley, 1992.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgoto, Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, 2018. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 01 ago. 2022.

WHO/UNICEF – (WORLD HEALTH ORGANIZATION UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND). **Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation: progress on drinking water and sanitation**. Geneva: WHO, Unicef, 2017.

ZHANG, F; JU, Y; DONG, P; WANG, A; Santibanes Gonzalez, E. D. R. Multi-period evaluation and selection of rural wastewater treatment technologies: a case

study. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 45897-45910, 2020.

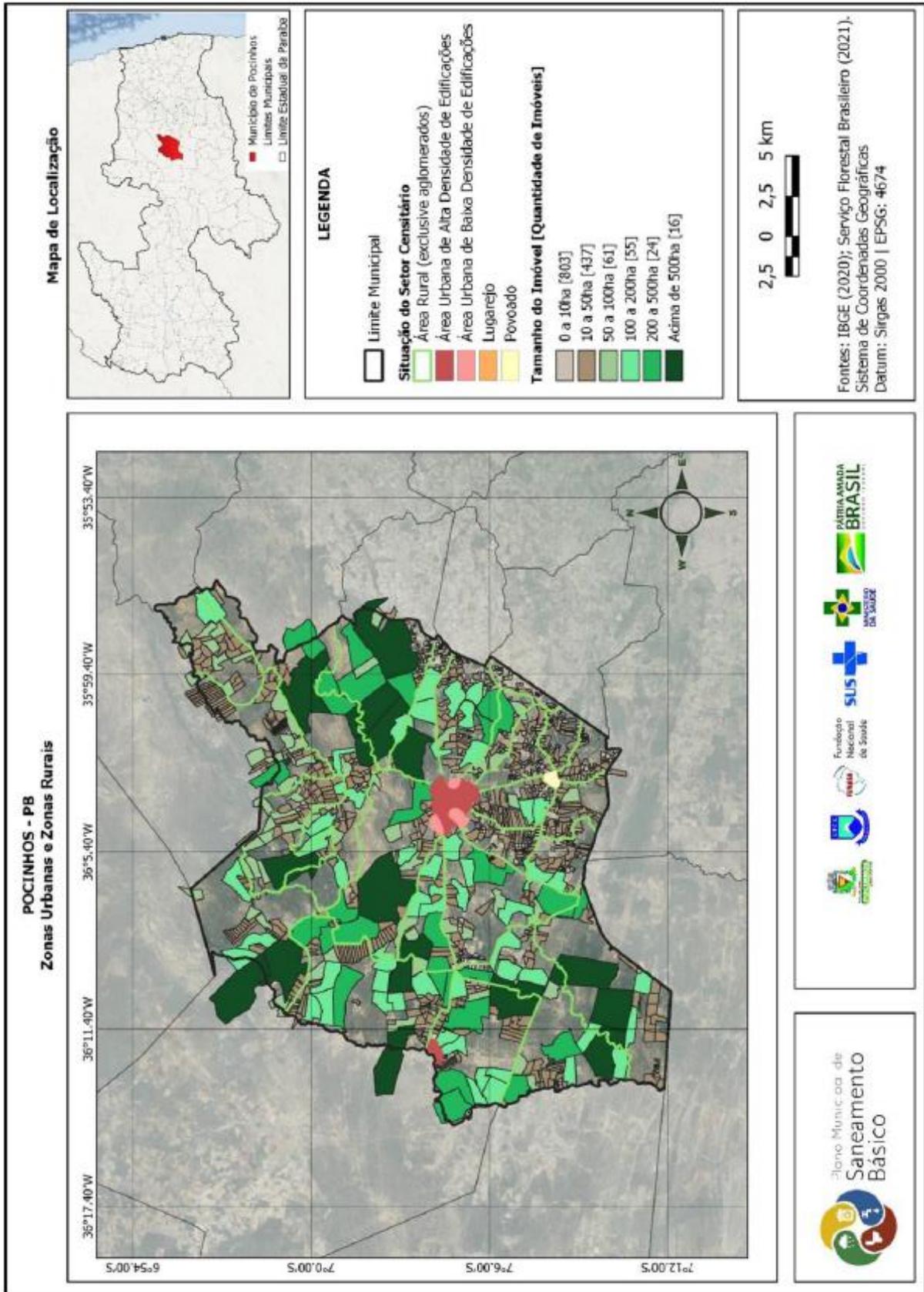
3,6 BILHÕES de pessoas vivem sem saneamento seguro. Nações Unidas – Brasil, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/159303-36-bilhoes-de-pessoas-vivem-sem-saneamento-seguro>. Acesso em: 15 jan. 2022.

APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTA APLICADA NA PESQUISA

1 – Como funciona o processo de coleta e tratamento de esgoto na zona rural de Pocinhos? Se existe? Se não, já existe debates a respeito? Ou seja, caracterizar a área.
2 – No total são quantas comunidades rurais? Eu vi que vocês têm uma alta concentração da população na zona rural. São cerca de 44% da população do município, de acordo com o último IBGE.
3- Então no município já existe esse debate em busca de tratamento de esgoto para zonas rurais, não é isso? Para senhora qual seria o sistema ideal?
4 - Hoje, diante do dia a dia das comunidades, quais são as principais dificuldades enfrentadas por essas comunidades diante da ausência do tratamento de esgoto?
5 – A senhora tem conhecimento de outros projetos que se aplicam as comunidades de Pocinhos?
6 - Dentro dessa temática e até mesmo na hora de escolher esse projeto quais foram os pontos considerados, os fatores considerados importantes?
7 – Observa-se que vários fatores aí foram considerados. Com relação ao desempenho, por exemplo, a senhora prefere um projeto que apresenta baixo custo de implementação, mas não tenha um retorno tão bom de reúso, ou prefere um projeto que apresente um equilíbrio entre esses fatores e outros fatores, como social e ambiental? Ou seja, a senhora concorda com uma compensação entre essas consequências ou um equilíbrio entre elas?
8 – De acordo com o levantamento realizado pela UFCG-FUNASA, o município de vocês apresenta muitas fossas sumidouros. A senhora acredita que esse seja um bom sistema? Ou acredita que não? Que deve ser substituído.
9- Você identifica algum obstáculo nesse processo?
10 - Tem conhecimento de outros projetos de tratamento de esgoto na zona rural? Pode ser que você conheça ou já tenha ouvido falar de outras instituições
11 -Para senhora hoje qual a principal dificuldade para implementar esse sistema nas zonas rurais do município?
12- Vocês estão trabalhando em parceria com a FUNASA, não existe a possibilidade de utilizarem esse recurso federal?

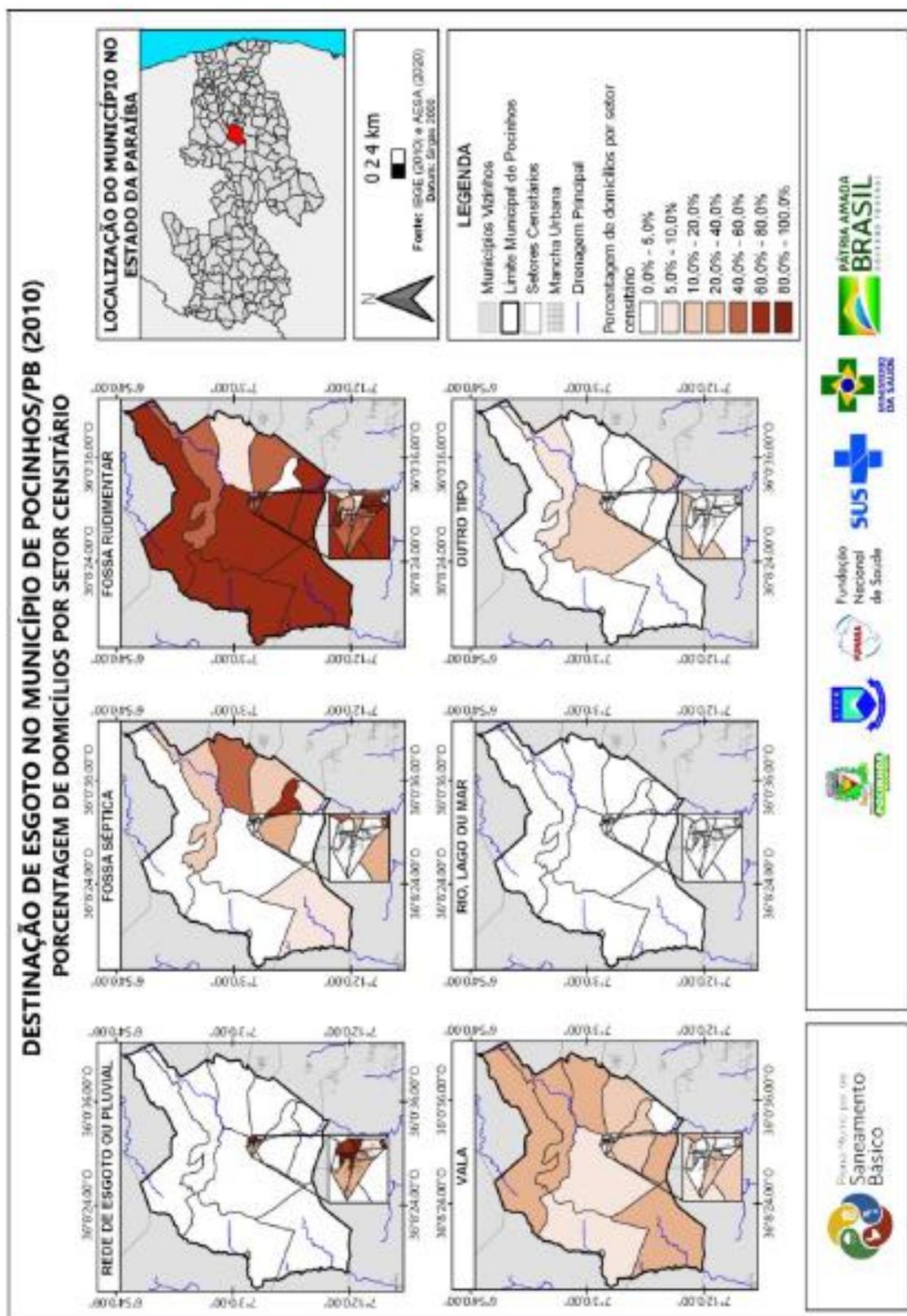
13- Quais são suas metas e principais objetivos, o objetivo estratégico da senhora diante dessa temática?

ANEXO A – DETALHEAMENTO DAS PROPRIEDADES RURAIS DE POCINHOS



Fonte: PMSB - PB/UFCEG (2021 p. 43)

ANEXO B – DESTINAÇÃO DO SES DE POCINHOS (IBGE, 2010)



Fonte: PMSB - PB/UFPG (2021 p. 257)