



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

STEPHANIE DE OLIVEIRA SOUZA

**DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO
DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE UMA
BACIA DE ESGOTAMENTO EM FORTALEZA/CE**

FORTALEZA

2023

STEPHANIE DE OLIVEIRA SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE UMA BACIA DE
ESGOTAMENTO EM FORTALEZA/CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S235d Souza, Stephanie de Oliveira.

Desenvolvimento de metodologia multicritério para avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos de uma bacia de esgotamento em Fortaleza/CE / Stephanie de Oliveira Souza. – 2023.
170 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

1. Estações de tratamento de esgotos. 2. Indicadores de desempenho. 3. Métodos multicritério de apoio à decisão. 4. Método AHP com ratings. 5. Método TOPSIS-Sort. I. Título.

CDD 628

STEPHANIE DE OLIVEIRA SOUZA

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE UMA BACIA DE ESGOTAMENTO EM FORTALEZA/CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 28/04/2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Carlos Alves Barroso Júnior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Instituto Federal do Tocantins (IFTO)

Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça
Universidade Federal do Pará (UFPA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças alcançadas durante todo o meu caminho.

Aos meus pais, Antônio Cardoso Souza e Antônia Cláudia de Oliveira Souza, por todo o apoio, dedicação e amor a mim concedidos.

Aos meus familiares, amigos e, em especial, ao Alan Pereira que sempre apoiaram e torceram por esse momento.

Aos professores, pelo conhecimento amplamente transmitido ao longo desse período de pós-graduação.

A todos os meus colegas de pós-graduação, em especial aos meus amigos: Eliel Aguiar, Gustavo Ross, Helenamara Fonseca, Herivanda Almeida e Vicente Elício pelo companheirismo e amizade.

À Universidade Federal do Ceará, que me permitiu adquirir amplos conhecimentos por meio da sua infraestrutura.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), pela excelência e qualidade do programa de pós-graduação ofertado.

Ao CNPq, pela bolsa de doutorado a mim concedida.

À minha orientadora, Ana Bárbara de Araújo Nunes, pela confiança que depositou em mim, sua paciência e gentileza em me orientar foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao professor Fernando José Araújo da Silva, pela amizade, atenção e por ter se mostrado sempre disponível para ajudar e compartilhar sua sabedoria.

À Cagece, pelo fornecimento dos dados do estudo.

Aos professores participantes da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos os servidores da UFC, que cooperaram de alguma forma para a minha formação profissional durante esse período.

A todos, que contribuíram de alguma forma para que eu chegasse neste momento tão especial.

RESUMO

As estações de tratamento de esgotos são consideradas fontes pontuais de poluição, podendo ocasionar o comprometimento dos corpos hídricos receptores quando não monitoradas de maneira adequada. Assim, há uma crescente necessidade de avaliação do desempenho dessas instalações para o fornecimento de informações técnicas, econômicas e ambientais em dado momento no tempo. O desempenho eficaz e eficiente das ETEs contribui para a gestão sustentável dos recursos hídricos, em especial, no Semiárido brasileiro que sofre continuamente de escassez hídrica. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de modelo de avaliação do desempenho de ETEs de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará. Para isso, integrou-se o método Delphi com métodos multicritério de apoio à decisão para determinar o desempenho global dessas instalações em uma das categorias de desempenho propostas: “Bom”, “Satisfatório”, “Insatisfatório” ou “Ruim”. Primeiramente, realizaram-se a seleção e a proposição de indicadores de desempenho (IDs) mais adequados à avaliação das ETEs do estudo nas dimensões ambiental e operacional. Em seguida, os critérios (importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade) e as alternativas (IDs) foram avaliados por meio da consulta Delphi aos atores de decisão do contexto das ETEs. As respostas dadas pelos especialistas no questionário foram utilizadas para definir os pesos dos IDs pelo método AHP com *ratings* e a abordagem AIP. Após a finalização dessa primeira etapa metodológica, o método multicritério TOPSIS-Sort foi aplicado para a determinação dos desempenhos globais das 51 ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó. De acordo com os resultados obtidos, as tecnologias com as melhores eficiências de remoção de DQO, indicador com maior importância no *ranking* AHP com *ratings*, foram Lagoa Facultativa seguida de Lagoas de Maturação em série e UASB. Enquanto, as tecnologias UASB seguida de Filtro Submerso Aeróbio e Lodos Ativados apresentaram as piores eficiências. Quanto à análise de sensibilidade, as alterações nos pesos dos critérios praticamente não afetaram o *ranking* das ETEs por tipologia de tratamento, indicando consistência dos resultados de desempenho global obtido pelo método TOPSIS-Sort. Conclui-se que a metodologia desenvolvida pode ser adaptada a outros tipos de sistemas de tratamento e diferentes cenários conforme a disponibilidade de dados. Essa flexibilidade ajuda a tornar a tomada de decisão no saneamento mais acessível e adaptável às necessidades específicas de cada caso.

Palavras-chave: estações de tratamento de esgotos; indicadores de desempenho; métodos multicritério de apoio à decisão; método AHP com *ratings*; método TOPSIS-Sort.

ABSTRACT

Wastewater treatment plants (WWTPs) are considered punctual sources of pollution, which can compromise the receiving water bodies when not properly monitored. So, there is a growing need to assess the performance of these facilities to provide technical, economic, and environmental information at a given point in time. The effective and efficient performance of the WWTPs contributes to the sustainable management of water resources, especially in the Brazilian semiarid region, which suffers continually from water lack. In this context, it is proposed to develop a model for evaluating the performance of WWTPs in a sewage basin in the city of Fortaleza, Ceará. Considering this, the Delphi method was integrated with multi-criteria decision support methods to determine the overall performance of these installations in one of the proposed performance categories: “Good”, “Satisfactory”, “Unsatisfactory” or “Bad”. First was selected and proposed the performance of indicators (PIs) that were most appropriate for the evaluation of the study's WWTPs in the environmental and operational dimensions were carried out. Then, the criteria (importance, measurability, easiness of reading and sensitivity) and alternatives (PIs) were assessed through Delphi consultation with decision makers in the context of the WWTPs. The answers given by the experts were used to define the weights of the PIs by the AHP method with ratings and the AIP approach. After the completion of this first methodological step, the TOPSIS-Sort multicriteria method was applied to determine the global performances of the 51 WWTPs of the Rio Cocó drainage basin. According to the results obtained, the technologies with the best COD removal efficiencies, the most important indicator in the AHP ranking with ratings, were Facultative Lagoon followed by Series Maturation Lagoons and UASB. While UASB technologies followed by Submerged Aerobic Filter and Activated Sludges presented the worst efficiencies. As for the sensitivity analysis, the changes in the weights of the criteria practically did not affect the ranking of the WWTPs by type of treatment, indicating consistency of the global performance results obtained by the TOPSIS-Sort method. It is concluded that the developed methodology can be adapted to other types of treatment systems and different scenarios according to data availability. This flexibility helps make sanitation decision-making more accessible and adaptable to the specific needs of each case.

Keywords: wastewater treatment plants; performance indicators; multi-criteria decision analysis; AHP method with ratings; TOPSIS-Sort method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alternativas de tratamento complementar e de disposição final do sistema de tanque séptico	20
Figura 2 - Principais etapas para o processo de tomada de decisão com multicritério	58
Figura 3- Tipos de problemáticas	60
Figura 4 - Etapas do método Delphi	70
Figura 5 - Representação da técnica de amostragem snowball	71
Figura 6 - Divisão das bacias hidrográficas do estado do Ceará	74
Figura 7 - Bacias hidrográficas do município de Fortaleza.....	75
Figura 8 - Bacia do Rio Cocó: recursos hídricos e divisão das sub-bacias	77
Figura 9 - Unidades componentes do Sistema Integrado de esgotamento sanitário em Fortaleza	79
Figura 10 - Bacias de esgotamento sanitário de Fortaleza	82
Figura 11 - Unidades de Negócio da Cagece em Fortaleza.....	83
Figura 12 - ETEs localizadas na Bacia do Rio Cocó em Fortaleza.....	84
Figura 13 - Estrutura hierárquica do problema pelo método AHP com <i>ratings</i>	93
Figura 14 - Matriz de julgamentos (A_{ij}) e vetor de prioridades (w)	95
Figura 15 - Fluxograma do procedimento de determinação dos pesos dos IDs	98
Figura 16 - Formulação do problema no <i>software</i> Super Decisions	107
Figura 17 - Matriz de comparação par a par entre os critérios	108
Figura 18 - Matriz de comparação par a par dos <i>ratings</i> do critério importância (esquerda) e as prioridades idealizadas das categorias (direita)	109
Figura 19 - Prioridades globais dos critérios, classificação das alternativas nos <i>ratings</i> e prioridades das alternativas do julgamento de determinado especialista	109
Figura 20 – Remoção de DQO por tecnologia de tratamento	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes pelo sistema TS + FA, conforme a NBR 13969/1997	20
Tabela 2 - Quantitativo atualizado de IDs de diversas organizações de saneamento.....	30
Tabela 3 - Indicadores de desempenho utilizados pela IWA	32
Tabela 4 - Indicadores de desempenho utilizados pela IBNET.....	36
Tabela 5 - Indicadores de qualidade do serviço de saneamento de águas residuais urbanas utilizados pela ERSAR	38
Tabela 6 - Indicadores de gestão utilizados pela ADERASA	39
Tabela 7 - Indicadores de desempenho utilizados pelo Six-Cities Group.....	41
Tabela 8 - Indicadores de desempenho utilizados pela AWWA	42
Tabela 9 - Indicadores de desempenho utilizados pela WSAA.....	44
Tabela 10 - Indicadores de desempenho utilizados pela OFWAT	46
Tabela 11 - Exemplos de critérios e indicadores de desempenho relacionados ao sistema de esgoto propostos pela ABNT NBR ISO 24511	47
Tabela 12 - Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário utilizados pelo SNIS.....	50
Tabela 13 - Indicadores de esgotamento sanitário propostos pela oficina realizada pela ABAR	53
Tabela 14 - Indicadores de esgotamento sanitário utilizados pelo PNQS.....	54
Tabela 15 - Indicadores de desempenho propostos pela ARCE.....	57
Tabela 16 - Área de contribuição das bacias hidrográficas de Fortaleza	75
Tabela 17 - Bacias de contribuição de Fortaleza.....	81
Tabela 18 - Valores de IR para matrizes de ordem n	97
Tabela 19 - Intervalos das categorias de desempenho para cada critério de avaliação	100
Tabela 20 - <i>Ranking</i> final das prioridades das alternativas pelo AIP.....	110
Tabela 21 - Matriz de decisão das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR	117
Tabela 22 - Matriz de decisão normalizada das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR	117
Tabela 23 - Matriz de decisão normalizada e ponderada das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR	117
Tabela 24 - Desempenho global das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR	117
Tabela 25 - Desempenhos global, ambiental e operacional das ETEs por tipologia de tratamento	118
Tabela 26 – Análise de sensibilidade por tipologia de tratamento	126

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos.....	13
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>13</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>14</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Estação de tratamento de esgoto	15
<i>2.1.1</i>	<i>Tecnologias de tratamento de esgotos no Brasil.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.1</i>	<i>Tanque séptico associado ao filtro anaeróbio.....</i>	<i>19</i>
<i>2.1.1.2</i>	<i>Lagoas de estabilização.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.1.3</i>	<i>Lodos ativados.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.1.4</i>	<i>Reator anaeróbio de manta de lodo</i>	<i>25</i>
2.2	Indicadores de desempenho no saneamento	26
<i>2.2.1</i>	<i>Sistemas de indicadores de desempenho internacionais e nacionais.....</i>	<i>29</i>
<i>2.2.1.1</i>	<i>International Water Association (IWA).....</i>	<i>30</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET).....</i>	<i>35</i>
<i>2.2.1.3</i>	<i>Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR)</i>	<i>36</i>
<i>2.2.1.4</i>	<i>Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA).....</i>	<i>38</i>
<i>2.2.1.5</i>	<i>Six Scandinavian Cities Group (SSCG).....</i>	<i>40</i>
<i>2.2.1.6</i>	<i>American Water Works Association (AWWA).....</i>	<i>41</i>
<i>2.2.1.7</i>	<i>Water Service Association of Australia (WSAA)</i>	<i>43</i>
<i>2.2.1.8</i>	<i>Office of Water Services (OFWAT)</i>	<i>45</i>
<i>2.2.1.9</i>	<i>Normas da Série ISO 24500</i>	<i>46</i>
<i>2.2.1.10</i>	<i>Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS)</i>	<i>49</i>
<i>2.2.1.11</i>	<i>Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR).....</i>	<i>52</i>
<i>2.2.1.12</i>	<i>Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS).....</i>	<i>53</i>
<i>2.2.1.13</i>	<i>Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE).....</i>	<i>56</i>
2.3	Análise Multicritério de Apoio à Decisão.....	57
<i>2.3.1</i>	<i>Componentes de um problema multicritério</i>	<i>59</i>
<i>2.3.2</i>	<i>Tipos de problemáticas.....</i>	<i>59</i>
2.4	Métodos multicritério de apoio à decisão.....	61
2.5	Técnicas de consenso	65
<i>2.5.1</i>	<i>Brainstorming</i>	<i>66</i>

2.5.2 Técnica de Grupo Nominal.....	67
2.5.3 Método Delphi.....	68
3 METODOLOGIA	72
3.1 Caracterização da área de estudo	72
3.1.1 Município de Fortaleza.....	72
3.1.1.1 Bacias hidrográficas no município de Fortaleza	73
3.1.1.2 O esgotamento sanitário no município de Fortaleza	78
3.2 Seleção e avaliação de indicadores de desempenho.....	84
3.2.1 Pré-seleção de indicadores de desempenho para avaliação de ETEs	84
3.2.2 Determinação dos pesos dos critérios e avaliação dos IDs pelo método Delphi.....	87
3.2.3 Ranking dos IDs pelo método AHP com ratings	92
3.3 Avaliação do desempenho das ETEs da bacia de esgotamento do Cocó.....	98
3.4 Procedimento de avaliação dos desempenhos globais das ETEs	102
3.4.1 TOPSIS-Sort.....	102
4 RESULTADOS.....	105
4.1 Seleção e avaliação dos indicadores de desempenho	105
4.1.1 Determinação dos pesos dos critérios e avaliação dos IDs pelo método Delphi.....	105
4.1.2 Ranking dos IDs pelo método AHP com ratings	107
4.2 Avaliação das ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó	112
4.2.1 Desempenho das ETEs pelo método TOPSIS-SORT	116
4.3 Análise de sensibilidade	124
5 CONCLUSÃO	128
REFERÊNCIAS	130
APÊNDICE A – SISTEMAS ISOLADOS NA BACIA DO RIO COCÓ	144
APÊNDICE B – INDICADORES DE DESEMPENHO SELECIONADOS E PROPOSTOS.....	150
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO NO MÉTODO DELPHI.....	152
APÊNDICE D – RESPOSTAS DA CONSULTA DELPHI.....	159
APÊNDICE E – RESULTADOS DO MÉTODO AHP COM RATINGS E DA AGREGAÇÃO INDIVIDUAL DE PRIORIDADES	163
APÊNDICE F – DESEMPENHO INDIVIDUAL DAS ETES	165
APÊNDICE G – MATRIZES DE DECISÃO DO MÉTODO TOPSIS-SORT	167

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento das águas residuais é um processo complexo, que abrange geração de efluentes, redes de esgoto, tratamento de efluentes e reintegração de subprodutos ao meio ambiente. Alcançar um processo de gestão de águas residuais sustentável requer a identificação de fatores específicos locais que impactam na composição das águas residuais, tecnologias de tratamento disponíveis e eficientes, sensibilidade do ambiente receptor, estrutura organizacional e disponibilidade de experiência, bem como a compreensão detalhada de como esses fatores estão interligados (COSSIO *et al.*, 2020).

A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como parte da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Os ODS são um conjunto de objetivos aplicáveis a todos os países, em desenvolvimento e desenvolvidos, que foram definidos para suceder os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) que expiraram em 2015. Os ODS visam ajudar a transição do mundo para um sistema mais sustentável, colocando-o no caminho para o alcance das metas globais entre 2015 e 2030. O Objetivo 6 (Água Potável e Saneamento) assegura a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos (GÓMEZ *et al.*, 2018; MALIK *et al.*, 2015). A meta 6.3 dos ODS especifica que a proporção do lançamento de efluentes não tratados deve ser reduzido pela metade até 2030.

Nesse sentido, o interesse pelo desenvolvimento e implementação de sistemas de tratamento de esgotos vem aumentando devido à adoção de regulamentações, nacionais e internacionais, destinadas a minimizar o impacto das águas residuais sobre os corpos d'água receptores (SALA-GARRIDO; MOLINOS-SENANTE; HERNÁNDEZ-SANCHO, 2011). De certo, o número de estações de tratamento de esgotos (ETEs) em todo o mundo aumentará e com isso crescerá a necessidade de avaliação da ecoeficiência desses sistemas, quanto à sustentabilidade (DONG; ZHANG; ZENG, 2017).

As ETEs podem impactar significativamente as águas receptoras, influenciando tanto a qualidade da água como até mesmo as características hidrológicas dos corpos hídricos. Essas unidades produtivas são identificadas como fontes pontuais de poluição, em que seus efluentes podem representar mais de 50% das cargas de nitrogênio e fósforo em córregos e rios, independentemente da região climática em que estão localizadas (CAREY; MIGLIACCIO, 2009; CORAMINAS *et al.*, 2013). Dessa maneira, os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos sofrem comprometimento em razão do crescente aporte de cargas poluidoras. Diante disso, deve-se considerar a capacidade depurativa dos corpos receptores e impedir o

lançamento de efluentes tratados em vazão superior ao que o corpo d'água possa tolerar (THEBALDI *et al.*, 2011).

A regulamentação dos despejos de sistemas de tratamento visa a redução de impactos causados aos corpos receptores. Assim, um conjunto de normas legais ambientais, critérios, políticas e revisões procuram influir tanto na seleção dos locais de descarga quanto no nível de tratamento exigido. O propósito é garantir que os impactos ambientais provocados pela disposição dos efluentes tratados sejam aceitáveis (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2005). No Brasil, as normas ambientais pertinentes aos aspectos de qualidade da água e efluentes são as Resoluções Conama nº 357/05 e 430/11, sendo que a última complementa e altera a primeira. No estado do Ceará, a Resolução Coema nº 02/17 aborda sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, em consonância com as Resoluções Conama nº 357/05 e 430/11.

Diante do exposto, é fundamental avaliar as eficiências e o gerenciamento sustentável das ETEs para controlar a qualidade da água devolvida ao meio ambiente (GÓMEZ-LLANOS; DURÁN-BARROSO; MATÍAS-SÁNCHEZ, 2018). A avaliação da eficiência dessas unidades permite a comparação de desempenhos, fornece informações quantitativas em dado momento no tempo, possibilita a identificação das melhores práticas e favorece o reuso da água, o que contribui para uma gestão sustentável dos recursos hídricos (CASTELLET; MOLINOS-SENANTE, 2016; HERNÁNDEZ-SANCHO; MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2010; SALA-GARRIDO; MOLINOS-SENANTE; HERNÁNDEZ-SANCHO, 2012).

Mahjouri *et al.* (2017) ressaltam que o uso de um sistema de controle efetivo da poluição da água e a proteção da sua qualidade são pontos considerados cruciais para países que sofrem alta pressão ambiental e escassez de recursos hídricos. No Brasil, destaca-se o Semiárido, inserido quase que totalmente na região Nordeste, que sofre forte restrição em seu desenvolvimento socioeconômico devido às especificidades da região, como irregularidade das chuvas e os baixos índices pluviométricos (abaixo de 800 mm por ano). A sua principal limitação quanto aos recursos ambientais reside sobre a escassez hídrica (GARCIA; MORENO; FERNANDES, 2015). A região semiárida ocupa cerca de 12% do território brasileiro (1,03 milhão de km²), abrange 1.262 municípios e aproximadamente 27 milhões de pessoas vivem nessa região (VASCONCELOS, 2021).

Nesse sentido, novas abordagens para a gestão das ETEs são necessárias, visando à sustentabilidade e o fortalecimento da gestão das bacias hidrográficas. Além dos modelos tradicionais que avaliam o desempenho das estações, é imperativo considerar os impactos

adversos sobre os recursos hídricos, centrados na qualidade e nos múltiplos usos da água nas unidades hidrográficas de planejamento.

Sabe-se que a problemática envolve múltiplos critérios, uma pluralidade de pontos de vista, diversos atores de decisão e alternativas. Nesse contexto, a utilização de metodologias multicritério de apoio à decisão é indicada para auxiliar os decisores, em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades, principalmente, quando coexistem interesses em conflito.

Para tal, nesta investigação científica, propôs-se um conjunto de indicadores, contextualizados à área de estudo, para avaliar o desempenho de ETEs locais por meio do uso de métodos multicritério de apoio à decisão. Particularmente, esses métodos foram escolhidos por sua ampla aplicabilidade a diferentes problemas envolvendo recursos ambientais e sustentabilidade (BOTTERO *et al.*, 2011).

A metodologia proposta nesta pesquisa contribuirá para a elevação do grau de atendimento normativo dos efluentes tratados e da qualidade da água nos corpos receptores. Isto é fundamental aos preceitos de ecoeficiência dos serviços de esgotamento sanitário e quanto ao enquadramento dos corpos d'água superficiais. Assim, é possível reduzir o nível de incerteza dos dados e a condição de degradação das bacias hidrográficas para atendimento das suas diversas demandas.

O presente texto está dividido em cinco capítulos. O capítulo inicial introduz o tema, apresentando a motivação do estudo, os objetivos e a organização do trabalho. O capítulo subsequente traz o referencial teórico acerca do tema, de forma mais aprofundada para subsidiar a discussão do estudo. O Capítulo 3 traz a metodologia empregada e os resultados são apresentados no Capítulo 4, ensejando uma discussão científica e consonante com os objetivos da tese. Finda-se o texto com o Capítulo 5, em que são apresentadas as conclusões do estudo. As referências bibliográficas e os apêndices seguem ao final.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver metodologia multicritério para avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) estruturar o conjunto de indicadores de desempenho mais relevantes ao contexto das ETEs, conforme as dimensões ambiental e operacional;
- b) definir os níveis de importância dos indicadores levantados e ponderá-los por meio de métodos multicritério de consenso em grupo e de apoio à decisão;
- c) aplicar o conjunto de indicadores de desempenho proposto na avaliação do desempenho global de ETEs selecionadas como estudo de caso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estação de tratamento de esgoto

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), também denominada por Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), é um conjunto de equipamentos que executa vários processos para tratar águas residuais e produzir água tratada ambientalmente segura (MUSTAPHA; MANAN; ALWI, 2017). De acordo com a ABNT NBR 12209, ETE é um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras de esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento (ABNT, 2011).

Águas residuais são as águas poluídas geradas por diferentes atividades industriais e municipais que, a menos que sejam tratadas, não servem mais a um propósito útil e podem conter contaminantes (MALIK *et al.*, 2015). Essas águas contêm produtos químicos, microrganismos (bactérias patogênicas, vírus e vermes que vivem no intestino humano) e nutrientes (fósforo, nitrogênio etc.) (NEGWAMBA; DINKA, 2019). Nos ecossistemas, a poluição pelo excesso de nutrientes pode levar à proliferação de algas e à eutrofização. Outro problema é a desregulação endócrina em organismos, que ocorre em parte devido à presença de produtos farmacêuticos ou químicos. Nos últimos anos, as águas residuais se tornaram um fator importante para a qualidade das águas doces e a saúde humana (MALIK *et al.*, 2015).

Desde os anos 1900 até o início dos anos 70, a principal preocupação era: (i) a remoção de sólidos em suspensão e material flutuante, (ii) remoção de organismos patogênicos e (iii) tratamento de orgânicos biodegradáveis. Desde 1980, a remoção de constituintes que podem ser prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente passou a ser foco (NEGWAMBA; DINKA, 2019). Nos dias de hoje, as ETEs são normalmente avaliadas por abordagens de fim-de-tubo (*end-of-pipe*), ou seja, pela remoção de poluentes de um fluxo antes de serem descartados ou entregues no ambiente (GARRIDO-BASERBA *et al.*, 2014; MANNINA *et al.*, 2019).

Assim, o objetivo de uma ETE é remover os contaminantes dos efluentes antes de serem liberados para os corpos d'água receptores, cumprindo com as normas e regulamentos de qualidade da água. Siddiqui, Conkle e Sadowski (2020) acentuam que o efluente da ETE deve ser suficientemente diluído e assimilado pelas águas superficiais, a fim de preservar a qualidade da água, a saúde do ecossistema e reduzir os custos com o tratamento da água potável nas comunidades a jusante.

De acordo com Santos (2007), o projeto de uma ETE abrange várias etapas, que normalmente se inicia com um relatório de concepção ou preliminar, seguido dos projetos básicos (dimensionamento e especificação das unidades/equipamentos) e executivo. Informações gerais sobre o município devem ser coletadas, como população a ser atendida pelo sistema coletor de esgoto, estimação do coeficiente de retorno, vazão de infiltração, seleção criteriosa da área destinada à ETE, existência de área disponível, local de descarte do efluente tratado e lodo produzido, existência de energia elétrica e água etc.

Quanto aos estudos de concepção para seleção do processo de tratamento de esgotos, os seguintes aspectos devem ser bem caracterizados: definição clara dos objetivos do tratamento de esgotos (remoção de matéria orgânica, remoção de nutrientes, remoção de patógenos, remoção/recuperação de metais etc.), nível de tratamento a ser processado, eficiências de remoção desejadas e estudos de impacto ambiental no corpo receptor (enquadramento nas normas vigentes) (VON SPERLING, 2014).

Quanto aos níveis de tratamento, o processo típico da maioria das estações inclui os níveis preliminar, primário, secundário e terciário. A complexidade do tratamento necessário para esses níveis depende da fonte, tipo, fluxo, características e uso pretendido do efluente. Cada nível de tratamento pode remover diferentes contaminantes. O tratamento preliminar é responsável pela remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo realizado por meio de grades, caixa de areia ou peneiramento. O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos os níveis, predominam os mecanismos físicos de remoção, caracterizados pela remoção de substâncias fisicamente separáveis dos líquidos e que não se encontram dissolvidas.

No tratamento secundário, as substâncias orgânicas dissolvidas no efluente primário são decompostas por atividade biológica em condições aeróbias (presença de oxigênio), anaeróbias (ausência de oxigênio e nitrato) ou anóxicas (ausência de oxigênio e presença de nitrato). No processo biológico, os microrganismos, especialmente as bactérias, consomem a matéria orgânica, convertendo-a em dióxido de carbono, energia e água. O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (nutrientes, metais, compostos não-biodegradáveis, minerais solúveis, sólidos inorgânicos dissolvidos, sabor, cor, odor e patógenos) ou, ainda, a remoção de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, melhorando a qualidade do efluente antes de ser descarregado no meio ambiente (rio, lago, mar, solo etc.) (MUSTAPHA; MANAN; ALWI, 2017; ULLAH *et al.*, 2020; VON SPERLING, 2014).

As ETEs podem causar problemas ambientais quando não possuem capacidade de tratar todas as águas residuais coletadas ou quando deixam de tratá-las adequadamente. Isso pode ocorrer quando o crescimento populacional de uma cidade supera o de construção de instalações de tratamento ou quando não há recursos disponíveis para manter ou aprimorar as instalações existentes ao longo do tempo. Como resultado, as ETEs podem lançar águas residuais parcial ou totalmente não tratadas diretamente no meio ambiente (MALIK *et al.*, 2015).

Dessa forma, novas estações de tratamento necessitam: atender ao crescimento populacional; considerar as mudanças demográficas; considerar as características mutáveis do esgoto, especialmente em relação às concentrações crescentes; atender aos novos e mais restritivos padrões para descarga de efluentes; atender às necessidades de reuso, incluindo reuso potável; atender aos novos objetivos de gestão de águas pluviais; e substituir as infraestruturas antigas (METCALF; EDDY, 2015). No planejamento dessas novas estações, as instalações físicas para produção de efluentes de qualidade elevada, a minimização de custos operacionais associados à mão de obra, à energia (elétrica e térmica), à estabilização de subprodutos e a disposição final/reuso também devem ser considerados. Um foco importante de projeto de ETEs futuras será reconhecer o esgoto doméstico como recurso à recuperação de energia, nutrientes e água potável (METCALF; EDDY, 2015).

Santos (2007) pontua que as novas concepções de projetos de tratamento de esgotos concentram-se nos pontos de desenvolvimento tecnológico como valores de eficiências cada vez maiores, sistemas compactos, automatizados, que demandem pouca energia, produzam pouco lodo, que possibilitem o controle dos odores e que busquem sempre o caminho da sustentabilidade.

Em termos de gestão de água, as ETEs desempenham um papel fundamental como atividade humana intimamente associada à sustentabilidade (GARRIDO-BASERBA *et al.*, 2014). Ullah *et al.* (2020) pontuam que há uma alta correlação entre o tratamento das águas residuais e o desenvolvimento sustentável e, portanto, importantes para a manutenção da saúde dos ecossistemas e dos seres humanos. A inclusão de uma avaliação de sustentabilidade pode levar a uma melhor gestão das águas residuais.

O conceito de desenvolvimento sustentável se baseia na observação de que economia, meio ambiente e bem-estar não podem mais ser separados. O desenvolvimento sustentável é definido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades. Atualmente, a sociedade exige que o tratamento das águas residuais cumpra com

sucesso os três aspectos da sustentabilidade (GARRIDO-BASERBA *et al.*, 2014). Desse modo, um projeto adequado de ETE deve levar em consideração as dimensões: econômica (custos operacionais e de implantação viáveis), ambiental (baixa descarga de poluentes) e social (proteção sanitária humana) (MANNINA *et al.*, 2019; PADRÓN-PÁEZ; ALMARAZ; ROMÁN-MARTÍNEZ, 2020).

Comumente, o tomador de decisão busca a melhor opção pelo menor custo, mas a seleção da ETE mais apropriada não é apenas uma questão econômica, pois outros critérios, como os aspectos ambientais e sociais, devem ser considerados no processo de decisão (MOLINOS-SENANTE *et al.*, 2014). Os planejadores precisam selecionar tecnologias de tratamento adequadas a fim de garantir a funcionalidade e a sustentabilidade desses sistemas a longo prazo. Os gerentes operacionais precisam ser capazes de avaliar e identificar necessidades potenciais de melhoria (por exemplo, operação e manutenção adequadas ou atualização) e, em seguida, planejar de acordo para alcançar um sistema de gestão de águas residuais sustentável (COSSIO *et al.*, 2020). Nesse contexto, a seleção do projeto mais adequado envolve o cumprimento de uma variedade de objetivos e a consideração de múltiplos critérios, sendo assim um problema complexo (MOLINOS-SENANTE *et al.*, 2014).

2.1.1 Tecnologias de tratamento de esgotos no Brasil

De acordo com a atualização da base de dados de ETEs no Brasil, identificaram-se 900 novas estações, entre 2013 e 2019, totalizando 3.668 ETEs em 2.007 municípios. As concepções das estações de tratamento variam bastante, pois além das condições técnicas inerentes a cada processo, os aspectos locais, de natureza diversa, exercem forte influência no projeto. Entre esses fatores, citam-se: forma de ocupação das cidades, população a ser atendida, densidade populacional, situação socioeconômica, disponibilidade de área, topografia do terreno, características do solo e subsolo, existência de corpos receptores apropriados e legislações aplicáveis a cada caso (ANA, 2020).

Os principais processos unitários identificados foram fossas sépticas, tanques de aeração, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados e filtros (anaeróbios e aeróbios), utilizados sozinhos ou combinados para promover o tratamento biológico dos esgotos. Quanto aos sistemas de tratamento, destacam-se os que utilizam reatores anaeróbios (37% do total), lagoas de estabilização (35%) e lodos ativados (10%) (ANA, 2020).

Nas seções seguintes, as tecnologias de tratamento de esgotos identificadas nas ETEs do estudo de caso são abordadas com mais detalhes.

2.1.1.1 Tanque séptico associado ao filtro anaeróbio

O decanto-digestor, também conhecido como fossa séptica ou tanque séptico, é uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão (ABNT, 1993). Constitui-se como uma das principais alternativas para o tratamento primário de esgotos residenciais e pequenas áreas não servidas por redes coletoras. O seu sucesso se deve a sua simplicidade construtiva e operacional (CHERNICHARO, 2016).

O tanque séptico (TS) pode ser de câmara única, câmeras sobrepostas ou de câmeras em série. No tratamento, as funções do tanque séptico são: separação gravitacional da espuma e dos sólidos, em relação ao líquido afluyente, vindo os sólidos a se constituir em lodo; digestão anaeróbia e liquefação parcial do lodo; e, armazenamento do lodo. Ao longo dos meses de operação do tanque séptico, há sempre uma acumulação de lodo e espuma, devendo ser periodicamente removidos e submetidos a um tratamento complementar ou conduzidos a um destino adequado (CHERNICHARO, 2016).

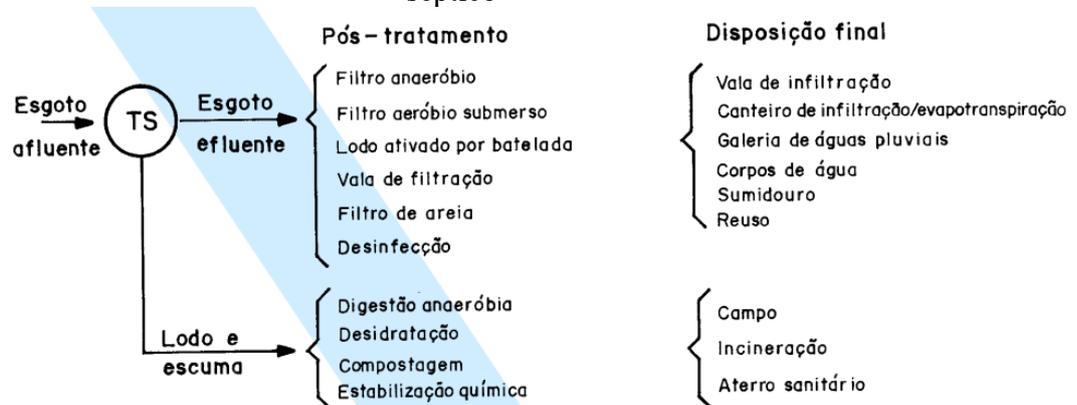
Pelo fato de os tanques sépticos serem tanques de sedimentação, a eficiência do sistema é baixa, principalmente em termos de remoção de DBO, DQO, nutrientes e patógenos. Dessa forma, faz-se necessário a utilização de pós-tratamento ou destinação final. As eficiências médias de remoção são: 30 a 55% para DBO; 20 a 90% para sólidos suspensos; e, 70 a 90% para óleos e graxas (CHERNICHARO, 2016).

Atualmente, as normas técnicas NBR 7229/1993 e NBR 13969/1997 dispõem sobre o sistema de tanque séptico. A NBR 7229/1993 fixa as condições exigíveis para projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos (ABNT, 1993). Em 1997, a ABNT publicou uma complementação à NBR 7229/1993, a NBR 13969, a qual oferece alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico (ABNT, 1997).

Quanto ao tratamento complementar, a NBR 13969 exhibe as seguintes opções: filtro aeróbio submerso, valas de filtração, filtro de areia, lodo ativado por batelada, lagoa com plantas aquáticas e filtro anaeróbio de leito fixo com escoamento ascendente, seguida pela disposição final do efluente em sumidouro ou valas de infiltração. A norma também salienta que inúmeros arranjos são possíveis, e a escolha deve levar em consideração fatores do local a ser implantado e do tipo de efluente (VIANNA; MESQUITA; ROSA, 2019). Na Figura 1 são indicadas

algumas alternativas de tratamento complementar e de disposição final de efluentes líquidos e lodos oriundos de tanque séptico.

Figura 1 - Alternativas de tratamento complementar e de disposição final do sistema de tanque séptico



Fonte: ABNT (1993).

No Brasil, tanques sépticos seguidos por filtros anaeróbios (FA) são amplamente usados em condomínios, conjuntos habitacionais, povoados e regiões periféricas por serem a alternativa ao sistema centralizado de menor custo e com baixas demandas energética e de área (VIANNA; MESQUITA; ROSA, 2019). Em 2019, os sistemas de fossas sépticas seguidas de filtros anaeróbios totalizaram 323 unidades (ANA, 2020).

O filtro anaeróbio é um reator biológico onde o esgoto é depurado por meio de microrganismos anaeróbios, dispersos tanto no espaço vazio do reator quanto nas superfícies do meio filtrante (ABNT, 1997). As configurações usuais apresentam fluxo ascendente ou descendente. A NBR 13969 apresenta o dimensionamento e as faixas de percentual de remoção dos poluentes do sistema tanque séptico associado ao filtro anaeróbio (TS + FA) (Tabela 1).

Tabela 1 - Faixas prováveis de remoção dos poluentes pelo sistema TS + FA, conforme a NBR 13969/1997

Parâmetro	Percentual de remoção (%)
DBO _{5, 20} ^a	40 a 75
DQO ^b	40 a 70
SNF ^c	60 a 90
Sólidos sedimentáveis	70 ou mais
Fosfato	20 a 50

^a Demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias, a 20°C. ^b Demanda química de oxigênio. ^c sólidos não filtráveis. Fonte: adaptado de ABNT (1997).

2.1.1.2 Lagoas de estabilização

Os sistemas de lagoas de estabilização caracterizam-se por ser a forma mais simples de tratamento dos esgotos (VON SPERLING, 2014). Constituem-se uma opção de baixo custo para reduzir nutrientes e micropoluentes de efluentes, pois exigem investimento e custos de manutenção relativamente baixos (GRABICOVÁ *et al.*, 2020). Esses sistemas são bastante indicados para regiões de clima quente e países em desenvolvimento, devido a suficiente disponibilidade de área em grande número de localidades, clima favorável (temperatura e insolação elevadas), operação simples e necessidade de poucos ou nenhum equipamento (VON SPERLING, 2014).

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (JORDÃO; PESSÔA, 2005). O objetivo principal do tratamento natural inclui longos tempos de detenção hidráulica (TDHs), da ordem de 20 a 30 dias, necessário para a estabilização do material orgânico, remoção dos ovos de helmintos e de coliformes termotolerantes. Consequentemente, esses sistemas demandam grandes áreas, limitando a sua utilização em áreas densamente povoadas (SANTOS, 2007).

Ao estender o tempo de detenção, o aumento da remoção de compostos orgânicos dos efluentes ocorre por meio de processos biológicos, químicos e físicos, como biodegradação, fotodegradação ou adsorção. Além das considerações de projeto, a eficiência de remoção é influenciada pela temperatura, luz solar e fotoperíodo (GRABICOVÁ *et al.*, 2020). Há diversas variantes desses sistemas, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Os principais tipos de lagoas de estabilização convencional são as anaeróbias, facultativas e de maturação, as quais são detalhadas a seguir (VON SPERLING, 2014):

- Lagoa Anaeróbia (LA): recebe o esgoto bruto proveniente do tratamento preliminar, suportando elevadas cargas de DBO e sendo construída em menores dimensões e grandes profundidades (3 a 5 metros). A digestão anaeróbia é o mecanismo de remoção predominante do material orgânico, através das suas diversas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese/sulfetogênese. Devido aos baixos TDHs (2 a 5 dias), não há praticamente a ocorrência de fotossíntese e a remoção de matéria orgânica é parcial. A eficiência de remoção de DBO é da ordem de 50 a 70%. As lagoas

anaeróbias são normalmente seguidas de lagoas facultativas, também denominadas de sistema australiano;

- Lagoa Facultativa (LF): é a variante mais simples dos sistemas de lagoas estabilização. Devido a sua menor profundidade (1,5 a 2,0 metros), há um ambiente aeróbio na camada superior, decorrente da produção fotossintetizante das algas, e anaeróbio na camada inferior. Na LF ocorrem os dois processos de remoção do material orgânico: oxidação da DBO solúvel nas camadas mais próximas da superfície e digestão anaeróbia da matéria biodegradável no fundo da lagoa. A estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas, necessitando de TDH superiores a 20 dias. A eficiência de remoção de DBO é da ordem de 75 a 85%;
- Lagoa Aerada Facultativa (LAF): Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, a fonte de oxigênio é proveniente da aeração mecânica fornecida por aeradores de superfície ou ar comprimido. Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são menos simples em termos de manutenção e operação, além da introdução do consumo de energia elétrica. A decomposição da matéria orgânica se dá mais rapidamente, necessitando de TDH menor (5 a 10 dias), ou seja, requisito de área bem inferior. A eficiência de remoção de DBO é da ordem de 75 a 85% e a profundidade na faixa de 2,5 a 4,0 metros;
- Lagoa de Maturação (LM): construída após qualquer sistema de lagoas de estabilização ou de tratamento de esgotos para remoção de organismos patogênicos do efluente. São usualmente projetadas como uma série de lagoas ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A LM possui profundidade da ordem de 0,8 a 1,0 metros, para proporcionar um ambiente predominantemente aeróbio. Essas lagoas permitem elevados tempos de detenção (5 a 15 dias) e decaimento dos coliformes (eficiência superior a 99,99%) devido à incidência da radiação solar ultravioleta, elevado pH e elevada concentração de oxigênio.

No Brasil, registraram-se 1291 unidades de ETEs que utilizam sistemas de lagoas de estabilização. Apesar de serem sistemas de operação bastante simples e com pouca manutenção, podem ser inconvenientes se localizados próximos aos assentamentos urbanos, principalmente se incluírem, no processo, lagoas anaeróbias. O sistema australiano é o mais

utilizado (414 unidades). O uso de lagoas facultativas utilizadas isoladamente é, também, bastante comum (222 unidades). As concepções de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação (169 unidades) e de lagoa anaeróbia seguida das lagoas facultativas e de maturação (160 unidades) são também usuais (ANA, 2020).

2.1.1.3 Lodos ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de águas residuais domésticas e industriais, em situações em que uma elevada qualidade do efluente é necessária e a disponibilidade de área é limitada (elevadas vazões) (SANTOS, 2007; VON SPERLING, 2014). As estações de tratamento com sistema de lodos ativados são bastante complexas e mecanizadas e, portanto, requerem manutenção e operação especializada. Essas estações apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica do efluente tratado e podem ser implantados em áreas bem menores do que os sistemas de lagoas. Por essa razão, são apropriados para atender grandes populações e serem implantados em áreas bastante adensadas, como verificado em Porto Alegre, Florianópolis, São Paulo, Rio de Janeiro e Vitória (ANA, 2020).

O princípio básico do sistema de lodos ativados é a recirculação dos sólidos do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração. Há diversas variantes do sistema de lodos ativados, podendo ser divididos quanto ao fluxo e à idade do lodo. Quanto ao fluxo, os sistemas podem ser de fluxo contínuo ou intermitente. Quanto à idade do lodo, os sistemas podem ser ditos convencional ou de aeração prolongada. Algumas unidades são essenciais para a etapa biológica do sistema de lodos ativados (fluxo do líquido): tanque de aeração (reator), tanque de decantação (decantador secundário) e recirculação de lodo (VON SPERLING, 2014).

No sistema convencional, parte da matéria orgânica é retida no decantador primário, reduzindo a demanda de energia para aeração e o volume do reator biológico. No tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica, onde os microrganismos convertem o substrato orgânico presente nos esgotos em CO₂ e lodo biológico, removendo-os do líquido. Após o tanque de aeração, o esgoto misturado com os sólidos biológicos se dirige ao decantador secundário, responsável pela sedimentação dos sólidos (biomassa) produzidos no reator biológico. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário é recirculado para o tanque de aeração, de forma a manter uma elevada concentração de biomassa nele (SANTOS, 2007).

O tempo de detenção do líquido é baixo, da ordem de 6 a 8 horas e o tempo de retenção dos sólidos (idade do lodo) é da ordem de 4 a 10 dias. Devido a maior permanência dos sólidos no sistema, garante-se a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos. Com essa idade do lodo, o lodo excedente deve sofrer tratamento adicional, usualmente compreendendo adensamento, digestão e desidratação.

A principal diferença entre o sistema de aeração prolongada e o sistema convencional é o tempo de aeração. Dessa forma, a biomassa irá permanecer no sistema por um período de aeração mais longo, da ordem de 18 a 30 dias (alta idade de lodo), recebendo a mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional. Devido à maior idade do lodo, o volume do reator é maior (o TDH é em torno de 16 a 24 horas), e, em decorrência, a quantidade de biomassa é maior. Portanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e por unidade de biomassa do reator. A biomassa é estabilizada aerobiamente no próprio tanque de aeração, não havendo mecanismos adicionais de estabilização do lodo e nem decantador primário, intuito de evitar a geração de alguma outra forma de lodo para posterior estabilização (SANTOS, 2007; VON SPERLING, 2014).

O princípio do processo de lodos ativados em batelada consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações normalmente associados ao tratamento tradicional de lodos ativados: decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque. Os processos e operações passam a ser simplesmente sequências no tempo (ciclos de operação) com durações definidas, e não unidades separadas, como ocorre nos processos de fluxo contínuo. O processo de lodos ativados em batelada pode ser projetado nas modalidades convencional e aeração prolongada. Nesta última, o tanque único passa a incorporar também a unidade de digestão (aeróbia) do lodo. A duração usual de cada ciclo pode ser alterada em função das variações da carga afluente, dos objetivos operacionais do tratamento e das características do esgoto e da biomassa no sistema (SANTOS, 2007; VON SPERLING, 2014).

No Brasil, há muitas estações com a tecnologia de lodos ativados (354 unidades), operando em regime de fluxo contínuo (237 unidades) ou em regime de fluxo intermitente (117 unidades). Os lodos ativados por batelada (105 unidades) foram os mais usados, seguidos dos lodos ativados convencionais (104 unidades) e lodos ativados de aeração prolongada (69 unidades). Os processos de operação intermitente vêm chamando a atenção pelas possibilidades operacionais que oferecem, pois podem ser ajustados visando produzir efluentes com alta remoção de matéria orgânica e de nutrientes (nitrogênio e fósforo), mas normalmente requerem operação automatizada (ANA, 2020).

2.1.1.4 Reator anaeróbio de manta de lodo

Os reatores Anaeróbios de Manta de Lodo são também denominados de reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e de Manta de Lodo, Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA), Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) e *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). No Brasil, os reatores UASB constituem-se na principal tendência atual de tratamento de esgotos, como unidades únicas ou seguidas de alguma forma de pós-tratamento.

Essencialmente, o processo consiste em um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo). A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, conseqüentemente o volume requerido para os reatores UASB é bastante reduzido em comparação aos demais sistemas de tratamento (VON SPERLING, 2014).

O líquido entra no fundo e se encontra com o leito de lodo, causando a adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa. Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases (metano e gás carbônico), as bolhas dos quais também apresentam tendência ascendente. O efluente deixa o reator, através de um decantador interno localizado na parte superior do reator, onde o lodo mais pesado é removido do líquido e retornado ao compartimento de digestão. Um separador trifásico (gases, sólidos e líquidos), localizado abaixo do decantador, possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos. Continuando o fluxo ascendente, o líquido sai pela parte superior do decantador, seguindo para a etapa de pós-tratamento ou para o corpo receptor. O gás, liberado no compartimento de reação na forma de bolhas, é coletado na parte central do separador trifásico, de onde segue para a queima, purificação e/ou utilização. Como resultados, os reatores UASB apresentam elevada idade de lodo (superior a 30 dias), propiciando que o lodo excedente descartado do sistema já esteja estabilizado, e tempo de detenção hidráulica reduzido (6 a 10 horas) (VON SPERLING, 2014).

O projeto de reatores UASB é bastante simples, com baixos custos de projeto, implantação, operação e manutenção, além de não demandar a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para a retenção da biomassa. Uma característica do processo é a limitação na eficiência de remoção da DBO, em torno de 70% (VON

SPERLING, 2014). As principais características dos reatores UASB podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1- Principais vantagens e desvantagens dos reatores UASB

Vantagens	Desvantagens
Baixa demanda de área	Possibilidade da emissão de maus odores
Baixo custo de implementação e operação	Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas
Baixa produção de lodo	Elevado intervalo de tempo necessário para partida no sistema
Baixo consumo de energia (apenas para elevatória de chegada, quando for o caso)	Necessidade de uma etapa de pós-tratamento
Satisfatória eficiência de remoção de DBO e DQO, na ordem de 65 a 75%	-
Possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações	-
Elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente	-

Fonte: Chernicharo (2016).

O uso do reator anaeróbio isoladamente é muito comum, registrando-se 419 unidades em 2019. Em geral, esse tipo de tratamento requer uma etapa adicional visando melhorar a qualidade de seus efluentes, já que muitas vezes não atendem os requisitos dos órgãos ambientais. Torna-se necessário elevar os níveis do oxigênio dissolvido, melhorar a remoção de DBO e reduzir a concentração das partículas em suspensão. Seu uso tem sido muito comum como pré-tratamento de diversos outros processos biológicos tais como filtros nas suas concepções diversas (aeróbio ou anaeróbio), lodos ativados e sistemas de lagoas, nesse último fazendo o papel da lagoa anaeróbia. Uma das concepções comuns consiste na utilização do reator anaeróbio seguido de filtro aeróbio e decantador secundário final. Registraram-se 212 unidades desses sistemas que podem ser fabricados industrialmente (ETE compacta) no caso de ETEs menores. Esse processo pode provocar expressivo abatimento da carga orgânica dos efluentes produzidos (ANA, 2020).

2.2 Indicadores de desempenho no saneamento

Indicadores são atribuições de valor a objetivos, acontecimentos ou situações, de acordo com regras, que podem ser aplicados em critérios de avaliação, como eficácia, efetividade e eficiência. Os indicadores servem para mensurar os resultados e gerir o

desempenho, embasar a análise crítica dos resultados obtidos e do processo de tomada decisão, contribuir para a melhoria contínua dos processos organizacionais, facilitar o planejamento e o controle do desempenho e analisar comparativamente o desempenho da organização com o de diversas organizações atuantes em áreas ou ambientes semelhantes (BRASIL, 2009).

Com base nas normas da série ABNT NBR ISO 24500, que tratam das atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto, indicador é um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que fornece informações sobre um assunto com uma importância que ultrapassa a que está diretamente associada a um valor de parâmetro. Os indicadores podem se referir ao contexto, condições, meios, atividades ou desempenhos (ABNT, 2012b).

No saneamento, indicadores de desempenho podem ser considerados como elementos chave na definição da eficiência e da eficácia da prestação de serviços por uma entidade gestora (MATOS *et al.*, 2004). A eficiência e a eficácia devem ser consideradas para avaliação do desempenho de um sistema (QUADROS *et al.*, 2010). A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço, por exemplo, maximizando a sua prestação utilizando o mínimo de recursos disponíveis (por exemplo, recursos naturais). A eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos (ALEGRE *et al.*, 2004; MATOS *et al.*, 2004).

Um indicador de desempenho (ID), medida quantitativa da eficiência e eficácia da prestação dos serviços, resulta da razão entre variáveis, frequentemente com informações produzidas pelo prestador de serviços. Podem ser adimensionais (expressos em percentagem) ou intensivos (por exemplo, número de ligações/extensão de rede) (ALEGRE *et al.*, 2004; VON SPERLING; VON SPERLING, 2013).

Molinari (2006) acentua que indicadores de desempenho são utilizados como uma das formas de criar um ambiente virtual de “concorrência por comparação”, já que os serviços de água e saneamento básico são prestados geralmente sob a forma de monopólio. Dessa maneira, os IDs são usados como forma de comparação dos diversos aspectos da gestão do operador com a de outros operadores similares. A “concorrência por comparação” permite a identificação das ineficiências do prestador de serviços, facultando ao órgão regulador a aplicação dos incentivos necessários para a melhoria da gestão da empresa. Outro aspecto dos IDs é a de informar a todos os interessados sobre os níveis do serviço, mantendo-se, desta forma, a pressão sobre as empresas no longo prazo.

Bezerra, Pertel e Macêdo (2019) pontuam que indicadores de desempenho são capazes de possibilitar uma visão abrangente, de forma a se obter avaliações consistentes sobre o desempenho de diversos serviços. A sua quantificação pode alavancar sobremaneira os

processos de tomada de decisão. Uma vez que permitem a identificação de problemas e a consequente promoção das medidas corretivas, além de apoiarem à formulação de ações, políticas e estratégias mais eficientes.

Um ID deve conter em si informação relevante, contribuir para a quantificação do desempenho sob um dado ponto de vista, numa dada área e durante um dado intervalo de tempo. No entanto, quando analisado individualmente tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões incorretas. Assim, é necessário analisar os indicadores de desempenho no seu conjunto e associados ao contexto em que está inserido, às características mais relevantes do sistema e da região (ALEGRE *et al.*, 2004).

No Brasil, a Lei Federal nº 11.445/2007 institucionaliza o uso de indicadores de desempenho, que passa a integrar o processo de planejamento, prestação, regulação e fiscalização dos serviços públicos de saneamento básico. Sua aplicação se fundamenta no princípio da transparência das ações do saneamento, estabelecido no artigo 2º, inciso IX, da referida Lei.

De acordo com o Art. 9º, cada titular dos serviços públicos de saneamento deve estabelecer metas e indicadores de desempenho a serem obrigatoriamente observados na execução dos serviços prestados (Art. 9º, inciso I), bem como estabelecer um sistema de informações sobre os serviços de saneamento básico, articulado com os Sistemas Nacionais de Informações em Saneamento (Sinisa), sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) (Art. 9º, inciso VI).

No processo de planejamento, os Planos de Saneamento Básico devem abranger um conteúdo mínimo, como o diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida (Art. 19, inciso I), o qual deve ser realizado com base em indicadores. Estes também podem ser de grande valia no estabelecimento de mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas (Art. 19, inciso V).

Nas atividades de regulação e fiscalização, fica a cargo da entidade reguladora editar normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, devendo estabelecer padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços (Art. 23, inciso I), tal como elaborar a avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados (Art. 23, inciso VII). Nas revisões tarifárias, poderão ser estabelecidos mecanismos tarifários de indução à eficiência, inclusive fatores de produtividade (Art. 38, parágrafo 2º), os quais poderão ser definidos com base em indicadores de outras empresas do setor (Art. 38, parágrafo 3º).

Nas diretrizes da Política Federal de Saneamento Básico, a União deve utilizar de indicadores epidemiológicos e de desenvolvimento social no planejamento, implementação e

avaliação das suas ações de saneamento básico (Art. 48, inciso IV). Conforme expresso no Art. 53, a disponibilização de indicadores é um dos objetivos do Sinisa (inciso II). Portanto, a PNSB reforça a necessidade de utilização de sistemas de indicadores para a avaliação da prestação dos serviços de saneamento básico.

2.2.1 Sistemas de indicadores de desempenho internacionais e nacionais

Várias organizações internacionais e nacionais propuseram diferentes IDs cobrindo todas as tarefas fundamentais dos sistemas de águas residuais. No âmbito internacional, destacam-se as seguintes organizações: *International Water Association* (IWA), Instituto Regulador de Águas e Resíduos de Portugal (IRAR), *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas* (ADERASA), *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (IBNET), *International Organization for Standardization* (ISO), *Six Scandinavian Cities Group* (SSCG), *Office of Water Services* (OFWAT), *Water Service Association of Australia* (WSAA), *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) e *American Water Works Association* (AWWA). Nesses sistemas, os IDs para avaliar os serviços de águas residuais foram categorizados em diferentes grupos, dependendo dos atributos do serviço (por exemplo, ambiental, físico, pessoal, operacional, financeiro, confiabilidade e disponibilidade) (NAM; NGUYEN; OH, 2019; VON SPERLING; VON SPERLING, 2013).

No Brasil, há os IDs do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), da Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) e do Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS). No estado do Ceará, destacam-se os IDs da Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE). Essas organizações nacionais e internacionais têm como objetivo a utilização de IDs para prestação, regulação e planejamento dos serviços de saneamento (VON SPERLING; VON SPERLING, 2013). Barros (2013) realizou um levantamento com o quantitativo de IDs referentes ao sistema de esgotamento sanitário, bem como do quantitativo de IDs utilizados para a avaliação de ETEs no âmbito das organizações de saneamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Quantitativo atualizado de IDs de diversas organizações de saneamento

Organização ou Entidade	Indicadores de desempenho	
	Total	ETE
<i>International Water Association (IWA)</i>	182	65
<i>American Water Works Association (AWWA)</i>	78	5
<i>Water Service Association of Australia (WSAA)</i>	65	6
Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS)	59	4
<i>International Organization for Standardization (ISO)</i>	50	13
Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)	49	1
<i>International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)</i>	36	2
<i>Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Americas (ADERASA)</i>	29	6
<i>Six Scandinavian Cities Group (SSCG)</i>	24	11
Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR)	14	2
Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)	14	2
<i>Office of Water Services (OFWAT)</i>	9	3
Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE)	6	0
Total	615	120

Fonte: Adaptado de Barros (2013).

2.2.1.1 *International Water Association (IWA)*

A *International Water Association* desenvolveu manuais de indicadores de desempenho para os serviços de abastecimento de água (ALEGRE *et al.*, 2004, 2017) e esgotamento sanitário (MATOS *et al.*, 2004), com ampla colaboração dos agentes do setor em todo o mundo. A finalidade desses manuais é oferecer um amplo conjunto de IDs, com uma definição clara e consensual entre os prestadores de serviços e os reguladores que intervieram em sua elaboração. Outro intuito dessas publicações é a unificação de critérios e definições a fim de tornar mais compatíveis e comparáveis os estudos que se realizem em todo o mundo. Os manuais da IWA se configuram como uma das principais referências internacionais para o desenho de indicadores de desempenho (MOLINARI, 2006).

Os sistemas de indicadores de desempenho da IWA consideram os recursos ambientais, tecnológicos, financeiros e humanos como aspectos importantes que requerem avaliação (QUADROS *et al.*, 2010). O manual de IDs para serviços de abastecimento de água tem ao todo 170 indicadores incorporados em seis grupos de indicadores: recursos hídricos, recursos humanos, infraestruturais, operacionais, de qualidade de serviço e econômico-financeiros (ALEGRE *et al.*, 2017). O manual de IDs para serviços de águas residuais também está estruturado em seis grupos: ambientais, recursos humanos, infraestruturais, operacionais,

de qualidade de serviço e econômico-financeiros, perfazendo no total 182 indicadores (MATOS *et al.*, 2004; QUADROS *et al.*, 2010). A Tabela 3 apresenta os IDs propostos pela IWA.

Segundo Matos *et al.* (2004), os seis grupos utilizados pela IWA que classificam os IDs para serviços de águas residuais têm as seguintes características:

- os indicadores ambientais avaliam o desempenho da prestadora de serviço relativo aos impactos ambientais, incluindo o atendimento aos padrões de lançamento, disposição final dos sólidos, entre outros;
- os indicadores de recursos humanos avaliam a eficácia dos funcionários da prestadora de serviço, considerando as funções, atividades e qualificação. Tópicos como treinamento, saúde, segurança e absentismo também são levados em consideração;
- os indicadores de infraestrutura têm a finalidade de avaliar se o sistema de esgotos e o tratamento ainda possuem capacidade de operar corretamente e dentro dos parâmetros locais permitidos. São considerados aspectos como a utilização de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário e ainda a sobrecarga do sistema, capacidade de bombeamento, utilização de automação, entre outros;
- os indicadores operacionais se destinam a avaliar o desempenho da prestadora de serviço no que diz respeito à operação e manutenção do sistema. São considerados os coletores, acessórios, estações elevatórias, inspeção de equipamentos elétricos, consumo de energia, manutenção, entre outros;
- os indicadores da qualidade do serviço medem o nível do serviço fornecido aos usuários do sistema. Estão incluídos nessa dimensão a cobertura do serviço, a relação dos prestadores de serviço com os usuários, as repostas às reclamações, danos a terceiros e impactos ao trânsito local;
- os indicadores econômico-financeiros estão relacionados à eficiência e eficácia do uso dos recursos financeiros. Ademais, eles fornecem meios de interpretar a situação financeira da prestadora de serviço, indicando a necessidade ou não de medidas corretivas. O dólar americano é utilizado como a moeda de referência, a fim de facilitar comparações a nível internacional.

Tabela 3 - Indicadores de desempenho utilizados pela IWA

Código	Indicador	Unidade
Indicadores Ambientais		
wEn1	<i>Atendimento da ETE ao padrão de lançamento</i>	%/ano
wEn2	<i>Reuso de esgoto tratado</i>	%
wEn3	<i>Frequência de vazão de inundação intermitente</i>	nº inundações/ano
wEn4	<i>Volume de inundação intermitente</i>	m ³ inundação/ano
wEn5	<i>Vazão de inundação intermitente relacionada com chuvas</i>	%/ano
wEn6	<i>Produção de lodo na ETE</i>	kg/p.e./ano
wEn7	<i>Reutilização do lodo</i>	%
wEn8	<i>Disposição final do lodo da ETE</i>	%
wEn9	<i>Lodo indo para o aterro</i>	%
wEn10	<i>Secagem térmica do lodo</i>	%
wEn11	<i>Outros destinos do lodo</i>	%
wEn12	<i>Sedimentos dos esgotos</i>	ton./km rede/ano
wEn13	<i>Sedimentos de unidades auxiliares</i>	ton./km rede/ano
wEn14	<i>Sólidos de gradeamento e desarenadores</i>	ton./km rede/ano
wEn15	<i>Sedimentos de unidades particulares</i>	ton./p.e./ano
Indicadores de Recursos Humanos		
wPe1	<i>Funcionários trabalhando na ETE por população equivalente</i>	nº/1000 p.e.
wPe2	<i>Funcionários trabalhando no sistema de esgotos por rede</i>	nº/100 km rede
wPe3	<i>Índice de gestores gerais</i>	%
wPe4	<i>Índice de funcionários de recursos humanos</i>	%
wPe5	<i>Índice funcionários de finanças e comercial</i>	%
wPe6	<i>Índice de funcionários de atendimento ao público</i>	%
wPe7	<i>Índice de funcionários técnicos</i>	%
wPe8	<i>Índice de funcionários de planejamento, projetos e obras</i>	%
wPe9	<i>Índice de funcionários de operação</i>	%
wPe10	<i>Número de operadores na ETE</i>	nº/1000 p.e.
wPe11	<i>Número de operadores no sistema de esgotos</i>	nº/100 km rede
wPe12	<i>Número de funcionários nos laboratórios</i>	nº/1000 testes/ano
wPe13	<i>Número de funcionários de serviços de apoio</i>	%
wPe14	<i>Índice de qualificação universitária</i>	%
wPe15	<i>Índice de qualificação básica</i>	%
wPe16	<i>Índice de outras qualificações</i>	%
wPe17	<i>Treinamento dos funcionários</i>	horas/func./ano
wPe18	<i>Índice de vacinação</i>	%
wPe19	<i>Índice de treinamento em lugares fechados</i>	%
wPe20	<i>Acidentes de trabalho</i>	nº/100 func./ano
wPe21	<i>Acidentes fatais ou permanentes no trabalho</i>	nº/100 func./ano
wPe22	<i>Ausência de funcionários</i>	dias/100 func./ano
wPe23	<i>Ausência por acidentes de trabalho</i>	dias/100 func./ano
wPe24	<i>Ausência por outros motivos</i>	dias/100 func./ano
wPe25	<i>Índice de horas extra</i>	%
Indicadores de Infraestrutura		
wPh1	<i>Utilização da capacidade de tratamento preliminar</i>	%
wPh2	<i>Utilização da capacidade de tratamento primário</i>	%
wPh3	<i>Utilização da capacidade de tratamento secundário</i>	%
wPh4	<i>Utilização da capacidade de tratamento terciário</i>	%
wPh5	<i>Índice de sobrecarga nas tubulações em estações secas</i>	%
wPh6	<i>Índice de sobrecarga nas tubulações em estações chuvosas</i>	%
wPh7	<i>Índice de elevadas sobrecargas nas tubulações</i>	%
wPh8	<i>Índice de bombeamento no sistema</i>	%
wPh9	<i>Potência de bombeamento utilizada na ETE</i>	%
wPh10	<i>Índice de estações elevatórias críticas</i>	%
wPh11	<i>Índice de automação do sistema</i>	%
wPh12	<i>Índice de controle remoto</i>	%
Indicadores Operacionais		
wOp1	<i>Índice de inspeção nas tubulações</i>	%/ano
wOp2	<i>Índice de limpeza das tubulações</i>	%/ano

wOp3	Número de inspeções nos poços de visita	-/ano
wOp4	Número de inspeções nos bueiros	-/ano
wOp5	Número de limpezas dos bueiros	-/ano
wOp6	Frequência de inspeção dos tanques de equalização	n°/ano
wOp7	Volume de inspeção dos tanques de equalização	-/ano
wOp8	Limpeza dos tanques de equalização	-/ano
wOp9	Inspeção de gradeamento dos tanques de equalização	-/ano
wOp10	Frequência de inspeção de EE	-/ano
wOp11	Inspeção por potência de bomba	-/ano
wOp12	Calibração de medidores de vazão do sistema de esgotos	-/ano
wOp13	<i>Calibração de medidores de vazão das ETEs</i>	-/ano
wOp14	<i>Calibração de equipamento de monitoramento da qualidade dos esgotos</i>	-/ano
wOp15	<i>Inspeção do sistema de emergência</i>	-/ano
wOp16	<i>Inspeção de equipamento de transmissão de sinais</i>	-/ano
wOp17	<i>Inspeção de equipamentos elétricos</i>	-/ano
wOp18	<i>Consumo de energia nas ETEs</i>	kWh/p.e./ano
wOp19	<i>Recuperação de energia a partir de processos de cogeração</i>	%
wOp20	Consumo de energia padrão	kWh/m3/m
wOp21	Reabilitação de redes coletoras	%/ano
wOp22	Renovação de redes coletoras	%/ano
wOp23	Trocas de redes coletoras	%/ano
wOp24	Reparo de redes e conexões	n°/100 km/ano
wOp25	Reparo ou troca de PVs	%/ano
wOp26	Trocas de tampões de PVs	%/ano
wOp27	Manutenção de ligações prediais	%/ano
wOp28	<i>Manutenção de bombas</i>	%/ano
wOp29	Troca de bombas	%/ano
wOp30	Infiltração, ligações clandestinas, vazamentos	%
wOp31	Ligações clandestinas	m ³ /km/ano
wOp32	Infiltração	m ³ /km/ano
wOp33	Vazamentos	m ³ /km/ano
wOp34	Entupimento de rede	n°/100 km/ano
wOp35	Entupimentos de rede pontuais	n°/100 km/ano
wOp36	Entupimentos de estações elevatórias	n°/EE/ano
wOp37	Extravasamento de redes	n°/100 km/ano
wOp38	Extravasamento de sistemas unitários	n°/100 km/ano
wOp39	Inundação superficial	n°/100 km/ano
wOp40	Ruptura de redes	n°/100 km/ano
wOp41	Falha de bombas	horas/bomba/ano
wOp42	Falha energética	horas/EE/ano
wOp43	Controle de tanques de equalização	%
wOp44	<i>Análises realizadas</i>	-/ano
wOp45	<i>Análises de DBO</i>	-/ano
wOp46	<i>Análises de DQO</i>	-/ano
wOp47	<i>Análises de SST</i>	-/ano
wOp48	<i>Análises de P Total</i>	-/ano
wOp49	<i>Análises de Nitrogênio</i>	-/ano
wOp50	<i>Análises de E.coli</i>	-/ano
wOp51	<i>Outras análises</i>	-/ano
wOp52	<i>Análises de lodo</i>	-/ano
wOp53	<i>Análises de lançamentos industriais</i>	-/ano
wOp54	Disponibilidade de veículos	n°/100 km
wOp55	<i>Detectores de gás</i>	n°/func.
wOp56	<i>Detectores de gás permanentemente instalados</i>	%
Indicadores da Qualidade do Serviço		
wQS1	População residente conectada à rede coletora	%
wQS2	<i>População residente servida por ETE</i>	%
wQS3	População residente servida por sistema individual	%
wQS4	População residente não atendida	%
wQS5	<i>Esgoto tratado na ETE</i>	%

wQS6	<i>Índice de esgoto tratado por tratamento preliminar</i>	%
wQS7	<i>Índice de esgoto tratado por tratamento primário</i>	%
wQS8	<i>Índice de esgoto tratado por tratamento secundário</i>	%
wQS9	<i>Índice de esgoto tratado por tratamento terciário</i>	%
wQS10	Propriedades afetadas com inundação na estação seca	n°/1000 prop./ano
wQS11	Propriedades afetadas com inundação na estação chuvosa	n°/1000 prop./ano
wQS12	Propriedades afetadas com inundação por sistemas unitários na estação seca	n°/1000 prop./ano
wQS13	Propriedades afetadas com inundação por sistemas unitários na estação chuvosa	n°/1000 prop./ano
wQS14	Propriedades afetadas com inundação superficial em estações chuvosas	n°/1000 prop./ano
wQS15	Interrupção na coleta de esgotos	%
wQS16	Eficiência de instalação de novas conexões	dias/conexões
wQS17	Tempo de reparo de conexões	dias/conexões
wQS18	Tempo de resposta médio de limpeza de fossas	dias/pedido
wQS19	Total de reclamações	n° /1000 hab./ano
wQS20	Reclamações bloqueadas	n° /1000 hab./ano
wQS21	Reclamações por inundação	n° /1000 hab./ano
wQS22	Reclamações por incidentes de poluição	n° /1000 hab./ano
wQS23	<i>Reclamações relativas a odor</i>	n° /1000 hab./ano
wQS24	Reclamações por roedores	n° /1000 hab./ano
wQS25	Reclamações por contas	n° /1000 hab./ano
wQS26	Outras reclamações	n° /1000 hab./ano
wQS27	<i>Resposta às reclamações</i>	%
wQS28	Índice de danos a terceiros	%
wQS29	Interrupção no tráfego	km/interrupção
Indicadores Econômico-Financeiros		
wFi1	Receita unitária	US\$/p.e./ano
wFi2	Receita de serviços	%
wFi3	Outras receitas	%
wFi4	Receitas industriais	%
wFi5	<i>Despesa total unitária por p.e.</i>	US\$/p.e./ano
wFi6	Despesa total unitária por extensão de rede	US\$/km/ano
wFi7	Despesa corrente unitária por p.e.	US\$/p.e./ano
wFi8	Despesa corrente unitária por extensão de rede	US\$/km/ano
wFi9	Despesa capital unitária por p.e.	US\$/p.e./ano
wFi10	Despesa capital unitária por extensão de rede	US\$/km/ano
wFi11	<i>Despesas efetivas internas</i>	%
wFi12	<i>Despesas com serviços externos</i>	%
wFi13	<i>Despesas com energia</i>	%
wFi14	<i>Despesas com materiais, produtos químicos e outros insumos</i>	%
wFi15	<i>Outras despesas</i>	%
wFi16	Despesas com pessoal da administração/diretoria	%
wFi17	Despesas com pessoal dos recursos humanos	%
wFi18	Despesas com pessoal do financeiro e comercial	%
wFi19	Despesas com pessoal de atendimento ao usuário	%
wFi20	Despesas com pessoal dos serviços técnicos	%
wFi21	<i>Despesas com tratamento dos esgotos</i>	%
wFi22	Despesas com a rede coletora	%
wFi23	<i>Despesas com monitoramento de qualidade dos esgotos</i>	%
wFi24	<i>Despesas com serviços de apoio</i>	%
wFi25	Depreciação dos custos	%
wFi26	Juros líquidos	%
wFi27	Investimento unitário	%
wFi28	Investimentos para novos recursos e reforço dos recursos existentes	%
wFi29	Investimento em trocas e renovação de recursos existentes	%
wFi30	Razão do custo total de cobertura	
wFi31	Razão do custo operacional de cobertura	
wFi32	Atraso nas contas a receber	dias
wFi33	Razão de investimento	
wFi34	Contribuição de fontes internas para investimento	%

wFi35	Idade média dos recursos tangíveis	%/ano
wFi36	Razão média de depreciação	-/ano
wFi37	Razão de pagamentos atrasados	-/ano
wFi38	Inventário de valor	-/ano
wFi39	Margem do serviço da dívida	%
wFi40	Dívida capital	-/ano
wFi41	Liquidez corrente	
wFi42	Rentabilidade dos ativos fixos líquidos	%/ano
wFi43	Retorno sobre capital próprio	%
wFi44	Retorno de capital empregado	%
wFi45	Volume de ativos de negócio	-/ano

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: Adaptado de Matos *et al.* (2004)

2.2.1.2 International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities (IBNET)

A *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* é uma iniciativa para incentivar os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário a compilar e compartilhar um conjunto de indicadores básicos de custo e desempenho e, assim, atender às necessidades das várias partes interessadas. O programa IBNET, patrocinado pelo Banco Mundial, tem como proposta identificar as melhores práticas da indústria de saneamento, estabelecendo referência para realização de iniciativas locais para comparação de desempenho entre diferentes operadores (VON SPERLING, 2010).

A IBNET apoia e promove a prática do *benchmarking* entre os serviços de água e esgotos por meio de:

- orientação sobre indicadores, definições e métodos de coleta de dados;
- colaboração na criação de rotinas nacionais ou regionais de troca de informações;
- comparações de desempenho de prestadores de serviços entre si;
- facilita o acesso aos dados de abastecimento de água e esgotamento sanitário no domínio público.

As informações enviadas de maneira voluntária pelos diversos prestadores de todo o mundo são coletadas e sujeitas a um controle de qualidade pelo coordenador do Banco Mundial. Com base nos dados enviados, calculam-se os indicadores utilizados pelo programa. As dimensões utilizadas pelo IBNET são: cobertura do serviço, desempenho da rede, custos operacionais e recursos humanos, qualidade do serviço, faturamento e cobrança e desempenho financeiro (VON SPERLING, 2010). A Tabela 4 apresenta os IDs propostos pela IBNET.

Tabela 4 - Indicadores de desempenho utilizados pela IBNET

Código	Indicador	Unidade
A - Cobertura do Serviço		
2.1	Cobertura de esgotos	%
E- Desempenho da rede		
10.1	Entupimentos da rede coletora	entupimentos/km/ano
F - Custos Operacionais e Recursos Humanos		
11.1	* Custos operacionais unitários (água + esgoto)	US\$/m ³ água distribuída
11.2	* Custos operacionais unitários (água + esgoto)	US\$/m ³ água distribuída
11.5	Divisão dos custos operacionais de esgoto	%
11.6	Custo operacional unitário de esgoto	US\$/pop. servida
12.2	* Número total de funcionários	nº/1000 conexões
12.4	* Número total de funcionários	nº/1000 hab.
12.5	Número total de funcionários no sistema de esgotos	nº/1000 conexões
12.6	Número total de funcionários no sistema de esgotos	nº/1000 hab.
12.8	Funcionários de sistemas de esgotos	%
13.1	* Relação dos custos humanos e custos operacionais	%
13.2	* Relação dos custos de energia e custos operacionais	%
14.1	* Relação dos custos de terceiros e custos operacionais	%
G - Qualidade do Serviço		
16.1	* Reclamações relacionadas com o serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário	%
17.1	<i>Índice de esgoto coletado que recebe no mínimo tratamento de nível primário</i>	%
17.2	<i>Índice de esgoto coletado que recebe somente de tratamento primário</i>	%
17.3	<i>Índice de esgoto coletado que recebe no mínimo tratamento secundário ou superior</i>	%
H - Faturamento e Cobrança		
18.1	* Receita unitária (água + esgoto)	US\$/m ³ água distribuída
18.2	* Receita unitária (água + esgoto)	US\$/conexão de água/ano
18.5	Divisão das receitas unitárias de esgoto	%
18.10	Receita unitária de esgoto	US\$/pop. servida
19.1	* Receita total	%
20.1	* Componente fixo da tarifa para usuários domésticos (água + esgoto)	US\$/conexão/ano
20.4	Componente fixo da tarifa de esgoto para usuários domésticos	US\$/conexão/ano
20.6	Componente fixo da tarifa de esgoto para usuários doméstico	% da tarifa média
21.1	* Relação da tarifa industrial e tarifa doméstica	%
21.3	Relação da tarifa de esgoto industrial e doméstica	%
22.3	Cobrança de ligação	US\$/conexão
22.4	Cobrança de ligação (%)	%
23.1	* Período de faturamento	dias
23.2	* Razão de faturação	%
I - Desempenho Financeiro		
24.1	* Cobertura de custos correntes	%
25.1	* Taxa de cobertura do serviço da dívida	%
27.1	* Valor do imobilizado, sem amortizações (água + esgoto)	US\$/pop. servida
27.3	Valor do imobilizado (esgoto)	US\$/pop. servida

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos

Fonte: www.ib-net.org

2.2.1.3 Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR)

A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) tem por missão a regulação e a supervisão dos setores dos serviços de abastecimento público de água,

de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos em Portugal. A atividade dessa Entidade visa promover o aumento da eficiência e eficácia da prestação destes serviços, bem como assegurar a sua sustentabilidade econômica e financeira, promovendo também a garantia da qualidade do serviço prestado aos utilizadores (ALEGRE *et al.*, 2020).

No ano de 2004, foi desenvolvido pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), atualmente conhecido como ERSAR, um sistema de avaliação da qualidade dos serviços de saneamento operados pelos prestadores de serviços sujeitos a regulação. O referido sistema tinha como objetivo a intervenção regulatória e se fundamentou no uso de indicadores de desempenho. Este sistema de indicadores tem evoluído ao longo do tempo, estando presentemente na 3ª geração do sistema de avaliação, o qual apresenta um conjunto de indicadores adaptado ao horizonte 2020 (ALEGRE *et al.*, 2020).

A atual geração do sistema inclui um conjunto de alterações, quer ao nível da estrutura de alguns indicadores, quer ao nível do ajustamento dos valores de referência utilizados para a avaliação dos indicadores, que decorre de correções identificadas ao longo de cinco anos de aplicação do sistema anterior e que permitiu identificar e implementar melhorias no sistema de avaliação (ALEGRE *et al.*, 2020).

A ERSAR organiza seu sistema de indicadores em dimensões e subdimensões de avaliação. Relacionados à avaliação da qualidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, são 28 indicadores, sendo 14 para cada um dos referidos serviços. As três dimensões de indicadores de qualidade do serviço são:

- indicadores que traduzem a adequação da interface com o utilizador: pretende-se avaliar se o serviço prestado aos usuários no ano a que se refere a avaliação foi adequado ao nível da maior ou menor acessibilidade física e econômica que tem ao serviço e da qualidade com que o mesmo lhes é fornecido; subdivide-se este grupo nos dois aspectos referidos: acessibilidade do serviço aos utilizadores e qualidade do serviço prestado aos utilizadores;
- indicadores que traduzem a sustentabilidade da gestão do serviço: pretende-se avaliar se estão sendo tomadas as medidas básicas para que a prestação do serviço seja sustentável; subdivide-se este grupo nos aspectos de sustentabilidade econômica do serviço, de sustentabilidade infraestrutural do serviço e de produtividade física dos recursos humanos;
- indicadores que traduzem a sustentabilidade ambiental: pretende-se avaliar o nível de salvaguarda dos aspectos ambientais associados às atividades da

prestadora de serviço; subdivide-se este grupo em aspectos de eficiência na utilização de recursos ambientais e na prevenção da poluição.

A ERSAR se consolida como uma das principais referências a serem consideradas por entidades reguladoras que almejam também a criação e utilização de indicadores para avaliação da qualidade dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Na Tabela 5 são apresentados os IDs utilizados pela ERSAR.

Tabela 5 - Indicadores de qualidade do serviço de saneamento de águas residuais urbanas utilizados pela ERSAR

Código	Indicador	Unidade
Adequação da interface com o utilizador		
<u>Acessibilidade do serviço aos utilizadores</u>		
AR01	Acessibilidade física do serviço através de redes fixas	%
AR02	Acessibilidade econômica do serviço	%
<u>Qualidade do serviço prestado aos utilizadores</u>		
AR03	Ocorrência de inundações	n°/(100 km.ano)
AR04	Resposta a reclamações e sugestões	%
Sustentabilidade da gestão do serviço		
<u>Sustentabilidade econômica</u>		
AR05	Cobertura dos gastos	%
AR06	Adesão ao serviço	%
<u>Sustentabilidade infraestrutural</u>		
AR07	Reabilitação de coletores	%/ano
AR08	Ocorrência de colapsos estruturais em coletores	n°/(100 km.ano)
<u>Produtividade física dos recursos humanos</u>		
AR09	Adequação dos recursos humanos	n°/(100 km.ano)
Sustentabilidade ambiental		
<u>Eficiência na utilização de recursos ambientais</u>		
AR10	Eficiência energética de instalações elevatórias	kWh/(m ³ .100 m)
<u>Eficiência na prevenção da poluição</u>		
AR11	Acessibilidade física ao tratamento	%
AR12	Controle de descargas de emergência	%
AR13	<i>Cumprimento da licença de descarga</i>	%
AR14	<i>Encaminhamento adequado de lodos do tratamento</i>	%

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos

Fonte: Alegre *et al.* (2020).

2.2.1.4 Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (ADERASA)

Internacionalmente, a *Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas* concentra reguladores dos serviços de saneamento situados no continente americano (Argentina, Belize, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Equador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Peru, Paraguai, Portugal, República Dominicana e Uruguai) (ADERASA, 2019). Desde 2003, realiza um

projeto de *benchmarking* voltado à comparação de desempenho das empresas reguladas, de forma a nivelar a assimetria de informação e, assim, melhorar as decisões regulatórias na região.

Seus indicadores tiveram como base os propostos pela IWA, em concordância com os da IBNET. A intenção de utilizar os mesmos indicadores é a de facilitar a comparação internacional. O sistema de indicadores da ADERASA possui três princípios básicos (ADERASA, 2008):

- fortalecimento institucional da associação e seus associados através da concentração e ordenamento de um sistema de indicadores, conformando uma base de dados própria, comparável e de fácil acesso;
- procurar a compatibilidade internacional do sistema de indicadores, promovendo a sua aplicação no setor de regulação;
- alimentar a consistência regulatória nos países das Américas mediante o intercâmbio periódico da informação, permitindo o acesso às boas práticas dos serviços do setor do saneamento.

Os indicadores de desempenho utilizados pela ADERASA são divididos em quatro dimensões: indicadores da estrutura dos serviços, indicadores operacionais, indicadores da qualidade do serviço e indicadores econômico-financeiros (ADERASA, 2008). Na Tabela 6 são apresentados os IDs empregados pela ADERASA.

Tabela 6 - Indicadores de gestão utilizados pela ADERASA

Código	Indicador	Unidade
Indicadores da estrutura dos serviços		
ies-03	Cobertura de esgoto	%
ies-13	<i>Disponibilidade de tratamento secundário</i>	%
Indicadores de operação		
ioc-01	Número de empregados por extensão de rede	nº func./km
ioc-04	Densidade de ligação à rede	nº/km
ioc-05	Índice de rupturas em rede	nº/km
ioc-07	<i>Incidência de tratamento de esgoto</i>	%
ioc-08	<i>Incidência de tratamento secundário</i>	%
ioc-09	Tratamento de esgoto por habitante diário	l/ hab./dia
Indicadores da qualidade do serviço		
icc-02	Densidade de ligação à rede de esgotos	nº/km
icc-03	<i>Execução de análises de esgoto tratado</i>	%
icc-04	<i>Conformidade das análises de esgoto tratado</i>	%
icu-02	* Reclamações comerciais por conta	%
icu-04	Reclamações de serviço de esgoto por conexão	%
icu-05	Resposta às reclamações em tempo	%
Indicadores econômico-financeiros		
iec-03	Faturamento de unidade de esgoto	US\$/m ³
iec-04	* Custo médio por conta de água potável e esgoto	US\$/m ³
iec-05	* Relação de custos operacionais e faturação por serviço	%
iec-11	Custo unitário do líquido recebido	US\$/m ³

iec-12	Incidência da mão de obra	%
iec-13	Incidência do custo de energia	%
iec-15	* Custos de administração e vendas por conta	US\$/conta
iec-16	* Incidência do trabalho de terceiros	%
iec-17	* Índice de Investimentos	%
iec-20	Faturamento médio de serviço de esgoto doméstico por conta	US\$/conta
iec-21	Faturamento médio de serviço de esgoto não doméstico por conta	US\$/conta
ief-03	* Morosidade	meses
ief-04	* Endividamento sobre patrimônio líquido	%
ief-06	* Composição do passivo	%
ief-07	* Rentabilidade sobre o patrimônio líquido	%

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água
Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
Fonte: Aderasa (2019).

2.2.1.5 Six Scandinavian Cities Group (SSCG)

O *Six-Cities Group* consiste em uma cooperação entre seis prestadores públicos de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de quatro países escandinavos. As seis cidades participantes do grupo são Copenhague (Dinamarca), Helsinki (Finlândia), Oslo (Noruega), Estocolmo, Gotemburgo e Malmo (Suécia). Esse grupo estabeleceu uma rotina sistemática anual de avaliação de indicadores de desempenho para o abastecimento de água e esgotamento sanitário.

Em 1995, iniciou-se a rotina de *benchmarking* entre os membros do grupo, com a intenção de comparar os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos prestadores participantes. O sistema de indicadores de desempenho é dividido em sete dimensões principais, sendo cinco relacionadas ao sistema de esgotos: gestão global, esgotamento sanitário, tratamento de esgoto, construção e reabilitação de infraestruturas e finanças. Os indicadores, por sua vez, são estruturados em seis categorias, a saber: satisfação do cliente (S), qualidade (Q), fiabilidade (F), ambiente (A), organização e recursos humanos (O) e economia (E) (VON SPERLING, 2010). Tabela 7 apresenta os IDs propostos pelo *Six-Cities Group*.

Tabela 7 - Indicadores de desempenho utilizados pelo Six-Cities Group

Indicador (unidade)	Categorias do ID					
	S	Q	F	A	O	E
Gestão Global						
*Consumo de energia				X		
* Produção de energia				X		
<i>Custo de reagentes por m³ de esgoto tratado</i>				X		
* Número de empregados por 1000 usuários					X	
* Custo com pessoal					X	
* Custo do <i>outsourcing</i> /custo total * 100					X	
<i>Custo do m³ de esgoto tratado</i>						X
Lucro						X
Esgotamento Sanitário						
Custo de operação e manutenção por m de coletor						X
Número de obstruções por 10 km de coletor			X	X		
<i>Número de inundações por 1000 usuários</i>	X	X	X			
Tratamento de Esgoto						
<i>Custo de operação e manutenção por m³ de esgoto tratado</i>						X
<i>% de remoção de pesticidas organoclorados</i>				X		
<i>% de remoção de matéria orgânica</i>				X		
<i>% de remoção de nitrogênio total</i>				X		
<i>% de remoção de fósforo total</i>				X		
<i>Teor de metal nos lodos</i>		X		X		
<i>% de lodo utilizado na agricultura</i>				X		
<i>Volume de esgoto tratado por capacidade instalada de tratamento*100</i>				X		
Construção e Reabilitação de Infraestruturas						
Comprimento de coletores sujeito a construção e reabilitação por comprimento total de tubulação*100						X
Finanças						
* Coeficiente de liquidez						X
* Coeficiente de exploração						X
* Índice de produtividade				X	X	
* Índice de eficiência total				X	X	

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água
 Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: Stahre e Adamsson (2004) *apud* Von Sperling (2010).

2.2.1.6 American Water Works Association (AWWA)

A *American Water Works Association* dirige um programa voluntário de *benchmarking* entre os prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos Estados Unidos. A base deste programa é um sistema de indicadores de desempenho bem definidos e testados pelo tempo, específicos para o setor de água (AWWA, 2019).

Esses indicadores foram projetados para ajudar as concessionárias de serviços de abastecimento de água e esgoto a melhorarem a sua eficiência operacional e eficácia administrativa. Os indicadores de desempenho são categorizados nas seguintes cinco dimensões: desenvolvimento institucional, relações com os clientes, operações empresariais, operações - água e operações - esgoto (AWWA, 2019).

A AWWA coleta anualmente os dados de *benchmarking* dos prestadores de serviço. As informações são enviadas pelos prestadores e os resultados são publicados, de forma anônima, em um relatório personalizado divulgado apenas entre os participantes da pesquisa. Esse relatório mostra os indicadores de desempenho dos prestadores de serviço individuais em relação aos dados agregados de todos os prestadores participantes na mesma categoria de serviço (água, esgoto ou sistemas combinados) (AWWA, 2019). A Tabela 8 apresenta os indicadores de desempenho utilizados pela AWWA.

Tabela 8 - Indicadores de desempenho utilizados pela AWWA

Código	Indicador	Unidade
Desenvolvimento institucional		
01	* Melhores práticas organizacionais	
02	Total de pessoal em tempo integral	
03	Treinamento de prontidão para resposta a emergências	horas/funcionário
04	Contas de clientes por funcionário	
05	Rotatividade de funcionários	%
06	Elegibilidade para aposentadoria	%
07	Taxa de severidade da segurança no trabalho e saúde do empregado	
08	Incidentes registráveis de ferimentos ou doenças	
09	Quase acidentes	
10	Planejamento estratégico da força de trabalho	
11	Vagas de funcionários	
Níveis de pessoal		
12	Pessoal em tempo integral por categoria de trabalho	%
13	Níveis de pessoal: Horas de treinamento por empregado	horas/funcionário
Operações empresariais		
14	Índice de débito	%
15	Retorno sobre ativos	%
16	Dias de dinheiro disponível	
17	Taxa de cobertura de serviço	
18	Dias de capital de giro	
19	Índice operacional	%
20	Classificação de títulos	
21	Seguro: Sinistros de seguros	
22	Seguro: Gravidade dos sinistros de seguro	
23	Seguro: Gravidade média	
24	Inspeção do sistema	%
25	Renovação/substituição do sistema	%
26	Índice de linha inferior triplo	%
Sustentabilidade		
27	<i>Recuperação de nutrientes</i>	%
28	<i>Reuso de biossólidos</i>	%
29	Uso consumível não potável	%
30	<i>Metas de proteção de habitat/bacia hidrográfica</i>	
31	Planejamento de infraestrutura verde	
32	Planejamento de otimização de energia	
Risco e resiliência		
33	Avaliação de risco e preparação para resposta	
34	Planejamento de resposta a emergências	
35	Plano de recuperação e mitigação	
36	Preparação para a segurança cibernética	
Relações com os clientes		
37	Custo do serviço ao cliente por conta	\$/conta

38	Custo residencial do serviço de esgoto	\$/mês
39	Consumo per capita	gal./pessoa/dia
40	Acessibilidade do serviço de esgoto	%
41	Taxa de inadimplência	
42	Programa de assistência de baixa renda oferecido	
43	Taxa de assistência de faturamento de baixa renda	
44	Índice de divulgação das partes interessadas	
45	Atendimento ao cliente - Método preferido de contato	
46	Custo residencial do serviço de esgoto	\$/mês
	<u>Reclamações de serviço</u>	
47	Reclamações de atendimento ao cliente/1000 contas	
48	Reclamações de atendimento ao cliente/população atendida	
	<u>Indicadores de Call Center</u>	
49	Tempo médio de conversa	minutos
50	Tempo médio de espera	minutos
51	Chamadas abandonadas	%
52	Média de chamadas por representante do <i>call center</i>	
53	Resolução da primeira chamada	
	<u>Precisão de faturamento (erros/10.000 faturamentos)</u>	
54	Frequência de cobrança	
55	Taxa de faturamento estimada	
56	Prevalência de medição	
57	Medição: Frequência de leituras do medidor	
58	Medição: Taxa de sucesso de leitura	
	<u>Interrupções do serviço de esgoto</u>	
59	Planejado pela duração do evento (<4, 4–12,> 12 horas)	n°/1000 contas
60	Não planejado pela duração do evento (<4, 4–12,> 12 horas)	n°/1000 contas
61	Tempo médio para resolver as interrupções do serviço de esgoto	horas
62	Frequência de interrupção do serviço de esgoto	
	<u>Operações – esgoto</u>	
	<u>Taxa de conformidade de esgoto</u>	
63	<i>Conformidade de regulatória - esgoto</i>	%
64	Operações de tratamento de esgoto	%
65	Operações do sistema de coleta	%
66,67,68	<u>Custos de O&M para serviço de esgoto</u>	\$/conta; \$/MG; \$/100 milhas de tubo
69	Custos de O&M de coleta	\$/100 milhas de tubulação
70	Custo de O&M de Tratamento	\$/MG
71	Porcentagem de O&M de serviços de águas residuais	%
72	Porcentagem de O&M de serviços de águas pluviais	%
	<u>Manutenção - Esgoto</u>	
73	Manutenção planejada	%
74	<i>Manutenção corretiva para tratamento</i>	horas/MG
75	<i>Manutenção planejada para tratamento</i>	horas/MG
76	Manutenção corretiva para coleta	hr/100 milhas de tubo
77	Manutenção planejada para coleta	hr/100 milhas de tubo
78	Consumo de energia	kBTU/ano/MG

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: AWWA (2019).

2.2.1.7 Water Service Association of Australia (WSAA)

A *Water Service Association of Australia* é a associação de abastecimento de água e esgotamento sanitário da Austrália. Tem a finalidade de promover o intercâmbio de informações entre as empresas, o governo e a comunidade, favorecendo a gestão sustentável

dos recursos hídricos. A associação promove um *benchmarking* anualmente entre seus membros, utilizando indicadores de desempenho distribuídos nas seguintes dimensões: recursos hídricos, tarifas, ambiental, financeiro, clientes, ativos e saúde pública (BUREAU OF METEOROLOGY, 2020; VON SPERLING, 2010). A Tabela 9 apresenta os indicadores utilizados pela WSAA.

Tabela 9 - Indicadores de desempenho utilizados pela WSAA

Código	Indicador	Unidade
Recursos Hídricos		
W16	Volume de esgoto coletado (excluindo efluente industrial)	ML
W17	Volume de efluente industrial coletado	ML
W18	Volume total de esgoto coletado	ML
W18.4	<i>Volume de afluência para ETAR</i>	ML
W18.5	<i>Volume de saída de efluente tratado de ETAR</i>	ML
W19	Volume médio de esgoto coletado por residência	kL/residência
W30	Volume de perdas e descargas de esgoto	ML
Ativos		
A4	<i>Número de estações de tratamento de esgotos</i>	
A5	Comprimento das redes de esgoto e canais	km
A6	Residências atendidas por km de rede de esgoto	
A14	Número de interrupções e obstruções da rede de esgoto	por 100 km de rede
A15	Número de rompimentos de ligações prediais	por 1.000 residências
Clientes		
C6	Propriedades residenciais conectadas	
C7	Propriedades não residenciais conectadas	
C8	Total de propriedades conectadas	
C11	Reclamações do serviço de esgoto	por 1000 residências
C12	* Reclamações por tarifas (abastecimento de água e esgoto)	por 1000 residências
C13	* Reclamações totais de água e esgoto	por 1000 residências
IC11	Reclamações do serviço de esgoto	
IC12	Reclamações por tarifas (abastecimento de água e esgoto)	
IC13	* Reclamações totais de água e esgoto	
Ambiental		
E1	<i>Índice de tratamento primário</i>	%
E2	<i>Índice de tratamento secundário</i>	%
E3	<i>Índice de tratamento terciário</i>	%
IE1	<i>Volume de esgoto tratado em nível primário</i>	ML
IE2	<i>Volume de esgoto tratado em nível secundário</i>	ML
IE3	<i>Volume de esgoto tratado em nível terciário</i>	ML
E8	<i>Porcentagem de reuso de biossólidos</i>	%
E10	<i>Emissões de gases provenientes do sistema de esgoto danosos ao efeito estufa</i>	ton. CO ₂ /1000 resid.
E10.1	<i>Emissões de gases provenientes do sistema de esgoto danosos ao efeito estufa</i>	ton. CO ₂ /ML
Financeiro		
F2	Receita total de esgoto	\$000s
F3	* Receita total para a prestadora	\$000s
F6	Receita de esgoto por residência	\$/residência
F6.1	Receita do sistema de esgoto	\$/ML
F7	* Renda total por residência	\$/residência
F7.1	* Renda total	\$/ML
F8	* Receita dos 'serviços obrigatórios da comunidade'	
F10	Ativos fixos relativos aos serviços de esgotos	\$
F12	Custo operacional de esgoto por residência	\$/residência
F12.1	Custo operacional de esgoto	\$/ML
F13	* Custo operacional total de água e esgoto por residência	\$/residência

F13.1	* Custo operacional total de água e esgoto	\$/ML
F15	Despesas de capital total - esgoto	\$000s
F16	* Despesas de capital total - água e esgoto	\$000s
F18	Taxa de retorno econômico - esgoto	
F19	* Taxa de retorno econômico - água e esgoto	
F20	* Dividendos	\$000s
F21	* Razão de dividendos	
F22	* Dívida líquida de capital	
F23	* Cobertura de juros	
F24	* Lucro líquido após impostos	\$000s
F25	* Serviços obrigatórios da comunidade	\$000s
F27	Capital de fundos do governo - esgoto	\$000s
F29	Despesa de capital de esgoto por residência	\$/residência
F29.1	Despesa de capital de esgoto	\$/ML
F30	* Razão do lucro líquido após impostos	
IF12	Custo operacional - esgoto	\$000s
Tarifas		
P4.1	Tarifa fixa - esgoto	\$
P4.2	Taxa de uso - esgoto	\$/kL
P4.3	Taxa especiais - esgoto	\$
P4.4	Receita de taxas especiais retidas pela prestadora - esgoto	sim/não
P5	Conta residencial anual com base em 200 kL por ano	\$
P6	Conta residencial padrão - esgoto	\$
P7	* Conta residencial anual total com base em 200 kL por ano - água e esgoto	\$
P8	* Conta residencial padrão total - água e esgoto	\$

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água
 Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: Bureau of Meteorology (2020).

2.2.1.8 Office of Water Services (OFWAT)

A OFWAT é o órgão regulador econômico dos serviços de água e esgotamento sanitário da Inglaterra e do País de Gales. Tem a responsabilidade de garantir que as empresas que regulam proporcionem aos consumidores um serviço eficiente e de boa qualidade a um preço justo. A entidade nasceu com a privatização dos serviços no começo dos anos 1990.

Desde 1991, as entidades gestoras dos referidos países reportam, obrigatoriamente, à OFWAT o seu desempenho na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. A partir da informação coletada e comparativamente analisada, o OFWAT estabelece *rankings* de qualidade na prestação dos serviços e elabora modelos econométricos para a determinação dos custos relativos, que são posteriormente utilizados na regulação tarifária (MOLINARI, 2006).

A informação é submetida na forma de indicadores de desempenho relativos a quatro dimensões: experiência do cliente, confiabilidade e disponibilidade, impacto ambiental e finanças (OFWAT, 2013). A Tabela 10 apresenta os indicadores utilizados pela OFWAT.

Tabela 10 - Indicadores de desempenho utilizados pela OFWAT

Código	Indicador	Unidade
Experiência do cliente		
01	Mecanismo de incentivo de serviço	<i>score</i>
02	Extravasamentos de esgotos internamente nas propriedades	Número de incidentes
Confiabilidade e disponibilidade		
03	Operacionalidade do sistema de esgotos, exceto a infraestrutura	Estável/ Melhorando/ Marginal/ Deteriorado
04	Operacionalidade da infraestrutura referente aos esgotos	
Impacto ambiental		
05	<i>Emissões de gases de efeito estufa</i>	ktCO ₂ eq
06	Incidentes de poluição	Categoria 1-3 incidentes/10.000 km
07	Incidentes de poluição graves	Categoria 1-2 incidentes/10.000 km
08	<i>Cumprimento das condições de lançamento dos esgotos tratados dentro das normas</i>	%
09	<i>Disposição satisfatória de lodo</i>	%

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: OFWAT (2013).

2.2.1.9 Normas da Série ISO 24500

A série normativa ISO 24500, publicada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2012, trata das atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto. A adoção feita pela ABNT é idêntica em conteúdo técnico, estrutura e redação às normas ISO. As normas dessa série não foram desenvolvidas como sistemas de certificação, mas sim como diretrizes para a melhoria contínua e avaliação dos serviços. A utilização dessa série de normas é de aplicação voluntária. O conjunto normativo é composto das seguintes normas:

- ABNT NBR ISO 24510 - Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários;
- ABNT NBR ISO 24511 - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto;
- ABNT NBR ISO 24512 - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e avaliação dos serviços de água potável.

A série ISO 24500 tem como objetivo fornecer às partes interessadas as diretrizes para avaliar e melhorar os serviços prestados aos usuários, bem como orientar a gestão dos prestadores de serviços de água e esgoto. As normas destinam-se, ainda, a facilitar o diálogo entre as partes interessadas, permitindo-lhes o desenvolvimento mútuo da compreensão das funções e tarefas que se inserem no escopo dos prestadores de serviços de água e de esgoto. A

fim de avaliar e melhorar os serviços prestados e para garantir um acompanhamento adequado das melhorias, as normas sugerem o uso de um sistema de indicadores de desempenho (ABNT, 2012a).

De acordo com o conteúdo e aplicação das normas, percebe-se a compatibilidade com a abordagem do princípio do “planejar-fazer-chechar-agir” (PDCA), que propõe um processo progressivo, desde a identificação dos componentes e definição dos objetivos do prestador de serviços de água e de esgoto até o estabelecimento de indicadores de desempenho, retornando aos objetivos e à gestão, depois de avaliados os desempenhos (ABNT, 2012a).

A ABNT NBR ISO 24511, que fornece diretrizes para a gestão dos serviços de esgotamento sanitário, tem como escopo: a definição de uma linguagem comum para as diferentes partes interessadas; objetivos dos serviços de esgotamento sanitário; diretrizes para o gerenciamento de serviços de esgotamento sanitário; critérios de avaliação de serviços e exemplos de indicadores de desempenho relacionados, todos sem determinação dos objetivos ou limitações (ABNT, 2012b).

Essa norma apresenta um sistema de indicadores compreendendo um conjunto de componentes essenciais, integrando indicadores de desempenho, informações de contexto e variáveis. Além disso, sugere o estabelecimento de metas específicas para cada indicador e que sejam monitoradas rotineiramente, controladas e ajustadas conforme a necessidade.

Os exemplos de indicadores foram apresentados de acordo com os objetivos apresentados na norma, segundo seis dimensões distintas: proteção da saúde pública, atendimento das necessidades e das expectativas dos usuários, prestação de serviços em situações normais e de emergência, sustentabilidade do prestador de serviços de esgoto, promoção do desenvolvimento sustentável da comunidade e proteção do meio ambiente. A Tabela 11 apresenta os exemplos de critérios e IDs propostos pela ABNT NBR ISO 24511.

Tabela 11 - Exemplos de critérios e indicadores de desempenho relacionados ao sistema de esgoto propostos pela ABNT NBR ISO 24511

Critérios de avaliação	Indicador
Proteção da saúde pública	
Cobertura adequada dos serviços aos usuários	População total não atendida
Saúde e segurança do pessoal	<i>Número de análises não conformes de qualidade/quantidade para o lançamento de efluentes</i>
Integridade do sistema	<i>Análises de qualidade do esgoto realizadas em conformidade com os requisitos</i>
Lançamento seguro de águas residuárias	<i>Análises de qualidade de resíduos realizadas em conformidade com os requisitos</i>
Atendimento das necessidades e das expectativas dos usuários	
Ver ISO 24510 (ABNT, 2012a), exemplos:	Ver ISO 24510 (ABNT, 2012a), exemplos:

<p>Simplicidade no estabelecimento de uma nova ligação predial</p> <p>Efeitos sobre os usuários causados pelas interrupções dos serviços (planejado ou não)</p> <p>Existência de um plano de desenvolvimento de serviços</p> <p>Balanco entre demanda e capacidade do sistema de abastecimento de água</p> <p>Escolha dos métodos de pagamento</p>	<p>Eficiência na disponibilização de novas ligações prediais</p> <p>Interrupções por ligação predial</p> <p>Conformidade da qualidade da água</p> <p>Cobertura populacional</p> <p>Contatos telefônicos resolvidos no tempo</p> <p><i>Concordância das estações de tratamento de esgotos com padrões de lançamento</i></p> <p>Existência de um sistema de gerenciamento ambiental</p>
Prestação de serviços em situações normais e de emergência	
<p>Continuidade da operação da estação de tratamento de esgoto</p> <p>Minimização dos entupimentos no sistema de esgoto</p> <p>Desenvolvimento de um plano de emergência</p> <p>Adequação de estoque de peças sobressalentes (ex.: tubos de esgoto, bombas)</p>	<p>Entupimentos nas redes de esgoto</p> <p>Número de imóveis afetadas por retorno de esgoto</p> <p><i>Número de estações de tratamento de esgoto com falhas dentro do limite permitido</i></p>
Sustentabilidade do prestador de serviços de esgoto	
<p>Desempenho da rede (ex.: colapso e/ou entupimento da rede de esgoto)</p> <p>Condição dos ativos (ex.: idade, confiabilidade)</p> <p>Custos de operacionais</p> <p>Níveis e competências do pessoal</p> <p>Desempenho financeiro: faturamento, cobrança, dívida, acessibilidade econômica</p>	<p>Relação do custo total de cobertura</p> <p>Taxa média de substituição da rede</p> <p>Custo operacional unitário</p> <p>Número total de empregados por ligação predial</p> <p>Ativos fixos (bruto/líquido)</p> <p>Receita média por ligação predial</p> <p>Relação entre a tarifa industrial e a residencial</p> <p>Preço da ligação predial</p> <p>Fatura mensal dos serviços por domicílio</p> <p>Período de recebimento das faturas</p> <p>Taxa de recebimento das faturas</p> <p>Coberturas dos custos operacionais</p> <p>Taxa dos serviços da dívida</p>
Promoção do desenvolvimento sustentável da comunidade	
<p>Reuso de esgoto tratado</p> <p>Utilização sustentável da energia (economia e reuso)</p> <p>Recuperação de custos e sustentabilidade dos serviços a longo prazo</p> <p>Estrutura tarifárias explícitas e justas</p> <p>Informação compreensível e transparente para os usuários/clientes</p>	<p><i>Reuso de esgoto tratado</i></p> <p><i>Utilização de resíduos</i></p> <p><i>Consumo de energia para o tratamento de esgoto</i></p> <p>Recuperação de energia dos sistemas de esgoto</p> <p><i>Utilização da capacidade do tratamento de esgoto (porcentagem da carga atual x capacidade projetada)</i></p>
Proteção do meio ambiente	
<u>Proteção do ambiente natural</u>	
<p>Prevenção e controle de extravasões</p> <p>Monitoramento das emissões no meio ambiente</p> <p>Uso sustentável de energia</p> <p>Preservação de ecossistemas (flora e fauna)</p>	<p><u>Proteção do ambiente natural</u></p> <p>Frequência de descarga intermitente</p> <p>Impacto ambiental de extravasão de esgoto</p> <p>Eficácia do sistema</p> <p><i>Porcentagem de volume coletado versus volume tratado</i></p> <p><i>Proporção de esgoto coletado que recebe pelo menos tratamento primário</i></p> <p><i>Proporção do esgoto coletado que recebe pelo menos tratamento secundário</i></p>
<u>Proteção do ambiente construído/público</u>	
<p>Efeitos das inundações</p> <p>Prevenção e controle da poluição</p> <p>Manutenção dos ativos</p> <p>Valorização dos espaços de lazer</p>	<p><u>Proteção do ambiente construído/público</u></p> <p>Imóveis ligados afetados por retorno de esgoto</p> <p>Número de transbordamento de esgoto por extensão da rede de esgoto</p>

Número de retornos de esgoto por unidade de tempo
Quantidade de sedimentos removidos por extensão da rede de esgoto
Percentagem de rede de esgoto inspecionada por unidade de tempo
Água infiltrada no Sistema de esgoto em percentagem da vazão de esgoto
Percentagem de rede de esgoto lavada por unidade de tempo
Número de falhas em estações de recalque, por ano e por extensão de rede de esgoto
<i>Quantidade de resíduos removidos das grades e separadores de areia e gordura</i>
<i>Volume de sedimentos retirados de sistemas individuais</i>
Frequência de inspeção de equipamento
Percentagem de pessoal treinado para o nível adequado de habilidade

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
 Fonte: ABNT (2012b).

2.2.1.10 Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS)

O Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento é o maior e mais importante banco de dados do setor de saneamento brasileiro. O Sistema possui uma base de dados que contém informações e indicadores sobre a prestação de serviços de água e esgotos, de manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Com abrangência nacional, reúne informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico em áreas urbanas das quatro componentes do saneamento básico (SNIS, 2020).

Anualmente, o SNIS coleta dados dos municípios e dos prestadores de serviços de saneamento (companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, pelas próprias prefeituras), os estrutura e disponibiliza à sociedade por meio dos Diagnósticos e da aplicação *web* SNIS Série Histórica. Os Diagnósticos da situação da prestação de serviços de saneamento básico são divididos em Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. A partir do ano de 2019, o SNIS passou a divulgar o Painel de Informações sobre Saneamento que traz um panorama do setor e permite que as principais informações e indicadores sejam acessados de forma interativa (SNIS, 2020).

O SNIS constitui-se em uma ferramenta para auxiliar no planejamento e na execução de políticas públicas, na orientação da aplicação de recursos, no conhecimento e avaliação do setor de saneamento, na avaliação de desempenho dos prestadores de serviços, no aperfeiçoamento da gestão, na orientação de atividades regulatórias e de fiscalização e, por fim,

no exercício do controle social. As informações fornecidas ao SNIS pelos prestadores sofrem análise de consistência em duas etapas distintas. A participação dos prestadores de serviços e dos municípios é voluntária. No entanto, os programas de investimentos do Ministério do Desenvolvimento Regional exigem o envio regular de dados ao SNIS como critério de seleção, hierarquização e liberação de recursos financeiros (SNIS, 2020).

Os indicadores do SNIS relacionados à prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário estão organizados em quatro dimensões: econômico-financeiras e administrativas, operacionais, contábeis e qualidade. Atualmente, o SNIS-AE (Água e Esgoto) trabalha com 84 indicadores, dos quais 35 são utilizados estritamente para os serviços abastecimento de água, 12 estritamente para serviços de esgotamento sanitário e 37 para ambos os serviços. As dimensões econômico-financeiras e administrativas e operacionais são as que apresentam a maior quantidade de indicadores formulados, com 32 e 30, respectivamente. Os IDs utilizados pelo SNIS são apresentados na Tabela 12.

A Lei nº 11.445/2007, Art. 53, estabelece a instituição do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa). Esse novo Sistema se constitui na evolução do atual SNIS, com ampliações de escala e de escopo, complementações de informações e indicadores, coletando informações junto aos titulares, prestadores e entes reguladores e fiscalizadores dos serviços públicos de saneamento básico. O Ministério do Desenvolvimento Regional já iniciou o processo de concepção do Sinisa, o qual deverá substituir o atual sistema a partir de 2021 (SNIS, 2020).

O processo de coleta e análise das informações e geração de indicadores será similar ao executado pelo SNIS. As principais diferenças serão as seguintes: inclusão dos gestores públicos dos titulares dos serviços de saneamento básico no fornecimento de informações; separação do módulo único do SNIS Água e Esgoto em dois módulos distintos; detalhamento dos investimentos em ampliação da capacidade ou reposição de infraestrutura; inclusão das entidades reguladoras no fornecimento de informações; e, incorporação de formulários sobre infraestrutura nos módulos de abastecimento de água e esgotamento sanitário (SNIS, 2020).

Tabela 12 - Indicadores de desempenho de esgotamento sanitário utilizados pelo SNIS

Código	Indicador	Unidade
Indicadores econômico-financeiros e administrativos		
IN002	*Índice de produtividade: economias ativas por pessoal próprio	econ./empreg.
IN003	*Despesa total com os serviços por m ³ faturado	R\$/m ³
IN004	*Tarifa média praticada	R\$/m ³
IN006	Tarifa média de esgoto	R\$/m ³
IN007	*Incidência da desp. de pessoal e de serv. de terc. nas despesas totais com os serviços	%
IN008	*Despesa média anual por empregado	R\$/empreg.

IN012	*Indicador de desempenho financeiro	%
IN018	*Quantidade equivalente de pessoal total	empreg.
IN019	* Índice de produtividade: economias ativas por pessoal total (equivalente)	econ./empreg. eqv.
IN026	*Despesa de exploração por m ³ faturado	R\$/m ³
IN027	*Despesa de exploração por economia	R\$/ano/econ.
IN029	*Índice de evasão de receitas	%
IN030	*Margem da despesa de exploração	%
IN031	*Margem da despesa com pessoal próprio	%
IN032	*Margem da despesa com pessoal total (equivalente)	%
IN033	*Margem do serviço da dívida	%
IN034	*Margem das outras despesas de exploração	%
IN035	*Participação da despesa com pessoal próprio nas despesas de exploração	%
IN036	*Participação da despesa com pessoal total (equivalente) nas despesas de exploração	%
IN037	*Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração	%
IN038	* Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração (DEX)	%
IN039	*Participação das outras despesas nas despesas de exploração	%
IN041	Participação da receita operacional direta de esgoto na receita operacional total	%
IN042	*Participação da receita operacional indireta na receita operacional total	%
IN048	*Índice de produtividade: empregados próprios por 1000 ligações de água + esgoto	empreg./mil lig.
IN054	*Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	dias
IN060	*Índice de despesas por consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgotos	R\$/kWh
IN101	*Índice de suficiência de caixa	%
IN102	*Índice de produtividade de pessoal total (equivalente)	ligações/empregados
Indicadores operacionais - esgotos		
IN015	Índice de coleta de esgoto	%
IN016	<i>Índice de tratamento de esgoto</i>	%
IN021	Extensão da rede de esgoto por ligação	m/lig.
IN024	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água	%
IN046	Índice de esgoto tratado referido à água consumida	%
IN047	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	%
IN056	Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	%
IN059	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário	kWh/m ³
Indicadores de balanço		
IN061	*Liquidez corrente	
IN062	*Liquidez geral	
IN063	*Grau de endividamento	
IN064	*Margem operacional com depreciação	%
IN065	*Margem líquida com depreciação	%
IN066	*Retorno sobre o patrimônio líquido	%
IN067	*Composição de exigibilidades	%
IN068	*Margem operacional sem depreciação	%
IN069	*Margem líquida sem depreciação	%
Indicadores de qualidade		
IN077	Duração média dos reparos de extravasamentos de esgotos	%
IN082	Extravasamentos de esgotos por extensão de rede	extrav./Km
IN083	*Duração média dos serviços executados	hora/serviço

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água

Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos

Fonte: SNIS (2020).

2.2.1.11 Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)

A Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) é uma entidade de direito privado, criada sob a forma de associação civil, sem fins lucrativos e de natureza não partidária. Atualmente, a ABAR agrega 59 agências associadas (4 Federais, 28 Estaduais, 6 intermunicipais e 21 Municipais) dos setores de cinema, energia elétrica, petróleo e gás, saneamento básico, recursos hídricos, transporte e logística. Seu objetivo é promover a mútua colaboração entre as associadas e os poderes públicos, na busca do aprimoramento da regulação e da capacidade técnica, contribuindo para o avanço e a consolidação da atividade regulatória em todo Brasil (ABAR, 2020).

A ABAR, em parceria com o Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), realizou em março de 2006 uma oficina internacional de indicadores para regulação dos serviços de água e esgoto. Estiveram presentes 14 agências estaduais e municipais, além de representantes do ente regulador de água (Etoss) de Buenos Aires, do Sistema de Informação em Água e Saneamento (Sias) da Bolívia e da Associação de Entes Reguladores de Água Potável e Saneamento das Américas (Aderasa) (XIMENES, 2006).

Como resultado da oficina, foi proposto um conjunto de indicadores para a regulação do saneamento, que seria utilizado por todas as agências reguladoras (Tabela 13). Salienta-se que trata de uma recomendação da oficina internacional de indicadores e da ABAR, embora cada agência reguladora esteja livre para determinar os próprios indicadores e metodologias. Os indicadores propostos abrangeram as dimensões operacionais, de qualidade e econômico-financeiros (XIMENES, 2006).

Outra recomendação enfatizada na oficina foi a necessidade de padronização da linguagem e dos conceitos, e de maior importância à definição dos indicadores. A ABAR passa a ter destaque como um instrumento de organização e de articulação entre as agências para construção de indicadores (XIMENES, 2006).

Em 2013, ocorreu a reunião da Câmara Técnica de Saneamento Básico, Recursos Hídricos e Saúde (CTSsan) da ABAR, em que foi exposta a necessidade legal do acompanhamento de informações e de indicadores de desempenho por parte das agências reguladoras, considerando o forte problema associado à ausência de confiabilidade dos dados disponíveis do setor. As agências reguladoras do setor apoiam-se no SNIS para suas atividades de regulação e fiscalização dos serviços. Por sua vez, o SNIS é alimentado por informações autodeclaradas dos prestadores de serviços, sendo assim muito relevante que esses dados sejam precisos (ACERTAR, 2020).

Dessa forma, a apresentação propôs que fosse realizada uma parceria com o SNIS, a fim de que esses problemas fossem solucionados por meio dos procedimentos de auditoria e certificação das informações a serem realizados pelas próprias agências reguladoras. Assim, surgiu o Projeto Acertar, cuja formação do nome é composta por “A” de auditoria, “CERT” de certificação e “AR” de agências reguladoras, como uma alternativa para melhorar a qualidade da informação sobre o saneamento básico no Brasil. O Acertar propõe a execução padronizada, por parte das agências reguladoras, da auditoria e certificação dos dados do SNIS, tornando-os mais sólidos e confiáveis (ACERTAR, 2020).

Tabela 13 - Indicadores de esgotamento sanitário propostos pela oficina realizada pela ABAR

Indicador	Referência	Unidade
Indicadores de Operacionais		
Densidade de obstruções Atendimento urbano	Aderasa - ICC02 SNIS - I024	obstruções/km %
Indicadores de Qualidade		
<i>Cumprimento da quantidade de análises exigidas pela norma</i>	Aderasa - ICC03	%
<i>Conformidade das análises das águas residuárias</i>	Aderasa - ICC04	%
*Densidade de reclamações de água e esgoto	-	reclamações/1.000
*Quantidade de solicitações de serviços de água e esgoto	-	%
*Atendimento em tempo às reclamações	-	
Indicadores Econômico-Financeiros		
Faturamento médio de esgoto	SNIS - I006	R\$/m ³
*Índice de desempenho financeiro	SNIS - I012	%
* Custo médio faturado	SNIS - I026	R\$/m ³
* Inadimplência	SNIS - I029	%
* Endividamento sobre o patrimônio	-	%
* Rentabilidade sobre o patrimônio líquido	-	%
* Liquidez geral	SNIS - I062	%

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água
Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
Fonte: Ximenes (2006).

2.2.1.12 Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento (PNQS)

O Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento foi instituído em 1997 pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) para reconhecer as empresas do setor que se distinguem pela boa gestão dos serviços de saneamento. Desde então realiza premiações anuais visando estimular as melhores práticas do setor. Para tal, instituiu prêmios às empresas que participem voluntariamente do Programa segundo critérios de avaliação de desempenho baseados em indicadores. Esses indicadores são utilizados como ferramenta de pontuação dos prestadores participantes para os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos urbanos e manejo das águas pluviais (ABES, 2020).

O PNQS se baseia nos critérios de excelência da Fundação Nacional da Qualidade e é uma iniciativa instituída para:

- estimular a busca e a aplicação de boas práticas de gestão pelas organizações envolvidas com o setor de saneamento ambiental no País;
- reconhecer aquelas organizações que se destacam pela utilização dessas práticas e que apresentem resultados competitivos de desempenho;
- captar e divulgar as práticas das organizações reconhecidas, em seminários e publicações de relatórios de gestão e *cases* finalistas e vencedores;
- promover eventos de capacitação gerencial para essas organizações.

Os indicadores de avaliação estão divididos em 5 dimensões, totalizando 94 indicadores (Tabela 14). As dimensões são: econômico-financeiros; sociais e ambientais; relativos a clientes e mercado; relativos às pessoas; e relativos aos processos (ABES, 2020). Ressalta-se que a maioria dos indicadores possuem como referência os indicadores do SNIS. Observa-se também referências extraídas da IWA, da ERSAR e da IBNET, além de alguns indicadores criados pelo próprio PNQS.

Tabela 14 - Indicadores de esgotamento sanitário utilizados pelo PNQS

Código	Indicador	Referência	Unidade
Resultados econômico-financeiros			
IFn01	*Índice de desempenho financeiro	SNIS - IN012	%
IFn03	*Despesas totais com os serviços por m ³ faturado	SNIS - IN003	R\$/m ³
IFn04	*Indicador de execução orçamentária dos investimentos	-	
IFn05	*Margem líquida com depreciação	SNIS - IN065	%
IFn06	*Indicador do nível de investimentos	-	%
IFn07	*Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	SNIS- IN054	Dias
IFn15	*Índice de evasão de receita	SNIS- IN029	%
IFn16	*Índice de retorno sobre o patrimônio líquido	SNIS- IN066	%
IFn17	*Índice de liquidez corrente	SNIS- IN061	%
IFn19	Custo do tratamento de esgotos	-	R\$/m ³
Relativos aos Clientes e ao Mercado			
ICm01a	*Índice de reclamações de problemas	-	reclamação/lig.
ICm02	*Índice de satisfação dos clientes	-	%
ICm03	*Índice de favorabilidade da imagem da organização	-	%
ICm04	*Índice de conhecimento dos serviços e produtos	-	%
ICm06	Índice de atendimento urbano de esgoto sanitário	SNIS - IN047	%

ICm09	Índice de atendimento total de esgoto sanitário	SNIS - IN056	%
ICm10	*Tempo médio de resposta aos usuários	-	horas/ligação
ICm13	*Índice de ocorrências no órgão de defesa do consumidor	-	Registro de ocorrência/1.000 lig. A e E
ICm14	*Índice de audiências no órgão de defesa do consumidor	-	%
Resultados sociais e ambientais			
ISc01	*Indicador de desenvolvimento social	-	homens-hora/dia
ISc02	*Indicador de sanções e indenizações	-	%
ISc04	*Indicador de mitigação de impactos ambientais	-	%
ISc05	*Incidência de processos administrativos internos julgados como procedentes	-	%
ISc07	*Incidência de processos judiciais recebidos julgados como procedentes	-	ocorrências-ano p/ 1000 hab.
ISc08	*Índice de comprometimento da renda familiar	-	%
ISc08a	*Índice de comprometimento do salário mínimo com a tarifa	-	%
ISc09	Índice de tratamento do esgoto gerado	-	%
ISc10	<i>Índice de Tratamento de Esgoto – SNIS</i>	SNIS - IN016	%
ISc11	*Índice de unidades operacionais dos SAA e SES licenciados	-	%
Resultados relativos às pessoas			
IPe01	*Índice de produtividade da força de trabalho para os sistemas de água e esgotos	SNIS- IN002	ligações/empregado
IPe02	*Índice de criatividade do pessoal	-	Sugestão implantada/empregado h.ano/empregado
IPe03	*Índice de capacitação anual da força de trabalho	-	%
IPe03a	*Índice de cumprimento do plano de capacitação e desenvolvimento	-	%
IPe03b	*Índice de eficácia de treinamento	-	%
IPe04	*Índice de satisfação dos empregados	-	%
IPe05	*Índice de frequência de acidentes	-	Acidente x milhão/hora
IPe06	*Coeficiente de gravidade de acidentes	-	Dias x milhão/hora
IPe09	*Comprometimento da força de trabalho com as diretrizes	-	%
IPe11	*Índice de produtividade de pessoal total (equivalente)	SNIS - IN102	lig./empregado
IPe12	*Índice de absenteísmo	-	%
Resultados relativos aos processos			
ISp03	<i>Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento</i>	-	%
ISp06	Tempo médio de execução de ligação de esgoto sanitário	-	h/ligação
ISp10	*Tempo médio de execução dos serviços	SNIS - IN083	h/serv. executado
ISp13	Incidência de extravasamentos de esgotos sanitários	SNIS - IN082	extravasamento/km
ISp19	Efetividade da redução de carga poluente do esgoto coletado na rede	-	%
ISp23	<i>Índice de conformidade da quantidade de amostras para aferição de esgoto tratado</i>	-	%
ISp24	<i>Incidência das análises fora do padrão para aferição do esgoto tratado</i>	-	%
ISp26	Reabilitação de coletores de esgotos	-	%/ano
IPa01	*Incidência de atraso no pagamento a fornecedores	-	%
IPa04b	Consumo médio de energia elétrica - esgoto	SNIS - IN059	kWh/metro cúbico
IPa05	*Índice de reparos proativos	-	%

IPa07	*Projetos estratégicos implantados no prazo	-	%
IPa09	*Satisfação dos usuários de informações	-	
IPa10	*Índice de serviços externos executados dentro do prazo	-	%
IPa11	*Índice de maturidade da gestão	-	%
IFr01	*Índice de atraso nas entregas dos fornecedores	-	%
IFr02	*Índice de produtos químicos entregues fora de especificação	-	%
IFr02a	*Índice de produtos e insumos críticos entregues fora de especificação	-	%
IFr07	*Índice de desempenho de prestadores de serviço	-	%

* indicadores utilizados para os serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água
Em *itálico*: IDs que podem se relacionar a estações de tratamento de esgotos
Fonte: ABES (2020).

2.2.1.13 Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará (ARCE)

A Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará se destaca como pioneira na regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. A ARCE é uma autarquia especial criada em 1997 e exerce as atividades de regulação, incluindo a fiscalização, sobre a qualidade e os serviços de água e esgoto prestados pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) (ARCE, 2020).

Em 2011, a Agência lançou o Manual de Indicadores de Performance para o Setor de Saneamento Básico, propondo um conjunto indicadores de desempenho para avaliação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pela Cagece. O objetivo da ARCE foi promover o *benchmarking* e estimular a busca das melhores práticas.

Após o período de implantação do Sistema de Avaliação de Desempenho dos Serviços Públicos de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário ocorrido em 2013, a ARCE revisou a Resolução ARCE nº 167 e o Manual de Indicadores de Desempenho em 2017, baseando-se para isso na Regulação *Sunshine*. A Regulação *Sunshine* é uma prática regulatória baseada na medição (através de indicadores), comparação e discussão pública dos resultados do desempenho dos prestadores de serviço. Dessa forma, os resultados da avaliação são publicados em relatórios de prestação dos serviços, onde qualquer *stakeholder* tem fácil acesso e compreensão.

Assim, desde 2017 o Sistema de Avaliação é regido pela Resolução ARCE nº 222, a qual define as três dimensões essenciais que os indicadores de desempenho estão organizados (ARCE, 2017), sendo elas:

- Prestação de Serviços: este grupo de indicadores visa dar um melhor conhecimento sobre as condições de prestação dos serviços de abastecimento

de água e esgotamento sanitário e avaliar o nível de atendimento dos interesses dos Usuários, em particular, aspectos relacionados com a acessibilidade e a qualidade do serviço que lhes é prestado;

- Gestão Empresarial: este grupo de indicadores pretende avaliar a sustentabilidade econômico-financeira dos serviços;
- Sustentabilidade Ambiental: este grupo de indicadores possibilita medir o nível de proteção do ambiente e dos recursos utilizados associados à atividade do Prestador de Serviços.

As três dimensões definidas agregam diferentes indicadores de performance, compreendendo doze indicadores para o serviço de abastecimento de água e seis para o serviço de esgotamento sanitário (Tabela 15).

Tabela 15 - Indicadores de desempenho propostos pela ARCE

Código	Indicador	Unidade
Esgoto		
IE01	Índice de cobertura urbana de esgoto	%
IE02	Índice de atendimento urbano de esgoto	%
IE03	Acessibilidade econômica	%
IE04	Índice de reclamações	reclamações/mil ligações
IE05	Extravasamentos de esgotos por extensão de rede	extravasamentos/Km
IE06	Índice de produtividade de pessoal total - equivalente	ligações/empregado

Fonte: ARCE (2017).

2.3 Análise Multicritério de Apoio à Decisão

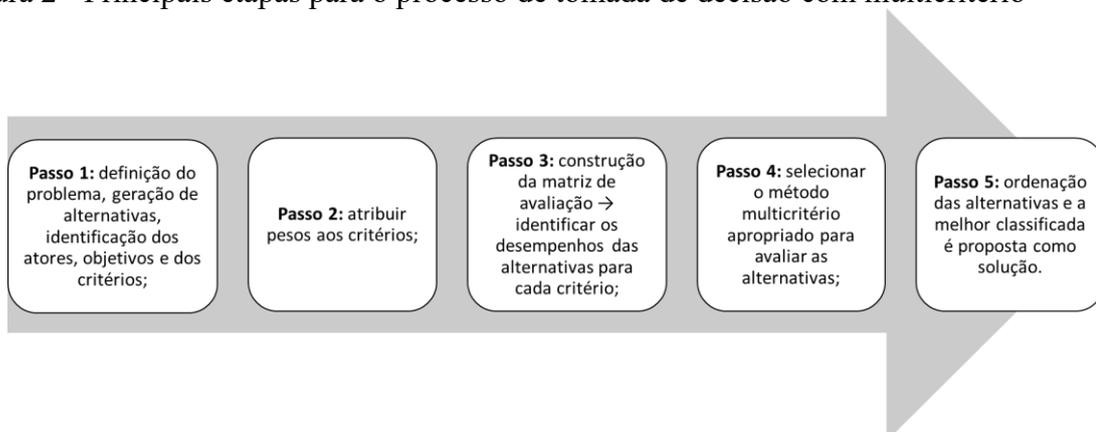
A Análise Multicritério de Apoio à Decisão (*Multi Criteria Decision Analysis - MCDA*) pode ser definida como uma abordagem que leva em consideração os prós e os contras de uma pluralidade de pontos de vista. O objetivo da MCDA é desenvolver métodos e ferramentas para auxiliar na tomada de decisão na presença de múltiplos critérios e frequentemente conflitantes (BUTCHART-KUHLMANN *et al.*, 2018; SADOK *et al.*, 2008). Segundo Gomes (1999), as metodologias multicritério de apoio à decisão objetivam auxiliar analistas e decisores, em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades, sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre, normalmente, quando coexistem interesses em conflito.

A MCDA pode ser descrita como um processo recursivo não linear, incluindo quatro etapas principais: estruturar o problema de decisão; articular e modelar as preferências;

agregar as avaliações alternativas (preferências); e, fazer recomendações (BUTCHART-KUHLMANN *et al.*, 2018; SADOK *et al.*, 2008). Rivas (2016) define as seguintes etapas como as principais para o processo de tomada de decisão com multicritério (Figura 2):

- passo 1 - definir o problema, gerando alternativas e estabelecendo critérios: um problema de tomada de decisão deve começar pela definição clara do problema, discernindo as alternativas, identificando os atores, os objetivos e quaisquer pontos de conflito, juntamente com as restrições, o grau de incerteza e as questões-chave. Após isto, o problema pode ser moldado indicando os critérios de avaliação;
- passo 2 - atribuir critérios de pesos: os pesos mostram a importância relativa dos critérios do problema multicritério em questão;
- passo 3 - construção da matriz de avaliação: fase em que o modelo é construído a partir da "essência" do problema. No final desta etapa, o problema pode ser expresso na forma de uma matriz, onde é possível identificar os desempenhos das alternativas para cada critério;
- passo 4 - selecionar o método apropriado: selecionar e aplicar o método multicritério ao problema em questão, a fim de avaliar as alternativas. Os dados e o grau de incerteza são fatores-chave para a escolha entre os diversos métodos;
- passo 5 - ordenação das alternativas: o *ranking* das alternativas é ordenado e a alternativa melhor classificada é proposta como uma solução.

Figura 2 - Principais etapas para o processo de tomada de decisão com multicritério



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

2.3.1 Componentes de um problema multicritério

Vários componentes exercem ação em um problema multicritério, tais como (LEHNHART, 2016):

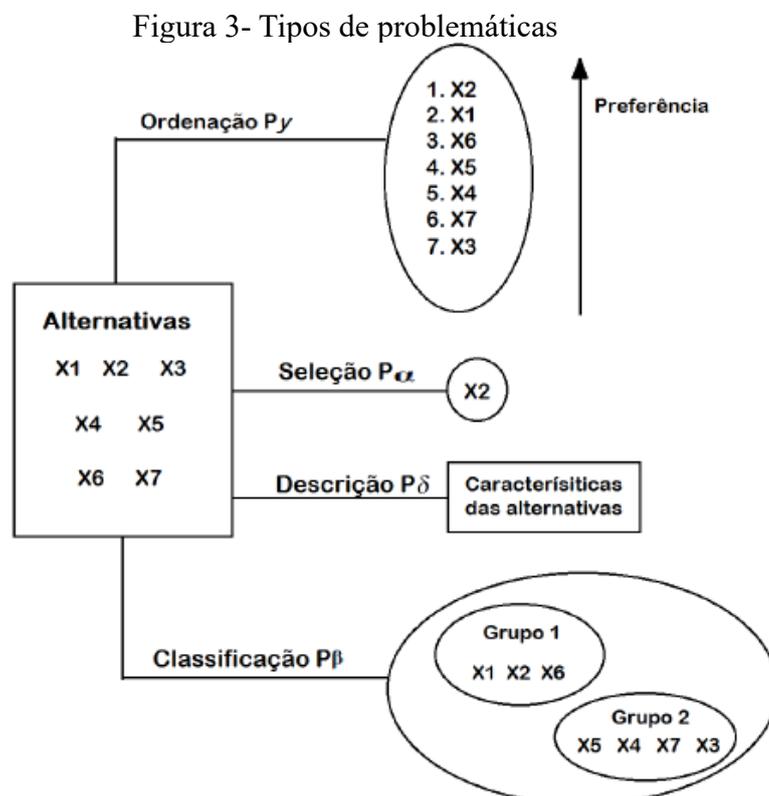
- i. decisor: é o indivíduo que, direta ou indiretamente, proporciona o juízo de valor final, tendo por objetivo identificar a melhor escolha;
- ii. alternativas: são ações globais que podem ser avaliadas isoladamente. Podem representar diferentes cursos de ação, diferentes hipóteses sobre a natureza de uma característica, variados conjuntos de características;
- iii. critério: é uma função de valor real sobre um conjunto de alternativas, tal que é significativo comparar duas alternativas a e b de acordo com um determinado ponto de vista sobre uma única base de dois números $g(a)$ e $g(b)$;
- iv. modelo: refere-se à representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade;
- v. atributo: refere-se a características, fatores, qualidades e desempenho de uma alternativa em um processo de decisão. Está ligado ao objetivo e é representado por critérios;
- vi. estrutura de preferências: tradicionalmente, define-se dois tipos de relações de preferência, a preferência estrita e a indiferença, e uma terceira, introduzida por Roy (1996), a de incomparabilidade;
 - preferência estrita: se a é preferível a b ($a \mathbf{P} b$), representa a existência de fatores que provam o favorecimento da alternativa a em relação à alternativa b ;
 - indiferença: se a é indiferente a b ($a \mathbf{I} b$), representa que não existe diferença na escolha entre duas alternativas;
 - incomparabilidade: ocorre em casos quando não é possível comparar duas ações a e b ($a \mathbf{R} b$).

2.3.2 Tipos de problemáticas

A depender da finalidade do problema, pode-se considerar quatro tipos de problemática multicritério (CAMPOS, 2011; ROY, 1996):

- Problemática de seleção ($P\alpha$): procedimento de seleção da melhor alternativa ou subconjunto das melhores alternativas;
- Problemática de classificação ($P\beta$): procedimento de alocar cada ação conforme uma classe ou categoria. As alternativas são classificadas de acordo com normas estabelecidas e o resultado do processo está na organização ou triagem das ações;
- Problemática de hierarquia ($P\gamma$): consiste em ordenar as ações, da mais preferida para a menos preferida, de forma a ser possível determinar ações que possam ser consideradas desejáveis ou suficientemente satisfatórias;
- Problemática de descrição ($P\delta$): descrever e relatar as consequências das possíveis ações. As ações são organizadas com todas as informações necessárias para que o decisor possa compreender melhor as características de cada ação.

A Figura 3 ilustra as quatro problemáticas descritas. Ressalta-se que essas problemáticas não são independentes umas das outras, sendo possível fazer uso de mais de um tipo em um problema multicritério. Em particular, a ordenação das alternativas ($P\gamma$) pode servir de base para resolver problemas do tipo $P\alpha$ ou $P\beta$ (CAMPOS, 2011; GOMES; GOMES, 2014).



Fonte: Adaptado de Doumpos e Zopounidis (2002) *apud* Campos (2011).

2.4 Métodos multicritério de apoio à decisão

A escolha de um método de MCDA dependerá da natureza do problema a ser analisado, da familiaridade do analista com determinado método e da existência de recursos necessários à sua aplicação. Os métodos de MCDA diferem pela forma como a ideia de múltiplos critérios é operacionalizada. Em particular, cada método apresenta as suas próprias propriedades, em relação à maneira de avaliar critérios, a aplicação e cálculo de pesos, o algoritmo matemático utilizado, o modelo para descrever o sistema de preferências do indivíduo para a tomada de decisões, a maneira de lidar com a incerteza incorporada no conjunto de dados, bem como a capacidade de permitir que as partes interessadas participem da tomada de decisões (RIVAS, 2016).

Sadok *et al.* (2008) enfatizam que há dezenas de taxonomias de métodos de MCDA disponíveis, com base em uma série de critérios, como ponto de partida para o processo de seleção, incluindo:

- o número de alternativas consideradas: distribuição discreta *vs.* contínua de alternativas;
- nível de medição de informação dos critérios: qualitativo *vs.* quantitativo, e o nível de incerteza;
- métodos usados para construir o modelo de preferência: abordagem de análise de decisão matemática *vs.* abordagem de inteligência artificial;
- modo de agregação dos critérios: agregação completa, parcial ou local;
- grau de compensação entre os critérios;
- a natureza descritiva, prescritiva, construtiva ou normativa da tomada de decisão.

Vincke (1989) classifica os métodos multicritério em três famílias: métodos interativos (programação matemática multiobjetivo), métodos baseados na Teoria da Utilidade Multiatributo e métodos seletivos (*outranking methods*).

No campo de abordagens dos métodos multicritério de apoio à decisão, há duas escolas de pensamento claramente distintas: a Escola Europeia, fundada por Bernard Roy, que promoveu o conceito de *outranking*, e a Escola Americana, inspirada no trabalho de Keeney e Raiffa, que se refere a funções de valores multiatributos e à Teoria da Utilidade Multiatributo (LEHNHART, 2016).

Os métodos inspirados pela Escola Francesa ou Escola Europeia utilizam as relações de sobreclassificação, superação ou *outranking* para avaliar alternativas discretas. Esses métodos permitem uma modelagem mais flexível do problema, pois não admitem necessariamente a comparabilidade entre todas as alternativas, além de não impor ao analista uma estruturação hierárquica dos critérios existentes (GOMES, 2009). As famílias de métodos ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) são as duas principais representantes dessa escola (CAMPOS, 2011).

Os métodos da Escola Americana se caracterizam por auxiliar o decisor a construir, conforme suas preferências, as funções utilidades, que são desenvolvidas ao longo do processo decisório e buscam fazer representações matemáticas de julgamentos humanos, podendo fazer uso de gráficos e/ou escalas numéricas (GOMES; GOMES, 2014). Exemplos de métodos bastante difundidos da Escola Americana são os métodos de análise de hierarquia, como o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a Teoria de Utilidade Multiatributo (*Multiattribute Utility Theory* – MAUT).

O problema multicritério também pode ser visto sob os enfoques prescritivo e construtivo. No enfoque construtivo, há perspectiva de que as decisões são a tradução dos valores do(s) decisor(es), com a necessidade de uma interação que efetive a comunicação e a participação dos atores em todas as fases problemáticas do apoio à decisão. Assim, as preferências dos atores são construídas durante o próprio processo de tomada de decisão (ENSSLIN, 1998). Destaca-se que os métodos multicritério que adotam a visão construtivista são, classicamente, inseridos dentro da Escola Francesa.

No enfoque prescritivo, o processo de apoio à decisão não conta com os decisores em todas as suas fases, uma vez que percebidas pelo facilitador as percepções dos decisores, esse pode propor modelos que podem ou não ser aceitos pelos decisores. Portanto, estabelece-se um processo dinâmico entre facilitador e decisores até que se chegue a um consenso sob qual modelo consegue melhor equilibrar seus valores, muitas vezes conflitantes. O enfoque prescritivo está muitas vezes associado à Escola Americana.

Os problemas de decisão multicritério são classificados em discretos ou contínuos. Os problemas discretos implicam em um conjunto finito de alternativas, ao passo que o contínuo se caracteriza por um número infinito de alternativas (CAMPOS, 2011). Os problemas discretos são estudados pelos chamados métodos de análise de decisão multiatributos. Entre os métodos discretos, destacam-se: MAUT, AHP, ELECTRE e PROMETHEE. Os métodos contínuos são aqueles de otimização multicritério ou métodos interativos. Suas aplicações

envolvem programação matemática com mais de uma função-objetivo (CAMPOS, 2011). Entre os métodos multicriteriais contínuos, pode-se citar a Programação por Metas (*Goal Programming*) e o Método das Restrições (*Constraint Method*).

Outra classificação para os métodos multicriteriais diz respeito à análise de compensação entre os critérios. A compensação questiona se as vantagens de um critério podem ser ou não trocadas pelas desvantagens de outro. No caso em que o decisor deve optar por determinado critério em detrimento de outro, é necessário estabelecer uma relação de *trade-offs* ou compensação, ou seja, um critério de maior desempenho pode ser compensado por um de menor desempenho. No caso não compensatório, as alternativas são avaliadas em pares pelas relações de preferência, indiferença ou incomparabilidade, não sendo permitido *trade-offs*. A teoria da utilidade multiatributo ou métodos considerados da Escola Americana são considerados compensatórios enquanto os métodos de superação ou da Escola Europeia são vistos como não compensatórios (CAMPOS, 2011).

Os métodos da série ELECTRE (I, IS, II, III, IV e TRI) são baseados em relações de superação para decidir sobre a determinação de uma solução, que mesmo sem ser ótima pode ser considerada satisfatória, e obter uma hierarquização das ações. Eles se sustentam em três conceitos fundamentais: concordância, discordância e valores-limite (*outranking*), utilizando um intervalo de escala no estabelecimento das relações-de-troca na comparação aos pares das alternativas. A família ELECTRE pode ser aplicada para três tipos de problemática ($P\alpha$, $P\beta$, $P\gamma$). As versões I e IS solucionam problemas de seleção, enquanto as versões II, III e IV de ordenação e TRI de classificação (SANCHES, 2009).

O resultado do método ELECTRE I se dá como um conjunto parcialmente ordenado das alternativas, denominado Kernel. A ordenação completa das alternativas é obtida por meio de procedimentos previstos no ELECTRE II. O método ELECTRE III é indicado nas situações de incerteza e imprecisão na avaliação de alternativas, onde há diferenças consideráveis de pontos de vista. Utiliza as relações já estabelecidas nos métodos anteriores, associando aos conceitos de preferência fraca, estrita e de veto, para estabelecer índices de credibilidade, que servem de base para o ordenamento das alternativas. O método ELECTRE IV não usa as relações de concordância e discordância, nem de pesos para os critérios, calculados nos métodos anteriores, mas baseia-se no uso de pseudocritérios, que são critérios associados a limiares de preferência estrita e de indiferença. Finalmente, o método ELECTRE TRI faz um procedimento de triagem para a alocação das alternativas em categorias preestabelecidas, por meio de comparações com uma referência estável (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2011).

Os métodos PROMETHEE (I, II, III, IV, V e VI) atuam na construção de relações de superação valorizadas, incorporando conceitos e parâmetros que possuem alguma interpretação física ou econômica facilmente compreensível pelo decisor. Esta abordagem faz uso abundante do conceito de pseudocritério, já que constrói o grau de superação entre cada par de ações ordenadas, levando em conta a diferença de pontuação que essas ações possuem a respeito de cada atributo (SANCHES, 2009). No método PROMETHEE I, a ordenação obtida corresponde a um ordenamento parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Isso não ocorre no PROMETHEE II, em que se obtém um ordenamento total, porque esse método não permite a relação de incomparabilidade. Em relação ao método PROMETHEE III, obtém-se uma ordem por intervalos, pois esse método trabalha com limites de variáveis (PAULA, 2013).

O método PROMETHEE IV, por sua vez, generaliza o PROMETHEE II para o caso de um número infinito de alternativas. O método PROMETHEE V amplia a aplicação do método PROMETHEE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, dentre as consideradas em razão de restrições existentes no problema. Finalmente, o método PROMETHEE VI auxilia o agente de decisão na determinação do vetor de pesos dos critérios que melhor expresse suas preferências. Esse método admite analisar o grau de complexidade do problema estudado por meio de um procedimento gráfico denominado GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*), que permite verificar a maior ou menor influência dos pesos dos critérios nos resultados finais (PAULA, 2013).

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é um dos métodos mais amplamente utilizados no apoio à tomada de decisão, permitindo estruturar, hierarquicamente, qualquer problema complexo, com múltiplos critérios, decisores e períodos. O ingrediente principal, que tem levado as aplicações com o AHP a terem sucesso, é o poder de incluir e medir fatores importantes, qualitativos e/ou quantitativos, sejam eles, tangíveis ou intangíveis, e a facilidade de uso (SANCHES, 2009). Esse método tem como propósito organizar os objetivos ou critérios em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e no nível inferior da hierarquia encontram-se as alternativas. As comparações entre elas são feitas par a par entre os elementos da hierarquia sejam as alternativas e os critérios de decisão (CAMPOS, 2011).

A MAUT tem como princípio o conceito de agregação dos diferentes critérios em única função-utilidade que deve ser otimizada (CAMPOS, 2011). Esse método considera que, para cada alternativa avaliada, existe um conjunto de critérios que a caracteriza e, para cada um dos critérios, existe uma função utilidade específica que associa uma medida de valor a esse critério. A função utilidade multiatributo é a agregação das diferentes funções utilidade de cada

critério, ponderadas conforme o grau de importância do critério (PAULA, 2013). Assim, o uso da MAUT permite obter a melhor solução para um problema decisório complexo, identificar o conjunto das melhores soluções para tal problema ou simplesmente ordená-las da melhor para a pior delas (GOMES, 2009).

Segundo Campos (2011), na literatura há uma variedade de métodos multicriteriais, entre os quais é possível citar além dos já mencionados: ANP (*Analytic Network Process*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), entre outros.

Os métodos de apoio à decisão são bastante apropriados à tomada de decisão na área de saneamento, pois boa parte dos problemas ligados à área são caracterizados por: vários tipos e níveis de incerteza, diversos objetivos multidimensionais, dificuldade na identificação do decisor e uma estrutura sofisticada de alternativas, que, frequentemente, combina várias ações elementares com vários horizontes de planejamento – curto, médio e longo prazos (PAULA, 2013).

2.5 Técnicas de consenso

Apoio à decisão em grupo visa fornecer assistência formal a um grupo à medida que ele se move em direção a uma decisão, incentivando a comunicação focada sobre as alternativas possíveis, a escolha dos critérios, a medição do desempenho, os pesos a serem dados aos critérios e a avaliação geral das alternativas. As técnicas básicas de apoio à decisão em grupo estão disponíveis há muitos anos (KILGOUR; CHEN; HIPEL, 2010).

As técnicas de consenso ou técnicas de decisão em grupo buscam obter o grau de consenso ou concordância dos especialistas sobre um problema proposto, utilizando resultados de pesquisas anteriores ao invés de deixar a decisão para um único profissional. Essas técnicas não têm um desenho amostral rigoroso no que se refere à seleção das pessoas que farão parte da amostra (escolhidas sem a intervenção do acaso) ou na determinação do tamanho da amostra (não há representatividade numérica da comunidade de profissionais que poderiam opinar). Destacam-se pela utilização de questionários para a coleta de informações e da técnica quantitativa, por meio de medidas estatísticas de agregação, para obter seus resultados (ANDRÉS, 2000).

Bourrée, Michel e Salmi (2008) afirmam que os estudos de consenso são cada vez mais utilizados como métodos de tomada de decisão, por apresentarem menor custo de

produção do que outros métodos (observação, experimentação, modelagem) e fornecer resultados mais rapidamente.

As técnicas clássicas que podem apoiar o processo de toma de decisão em grupo são *Brainstorming*, Técnica de Grupo Nominal (*Nominal Group Technique*) e o Método Delphi (KILGOUR; CHEN; HIPEL, 2010). Esses métodos de consenso não devem ser vistos como método científico para a criação de novos conhecimentos, mas sim como processos para fazer o melhor uso das informações disponíveis, sejam esses dados científicos ou a sabedoria coletiva dos participantes (SANDREY; BULGER, 2008).

2.5.1 *Brainstorming*

Segundo Wilson (2010), *Brainstorming* é um método individual ou em grupo para gerar ideias, aumentar a eficácia criativa ou encontrar soluções para problemas. No *Brainstorming* em grupo, os participantes geram ideias sobre um determinado tópico ou problema em um ambiente sem julgamentos, seguindo um conjunto de regras básicas. O procedimento básico para *Brainstorming* em grupo envolve os seguintes pontos:

- selecionar um grupo de 3 a 10 participantes com diferentes origens;
- apresentar um problema, pergunta ou tópico claro;
- solicitar ao grupo a geração de soluções ou ideias sem críticas;
- discutir, criticar e possivelmente priorizar os resultados do *Brainstorming* para a ação subsequente (fase convergente, onde há uma separação de todas as ideias para aquelas que são julgadas como mais aplicáveis a um problema).

Variações neste procedimento de *Brainstorming* de grupo podem ser usadas para reunir ideias de grandes grupos, indivíduos geograficamente dispersos ou participantes que são inibidos por sua personalidade, ambiente social ou normas culturais. Existem três princípios fundamentais para essa técnica:

1. visar a quantidade absoluta. Quantidade, não qualidade, é o único objetivo do *Brainstorming*. Qualquer coisa que limite o número de ideias é contrária à intenção da técnica. Todos os recursos dos participantes devem ser focados na geração de tantas ideias quanto possível;
2. adiar o julgamento sobre a qualidade das ideias. Não criticar ou elogiar as ideias dos outros implicitamente ou explicitamente;

3. incentivar ideias que venham à mente e novas ideias formadas pela síntese de ideias existentes.

De acordo com Campos (2011), a técnica *Brainstorming* pode ser utilizada no apoio à decisão com múltiplos critérios. Aliar essa técnica com multicritério pode contribuir para estruturação do problema para formulação de alternativas ou constituição dos critérios de decisão.

2.5.2 Técnica de Grupo Nominal

A Técnica de Grupo Nominal (TGN) é um método de pesquisa exploratória qualitativa/quantitativa frequentemente usado em situações que requerem resolução de problemas complexos, tomada de decisão, definição de prioridades e obtenção de consenso (BROMLEY, 2014). É um método estruturado para capturar e agregar opiniões emergentes de um grupo de especialistas que fisicamente coincidem em termos de lugar e tempo (LANDETA; BARRUTIA; LERTXUNDI, 2011).

Como um método de consenso, visa determinar a extensão do acordo sobre uma questão particular entre um grupo de participantes, ao mesmo tempo em que supera os problemas associados aos processos de tomada de decisão do grupo. A terminologia TGN deriva do fato de que os participantes estão nominalmente em grupo, mas estão trabalhando individualmente durante a primeira etapa (HUGÉ; MUKHERJEE, 2018). A TGN funciona da seguinte forma:

1. o coordenador do estudo apresenta uma pergunta ou assunto para discussão;
2. os especialistas, em silêncio e individualmente, elaboram uma lista de ideias, propostas ou respostas por escrito;
3. em seguida, os especialistas expõem e esclarecem as ideias individuais uma a uma, revezando-se e sem comentários de nenhum dos presentes para julgar as propostas; também podem fazer contribuições que lhes ocorram durante esse processo, mesmo que não tenham sido previamente escritas;
4. há avaliação individual e anônima dos membros do grupo, bem como a classificação de todas as ideias que aparecem na dinâmica de acordo com uma escala quantitativa previamente estabelecida; e,
5. integração e exposição dos resultados pelo coordenador do estudo.

A TGN é particularmente útil para a geração de ideias adequadas, desenvolvimento de soluções e identificação de problemas e prioridades de ação. É menos recomendável para problemas que requerem uma síntese de informações ou consenso do grupo. A necessidade de presença física e um limite do número de participantes (idealmente, entre 5 e 9) são consideradas desvantagens da técnica. Outra possível desvantagem é seu caráter face a face, que pode desencadear problemas sociais, se alguns membros do grupo não aceitarem a natureza altamente estruturada das suas intervenções ou dos resultados da avaliação (LANDETA; BARRUTIA; LERTXUNDI, 2011).

2.5.3 Método Delphi

O método Delphi se originou de uma série de estudos que a *Rand Corporation* conduziu na década de 1950. O objetivo foi desenvolver uma técnica para obtenção de um consenso mais confiável de um grupo de especialistas. De acordo com Linstone e Turoff (1975), o método Delphi pode ser caracterizado por estruturar um processo de comunicação em grupo, de forma que permita a um grupo de indivíduos, como um todo, lidar com um problema complexo, evitando seu confronto direto e mantendo suas interações.

Zangenehmadar e Moselhi (2016) frisam que é um método de tomada de decisão baseado em opiniões de especialistas (comumente chamados de painelistas, participantes ou respondentes) que se concentram em um determinado assunto para analisar, avaliar e prever uma solução. Pode ser empregado para determinar fatores relevantes e priorizá-los com base em sua importância no processo de tomada de decisão.

Desde a década de 60, é utilizado nas esferas acadêmica e empresarial. É empregado principalmente como técnica de planejamento e consenso em situações de incerteza, em que não é possível utilizar outras técnicas baseadas em informações objetivas. A flexibilidade e simplicidade do método ocasionaram o seu uso em diferentes contextos geográficos e temáticos (LANDETA; BARRUTIA; LERTXUNDI, 2011).

Essa técnica se apoia na premissa de que as opiniões de um grupo de especialistas são mais válidas do que as de um especialista individual (GBEDEDU; LIYANAGE, 2020). Os pesquisadores a empregam principalmente nos casos em que a informação de julgamento é indispensável (ROWE; WRIGHT, 2001). No Delphi, não é necessário o encontro físico dos especialistas, logo, a pesquisa também pode se beneficiar do julgamento de especialistas internacionais (ZANGENEHMADAR; MOSELHI, 2016).

O Delphi é considerado uma maneira rápida, não onerosa e relativamente competente para obtenção do consenso das opiniões nas questões que exigem julgamento (HEIKO, 2012). No entanto, alguns pesquisadores acreditam que é um processo muito demorado e trabalhoso (ZANGENEHMADAR; MOSELHI, 2016). As principais características do Delphi são (LINSTONE; TUROFF, 1975; ROWE; WRIGHT, 2001; ZANGENEHMADAR; MOSELHI, 2016):

- painel de especialistas discutindo uma questão de forma estruturada;
- anonimato das declarações e argumentos ao longo do processo;
- sucessivas iterações com *feedback* controlado das respostas da rodada anterior à atual;
- representação estatística das respostas do grupo por meio de análise quantitativa e interpretação de dados.

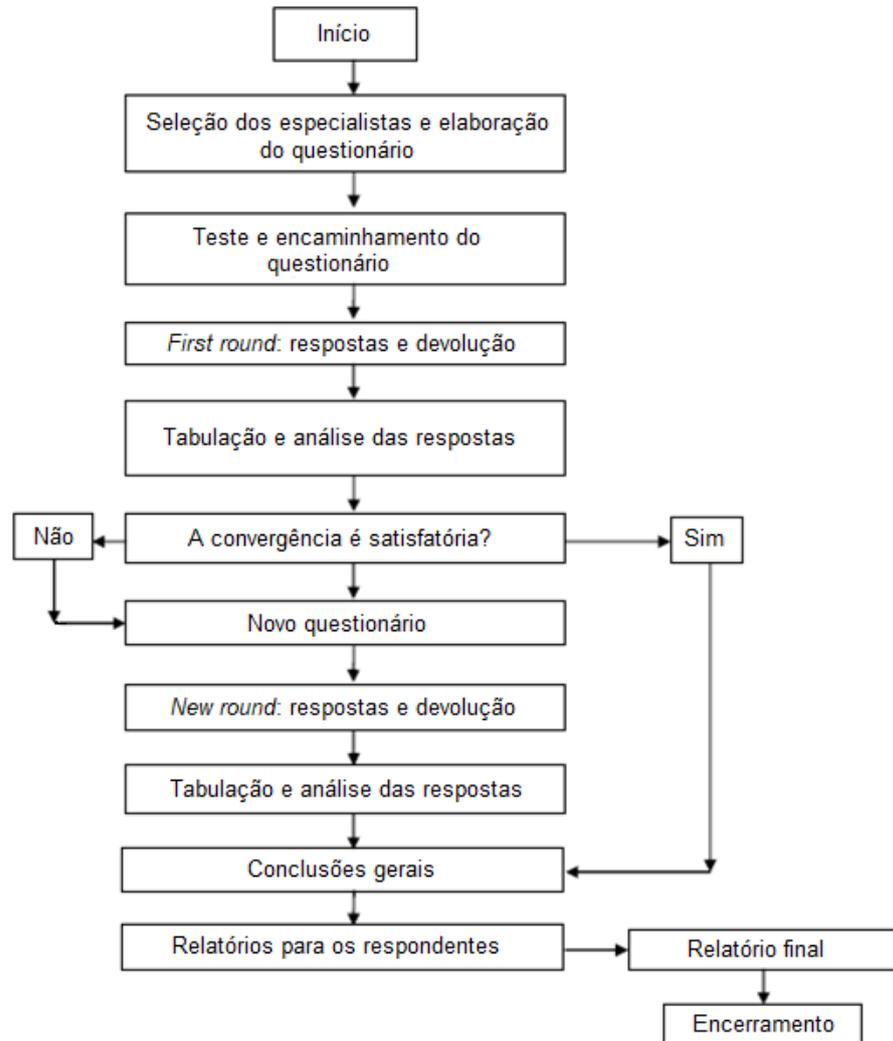
A abordagem do Delphi evita o confronto direto de especialistas, o que é considerado uma vantagem chave do método. Dalkey e Helmer (1963) observaram que a interação controlada parece ser mais conducente ao pensamento independente por parte dos especialistas, ajudando-os na formação gradual de uma opinião ponderada. O confronto direto, por outro lado, muitas vezes induz a formulação apressada de noções preconcebidas, uma inclinação para fechar a mente a novas ideias, uma tendência a defender uma posição tomada ou uma predisposição para ser influenciado por opiniões persuasivas dos outros.

Os questionários são uma ferramenta útil para a coleta de dados no método Delphi (CHANG *et al.*, 2011). São enviados aos especialistas por correio ou e-mail. As pesquisas Delphi por correio podem ser trabalhosas e demoradas, dificultando o impacto do estudo, enquanto o formato online reúne múltiplas perspectivas, reduz a carga de processamento e a duração do estudo (COLEMAN *et al.*, 2017).

Esses questionários são derivados da literatura e/ou sugeridos por especialistas, devendo ser preciso e respondível (ZANGENEHMADAR; MOSELHI, 2016). O primeiro questionário é muitas vezes elaborado de forma aberta para facilitar a geração de ideias e para obter a opinião dos especialistas sobre o tema. Um novo questionário é desenvolvido a partir da análise dos dados da rodada anterior e enviado a cada painelista com as respostas dos outros participantes para revisão e reconsideração de suas respostas iniciais, se necessário. A pesquisa continua até que a convergência esperada seja alcançada ou a lei dos retornos decrescentes seja

estabelecida (o número de retornos diminui) (GBEDEDU; LIYANAGE, 2020). A Figura 4 ilustra as etapas de execução do método Delphi.

Figura 4 - Etapas do método Delphi



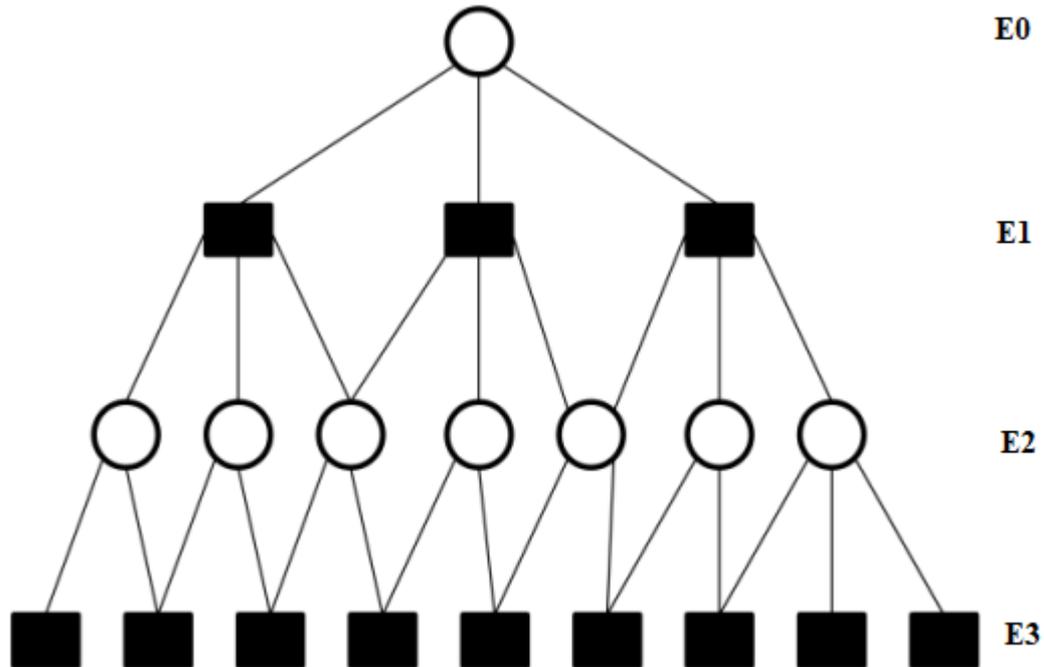
Fonte: Adaptado de Wright e Giovinazzo (2001).

2.5.3.1 Técnica de amostragem em bola de neve (Snowball Sampling)

A seleção e o recrutamento de painelistas é uma fase desafiadora e demorada de um estudo Delphi. Rowe e Wright (2011) consideram a combinação do método Delphi com outras técnicas para melhorar o recrutamento e a retenção do painalista durante as rodadas subsequentes. A técnica de amostragem bola de neve (*Snowball Sampling*) é comumente utilizada no tipo de investigação que aplica o método Delphi. Assim, a técnica *Snowball* pode ser aplicada como uma estratégia de recrutamento adicional ao painel e ajudar com o problema da recusa de especialistas em aderir ao estudo (NYGREN; TAPIO; QI, 2017).

A abordagem de amostragem em bola de neve pode ser uma maneira rápida e adequada de identificar as partes interessadas. A técnica *Snowball*, a qual integra os métodos de amostragem não probabilísticos, normalmente começa com um especialista que possui as características desejadas à pesquisa e usa a conexão pessoal desse indivíduo para recrutar outros especialistas com características compartilhadas (Figura 5).

Figura 5 - Representação da técnica de amostragem snowball



E0: especialista convidado pelo pesquisador; E1: especialistas indicados pelo E0; E2: especialistas indicados pelos E1; E3: especialistas indicados pelos E2.

Fonte: Adaptado de Zheng *et al.* (2012).

No entanto, esta técnica produz poucas ideias diferentes ou painelistas distintos, pois os especialistas identificados tendem a nomear indivíduos que consideram exemplares para si próprios (NYGREN; TAPIO; QI, 2017). Eventualmente, o quadro de amostragem se torna saturado, ou seja, não há novos nomes sugeridos ou os nomes encontrados não trazem informações novas ao quadro de análise (VINUTO, 2014).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, apresentam-se as etapas metodológicas, objetivando-se desenvolver modelo de avaliação das ETEs de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará. Para isso, estruturou-se um conjunto de IDs mais relevantes ao contexto das ETEs, de modo a aferir o desempenho dessas instalações quanto a operação e o atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados. Dessa forma, inferir-se-á o possível comprometimento da qualidade dos corpos hídricos receptores desses efluentes.

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 *Município de Fortaleza*

O município de Fortaleza, capital do estado do Ceará, está localizado na latitude 3°43'02" S e longitude 38°32'35" W. Possui 314,93 km² de área total e altitude de 16 m acima do nível do mar, sendo limítrofe ao norte com Oceano Atlântico e Caucaia; ao sul com Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; ao leste com Eusébio, Aquiraz e Oceano Atlântico; e, ao oeste com Caucaia e Maracanaú. Abriga atualmente 119 bairros dos mais variados portes e especificidades próprias típicas de um grande centro urbano em processo de transformação contínua (CEARÁ, 2018; FORTALEZA, 2018).

A cidade de Fortaleza vem apresentando um significativo crescimento populacional nas últimas décadas, decorrente do intenso processo de urbanização. De acordo com o Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fortaleza é a quinta cidade mais populosa do país, com uma população de 2.452.185 pessoas, é a capital brasileira com maior densidade demográfica, com 7.786,44 hab/km², e a cidade mais populosa do Ceará. O Panorama Municipal do IBGE de 2018 estimou uma população de 2.686.612 pessoas em 2020 na cidade de Fortaleza, concentrando 29,24% da população total do estado do Ceará (FORTALEZA, 2015; IBGE, 2018).

O regime pluviométrico do município de Fortaleza está associado aos movimentos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (CARLEIAL; ARAÚJO, 2010). O clima de Fortaleza se classifica como tropical quente sub-úmido, com média pluviométrica anual de 1.338 milímetros, umidade relativa em torno de 76% e temperatura média anual entre 26 e 28 °C. Apresenta dois períodos distintos, caracterizando as estações chuvosa e seca. A estação

chuvosa ocorre no primeiro semestre, entre os meses de janeiro e maio e o período de estiagem acontece no segundo semestre (FORTALEZA, 2018).

Os ventos predominam nas direções sudeste e leste, com velocidade média anual de 3,8 m/s, tendo intensidade maior nos meses mais secos, como o mês de setembro, quando a média de velocidade dos ventos chega a superar 4 m/s (FORTALEZA, 2003; FORTALEZA, 2018). Na época mais chuvosa, entre os meses de fevereiro e maio, ocorrem as inundações, em virtude da escassez de áreas verdes e permeáveis na cidade, do excesso de concreto e asfalto, do lixo acumulado nas galerias pluviais e das ocupações indevidas em áreas de risco (FORTALEZA, 2018).

Fortaleza apresenta conformação topográfica constituída de planície litorânea e tabuleiros pré-litorâneos, contendo o complexo vegetacional da zona litorânea e floresta perenifólia paludosa marítima (CEARÁ, 2018). As áreas não planas, formadas por dunas, estão situadas principalmente à leste do município, mais especificamente nas Praias do Futuro e Sabiaguaba e na Barra do Ceará (FORTALEZA, 2003).

3.1.1.1 Bacias hidrográficas no município de Fortaleza

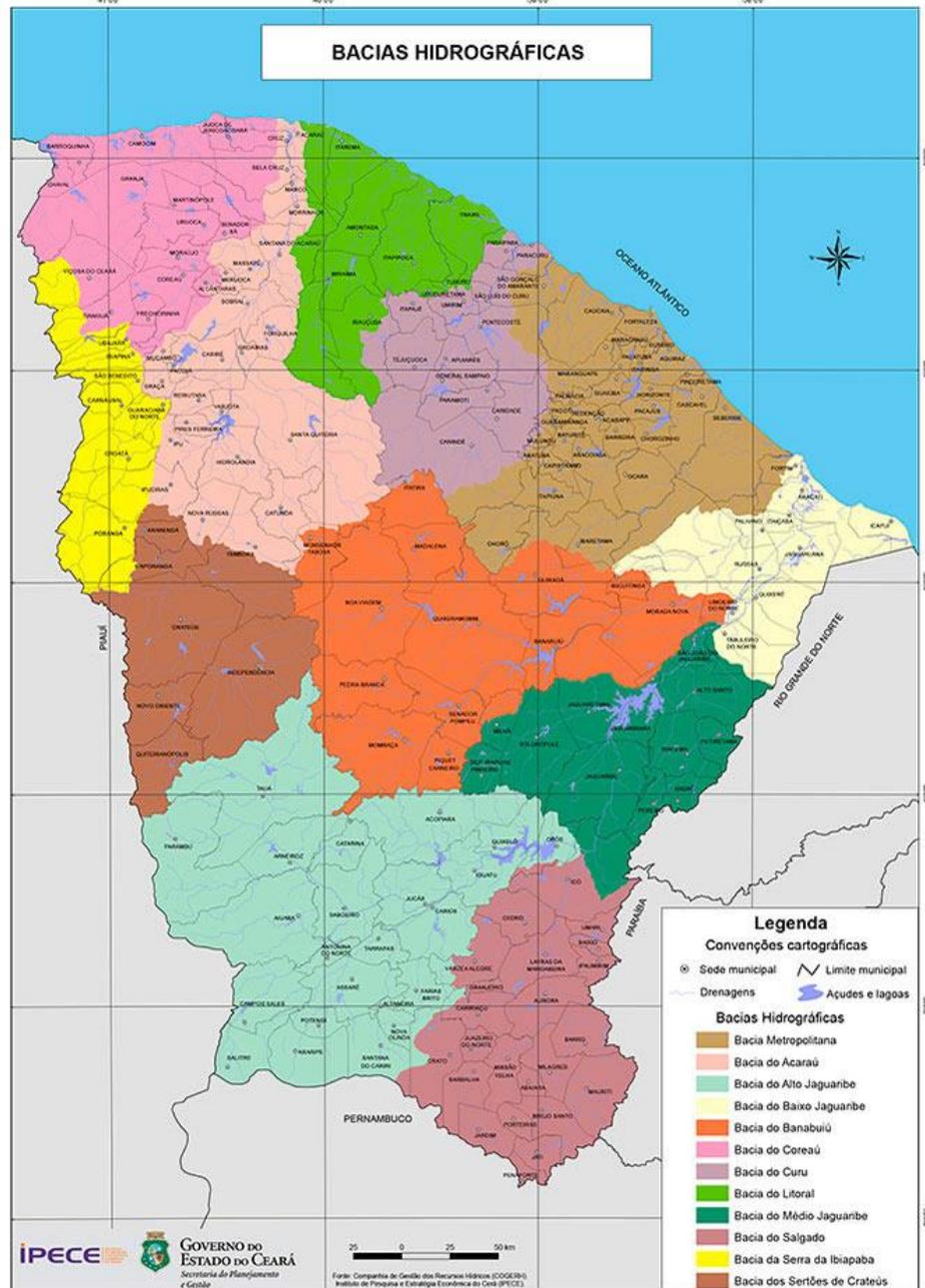
O estado do Ceará, segundo o Plano Estadual dos Recursos Hídricos, está dividido em doze bacias hidrográficas (Figura 6), assim distribuídas: Bacias Metropolitanas, Bacia do Acaraú, Bacia do Alto Jaguaribe, Bacia do Baixo Jaguaribe, Bacia do Banabuiú, Bacia do Coreaú, Bacia do Curu, Bacia do Litoral, Bacia do Médio Jaguaribe, Bacia do Salgado, Bacia da Serra da Ibiapaba e Bacia dos Sertões de Crateús.

O município de Fortaleza está inserido na bacia hidrográfica denominada Bacias Metropolitanas, que têm uma área de drenagem de 15.085 km², correspondente a 10,18% do território cearense, abrigando o mais importante centro consumidor de água do estado, que é a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) (CEARÁ, 2020).

Essa região hidrográfica compreende ao todo 31 municípios, inseridos integral ou parcialmente, agrupados em 4 unidades de trabalho. A saber: **Serra** - Barreira, Acarape, Redenção, Baturité, Pacoti, Palmácia, Guaramiranga, Mulungu e Aratuba; **Sertão** - Capistrano, Aracoiaba, Itapiúna, Choró, Ocara, Ibaretama; **Litoral** - Cascavel, Beberibe, Pindoretama, Eusébio e Aquiraz; **RMF** - Pacajus, Horizonte, Chorozinho, Pacatuba, Guaiúba, Itaitinga, São Gonçalo do Amarante, Caucaia, Maranguape, Maracanaú e Fortaleza. As Bacias Metropolitanas são formadas por 16 bacias independentes, em que se destacam as que têm os rios Choró, Pacoti,

São Gonçalo, Pirangi, Ceará e Cocó como coletores principais de drenagem e os sistemas Ceará/Maranguape e Cocó/Coaçu (CEARÁ, 2020).

Figura 6 - Divisão das bacias hidrográficas do estado do Ceará



Fonte: IPECE (2007).

O município de Fortaleza, especificamente, é drenado por quatro bacias hidrográficas: Bacia da Vertente Marítima, Bacia do Rio Cocó, Bacia do Rio Maranguapinho e Bacia do Rio Pacoti. Essas bacias estão total ou parcialmente inseridas no município (Figura 7). A área compreendida pelas bacias citadas está disponível na Tabela 16.

Comumente, as bacias hidrográficas de Fortaleza são unidades caracterizadas por cursos fluviais de pequeno porte e naturalmente intermitentes, mas perenizados artificialmente pelo aporte de efluentes domésticos e industriais liberados semitratados e/ou *in natura* no sistema hidrográfico (LIMA; SALES; MORAES,2009).

Figura 7 - Bacias hidrográficas do município de Fortaleza



Fonte: Fortaleza (2015).

Tabela 16 - Área de contribuição das bacias hidrográficas de Fortaleza

Bacia	Área (km ²)
Bacia da Vertente Marítima	34,54
Bacia do Rio Cocó	215,9
Bacia do Rio Maranguapinho	84,73
Bacia do Rio Pacoti	3,19

Fonte: Fortaleza (2018).

A Bacia Vertente Marítima está situada na parte norte do município e limita-se ao norte e ao leste com o Oceano Atlântico, ao sul com as bacias do Cocó e Siqueira, e ao oeste com o Rio Ceará. Compreende a faixa de dunas localizada ao longo do litoral, entre os rios Cocó e Ceará, sendo composta por diversas pequenas bacias que apresentam drenagem direta ao oceano. Esta bacia está inserida totalmente na zona urbana de Fortaleza, onde os principais eixos drenantes são os riachos Jacarecanga, Pajeú, Maceió e Papicu. Nessa bacia se encontram

três lagoas: Lagoa do Mel, Lagoa do Papicu e Lagoa Parque da Criança. Dentre as bacias hidrográficas que drenam o município, é a de maior adensamento populacional e predominantemente residencial (FORTALEZA, 2015).

Ocorre uma ocupação generalizada na área, principalmente nos locais de escoamento de águas, sendo este fato e a especulação imobiliária grandes responsáveis pelo aterramento de riachos e lagoas em Fortaleza. Nesta bacia hídrica fazem parte, total ou parcialmente, 26 bairros do município de Fortaleza, como os bairros: Aldeota, Mucuripe, Meireles, Iracema, Moura Brasil, Farias Brito, Centro e parte dos bairros de Benfica, Joaquim Távora, Jacarecanga, Pirambu e Cocó (FORTALEZA, 2015).

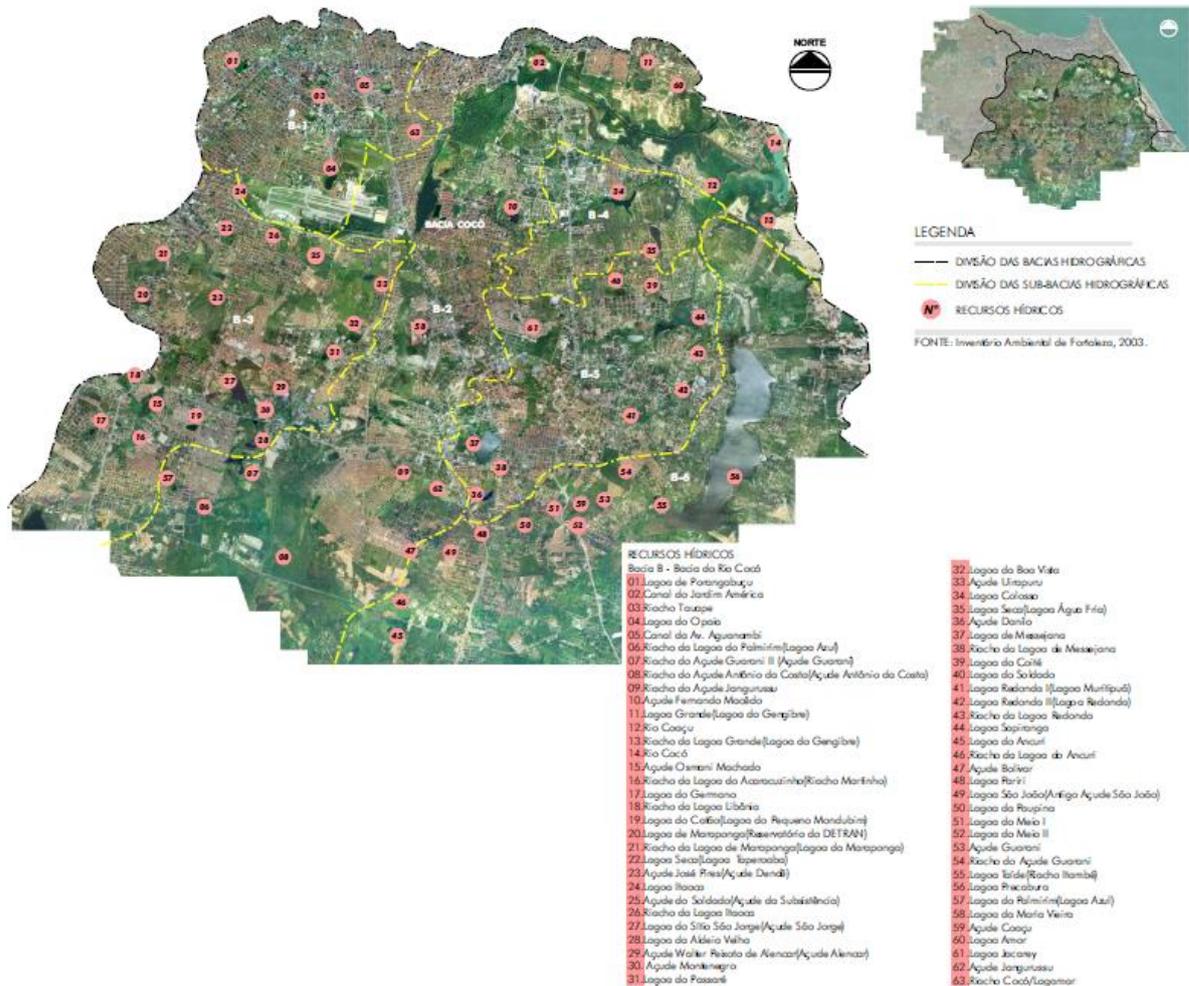
A Bacia do Rio Cocó está situada integralmente na RMF, abrangendo as áreas dos municípios de Fortaleza, Eusébio, Aquiraz, Maranguape, Itaitinga, Maracanaú e Pacatuba. Com cerca de 45 km de extensão, o rio Cocó nasce na vertente oriental da Serra da Aratanha, município de Pacatuba, e desagua no Oceano Atlântico, na praia do Caça e Pesca em Fortaleza (FORTALEZA, 2003).

A Bacia do Rio Cocó, área de abrangência desse estudo, é a maior das quatro bacias hidrográficas no município de Fortaleza, drenando as porções leste, sul e central do município. Em Fortaleza, os mananciais principais são: rio Cocó, lagoas da Messejana, da Parangaba, do Opaia e do Porangabussu e riacho do Tauape (FORTALEZA, 2015).

Desde as suas nascentes em Pacatuba até seu estuário em Fortaleza, adquire diversas denominações, iniciando com o nome de riacho Pacatuba, na Serra da Aratanha, após os primeiros quilômetros e já recebendo contribuições troca o nome para riacho Gavião, quando então alimenta um dos reservatórios que abastece a RMF e após o encontro com o riacho Timbó passa a se chamar Cocó. Em seu percurso, ao longo dos segmentos com várias denominações, o rio drena cerca de 60% das águas da Região Metropolitana de Fortaleza (CEARÁ, 2010).

Os mananciais que compõem a bacia do rio Cocó são conformados por 6 sub-bacias (Figura 8), onde os principais macrodrenantes são os rios Cocó, Coaçu, os canais do Tauape, Jardim América e Aguanambi. Todos os cursos d'água da bacia apresentam caráter intermitente, permanecendo secos no período de estiagem, exceto próximo ao litoral, onde os rios Cocó e Coaçu se tornam semi-perenes. Ocorre ainda, em seu baixo e médio curso, a presença de lagoas perenes e intermitentes, com destaque no eixo do rio Coaçu, para as lagoas da Precabura, Sapiroanga e Messejana. O Cocó sofre influência das marés, que adentram no seu leito por aproximadamente 13 km, formando um estuário alongado e estreito, composto por manguezais (CEARÁ, 2010).

Figura 8 - Bacia do Rio Cocó: recursos hídricos e divisão das sub-bacias



Fonte: Fortaleza (2003).

A Bacia do Rio Maranguapinho, localizada na porção oeste do município, é a segunda maior bacia em extensão do município de Fortaleza e tem como principais mananciais: Rio Maranguapinho, Açude da Agronomia, Riacho do Açude de João Lopes, Riacho Sangradouro do Açude da Agronomia, Riacho da Lagoa do Mondubim e o Riacho Correntes, O rio Maranguapinho é o maior afluente do rio Ceará. Nasce na serra de Maranguape e ao longo de seus 34 km de extensão, passa por outros três municípios (Maracanaú, Caucaia e Fortaleza) até se encontrar com o rio Ceará no Distrito de Antônio Bezerra em Fortaleza (FORTALEZA, 2015).

A Bacia do Rio Maranguapinho está localizada em uma zona predominantemente residencial, apresenta população de classe de renda baixa e uma elevada densidade demográfica. Em seu curso, o rio Maranguapinho passa pelos bairros: Siqueira, Canindezinho, Bom Jardim, Parque São José, Granja Portugal, Bonsucesso, João XXIII, Genibaú, Autran Nunes, Antônio Bezerra e Quintino Cunha. As margens destes mananciais hídricos foram

ocupadas indevidamente e assoreadas pela deposição de lixo, o que contribui significativamente para a poluição nessa bacia.

A Bacia do Rio Pacoti ocupa uma pequena área no extremo leste da cidade, sendo a menor bacia em extensão territorial no município de Fortaleza (FORTALEZA, 2015). O rio Pacoti, seu principal manancial, é o maior dos cursos d'água que atravessam a Região Metropolitana de Fortaleza, estando sua nascente na vertente setentrional da Serra de Baturité. Possui curso de 120 km até sua foz no oceano, localizada no bairro Sabiaguaba, e seu trecho final serve de limite entre os municípios de Fortaleza e Aquiraz. Antes de chegar à Fortaleza, onde drena apenas 1,3% do município, o rio Pacoti atravessa os municípios de Palmácia, Redenção, Acarape, Guaiuba e Aquiraz (FORTALEZA, 2003).

O rio Pacoti é o recurso hídrico mais importante para o abastecimento da RMF, pois em seu curso foi construído o sistema Pacoti-Riachão-Gavião, reservatórios cujo objetivo é a captação de água para a região e, em especial, para Fortaleza. Parte do rio Pacoti se encontra preservado pela Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti, onde ocorre uma diversidade de paisagens, incluindo representativa área de manguezal, zona de praia e cordão de dunas móveis e fixas (CEARÁ, 2013).

3.1.1.2 O esgotamento sanitário no município de Fortaleza

O estado do Ceará possui 184 municípios, destes, 152 são atendidos com serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará. A Cagece é uma sociedade de economia mista sob controle acionário do Governo do Ceará e vinculada à Secretaria da Infraestrutura (Seinfra). A Companhia presta o serviço de esgotamento sanitário a 74 municípios cearenses, o restante dos municípios é atendido pela própria prefeitura (administração pública direta) ou autarquia municipal (serviço autônomo de água e esgoto).

No município de Fortaleza, o serviço de esgotamento sanitário é prestado, juntamente com o de abastecimento de água, pela Cagece. Atualmente, a Companhia possui 279 estações de tratamento de esgoto, sendo 161 na capital e 118 no interior do estado, e uma Estação de Pré-Condicionamento de Esgoto (EPC) em Fortaleza.

A cobertura de abastecimento de água chega à 98,66% da população fortalezense, atendendo mais de 2,6 milhões pessoas. Já o Índice de Cobertura do sistema de esgotamento sanitário chega a 62,78%, com 2.719,74 km de extensão de rede coletora de esgoto (CEARÁ, 2021). O Índice de Cobertura representa a porcentagem da população que é beneficiada com o sistema de esgotamento sanitário, sendo calculado por meio da razão entre a população que é

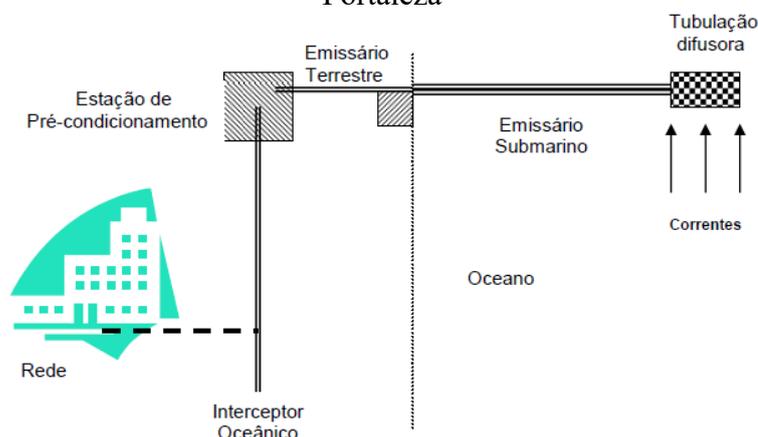
beneficiada com a coleta, tratamento e destinação final do esgoto doméstico e a população total da cidade (FORTALEZA, 2014a).

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) de Fortaleza é composto de redes coletoras, coletores-tronco, interceptores, estações elevatórias, linhas de recalque, Estações de Tratamento de Esgoto, Estação de Pré-Condicionamento (EPC), Estação de Tratamento de Odores (ETO) e emissário submarino. O funcionamento do SES se distribui entre dois sistemas: Sistema Integrado e os Sistemas Isolados. Conforme exposto no Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário de 2014, a parcela da população atendida pelo Sistema Integrado e pelos Sistemas Isolados foram de 49,1% e 11,9%, respectivamente (FORTALEZA, 2014a).

No Sistema Integrado ou Macrossistema, o esgoto coletado é conduzido até a Bacia da Vertente Marítima, onde passa pela EPC e, por fim, segue para o emissário submarino. A EPC é constituída por um conjunto de peneiras rotativas e desarenadores, cuja finalidade é remover os materiais sólidos e flutuantes presentes no esgoto. Após as fases de peneiramento e desarenação, o efluente é diluído e disperso no oceano com o auxílio das correntes marítimas, através de orifícios difusores na porção terminal do emissário submarino, localizado a cerca de 3.330 metros da costa e a uma profundidade de 16 metros. Nesse sistema a matéria orgânica em suspensão e dissolvida não é removida (FORTALEZA, 2014a).

A EPC controla remotamente as estações de bombeamento de forma automatizada e tem capacidade de vazão projetada para 4,8 m³/s, onde atualmente está operando em torno de 2,2 m³/s. Na EPC, também está instalada a Estação de Tratamento de Odores (ETO), para minimizar a exalação dos gases agressivos à atmosfera durante o processo de tratamento do esgoto (FORTALEZA, 2014a). As unidades componentes do Sistema Integrado do município de Fortaleza podem ser vistas na Figura 9.

Figura 9 - Unidades componentes do Sistema Integrado de esgotamento sanitário em Fortaleza



Fonte: Silva (2012).

O tratamento dos efluentes lançados no oceano se dá por três fases distintas, utilizando-se a capacidade de autodepuração das águas marinhas: (i) dispersão, que ocorre quando os esgotos são expelidos pelos difusores; (ii) diluição, que ocorre por conta da relação de volumes da água salgada e de esgoto; e (iii) decaimento bacteriano, onde bactérias contidas no esgoto não sobrevivem ao ambiente marinho. Em decorrência desses processos, é garantido que as concentrações de poluentes atinjam níveis admissíveis antes que o campo de mistura esgotos/águas marinhas possam atingir áreas de usos benéficos, como as destinadas à recreação, aquicultura etc. (FORTALEZA, 2014a).

Segundo Silva (2012), o sistema de tratamento dos efluentes lançados através do emissário submarino de Fortaleza é muito rudimentar, pois há apenas a remoção de materiais grosseiros, finos, gorduras e outros sedimentáveis, o que não neutraliza ou minimiza o potencial poluidor dos efluentes lançados no ambiente marinho. Nesse sistema não se realiza nenhum tratamento mais complexo e conta-se com a capacidade de diluição e autodepuração do mar para realizar a degradação do material lançado no meio marinho. O tratamento mais adequado e eficaz para estes efluentes domésticos envolveria a retenção da matéria orgânica, a separação dos sólidos em suspensão, o condicionamento químico, a desidratação e a secagem térmica do lodo residual, o que diminuiria o potencial poluidor e conseqüentemente os impactos ambientais na área marinha.

Os Sistemas Isolados são aqueles onde o processo de coleta, tratamento e disposição se concentra em um mesmo local. Dessa forma, por não estarem interligados ao sistema integrado de transporte dos efluentes sanitários que convergem para a EPC, os Sistemas Isolados têm a solução de destinação final de seus efluentes por meio de ETEs, de vários tipos: decanto-digestores associados a filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios e lodos ativados, com porte e condições de operação diferenciadas. Existem, em número aproximado, 97 Sistemas Isolados no município de Fortaleza que variam de condomínios de pequeno porte até bairros inteiros.

Todos os resíduos sólidos resultantes da operação das ETEs da Cagece são enviados para o aterro sanitário de Caucaia. No entanto, de acordo com a legislação federal, estadual e municipal, essa não é a destinação adequada, devendo a Companhia elaborar um plano de gerenciamento para os resíduos gerados em suas operações (FORTALEZA, 2014a).

Boa parte do efluente gerado nos Sistemas Isolados não atende aos padrões estabelecidos pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará (Semace), além de operarem, em sua maioria, sem a devida licença ambiental, poluindo os corpos hídricos. Na

maioria dos casos, a disposição final destes sistemas é, inapropriada, lançando os esgotos tratados em pequenos corpos d'água de escoamento intermitente sem nenhuma capacidade diluição. Ademais, o nível de remoção de matéria orgânica destes sistemas muitas vezes apresenta desconformidades com a legislação ambiental vigente (FORTALEZA, 2014a; FORTALEZA, 2014b).

De acordo com a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (Coema) n° 04, de 19 de abril de 2010, a concessionária responsável pelos sistemas de esgotamento sanitário dos empreendimentos caracterizados como habitações de interesse social deverá cumprir o prazo máximo de 10 anos para interligar esses sistemas à rede pública coletora de esgoto. O descumprimento desta obrigação, por parte das concessionárias, acarretará sanções administrativas e penais previstas na legislação pertinente. A proposta prioritária para o futuro SES será a interligação do maior número possível de Sistemas Isolados a futuras redes e interceptores, reduzindo, desta forma, problemas operacionais de difícil solução (FORTALEZA, 2014a).

3.1.1.3 Sistemas Isolados na Bacia do Rio Cocó em Fortaleza

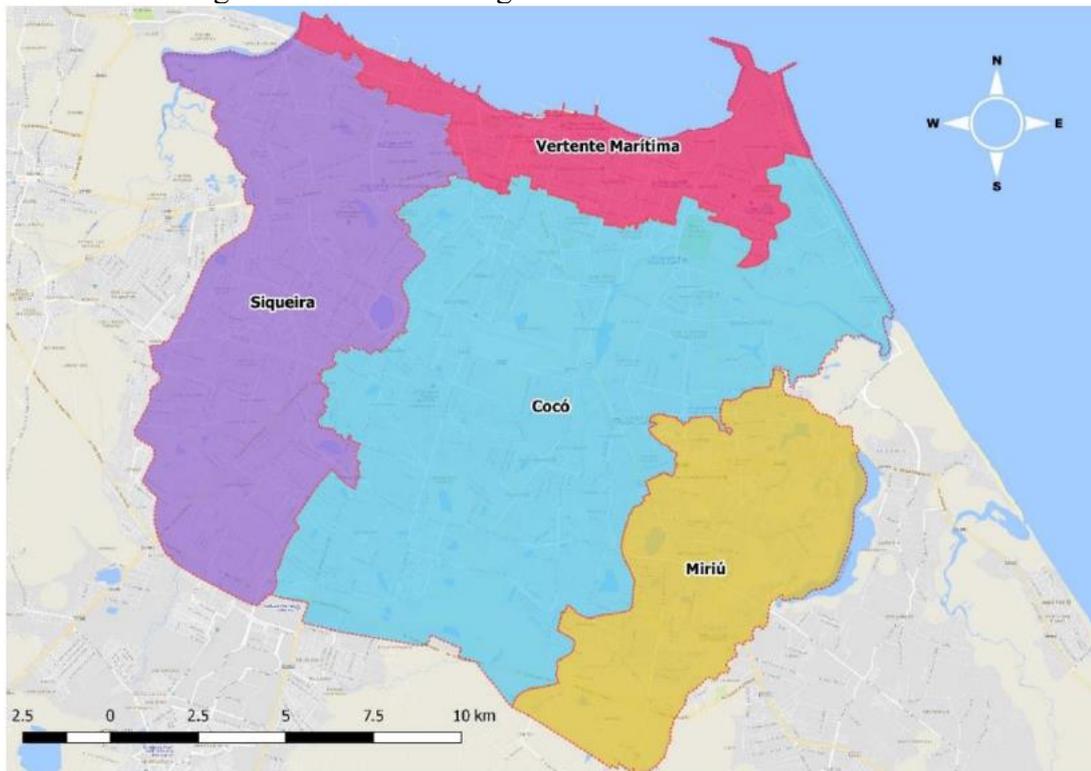
O município de Fortaleza é dividido em quatro bacias de esgotamento sanitário: Bacia do Rio Coaçu/Miriú, Bacia do Rio Cocó, Bacia do Rio Siqueira/Maranguapinho e Bacia da Vertente Marítima (Figura 10). Algumas informações sobre essas bacias podem ser vistas na Tabela 17 (FORTALEZA, 2014a).

Tabela 17 - Bacias de contribuição de Fortaleza

Grande Bacia	Área (ha)	População (2013)	Densidade demográfica (hab/ha)	Total de bairros	População atendida (%)
Vertente Marítima	3.126,37	391.287	125,16	26	100
Siqueira	8.054,28	1.054.087	130,87	51	61
Cocó	14.166,00	937.073	66,15	65	51
Miriú	5.230,02	220.118	42,09	18	18
Total	30.576,67	2.602,565	85,12	119	60

Fonte: Fortaleza (2014a).

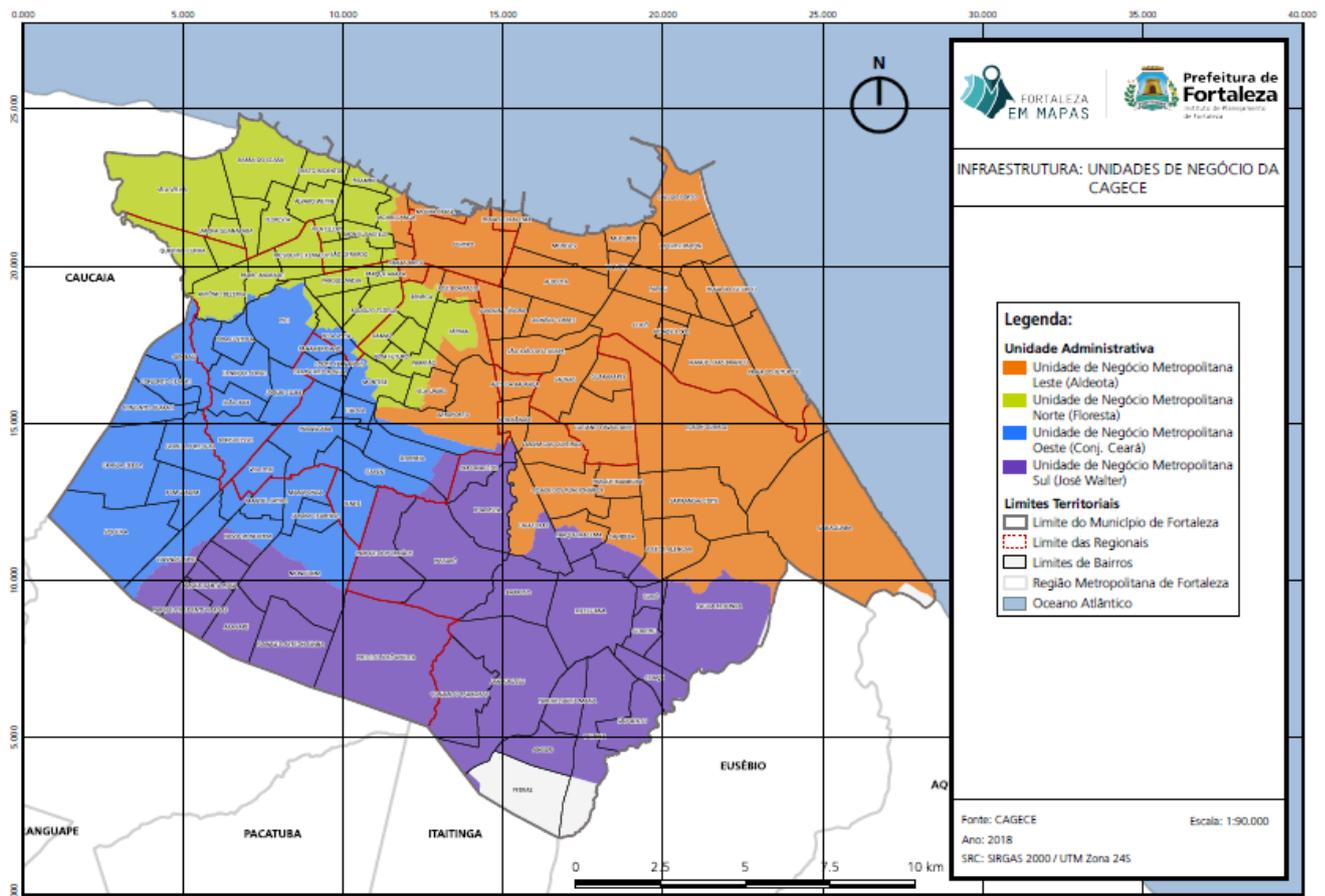
Figura 10 - Bacias de esgotamento sanitário de Fortaleza



Fonte: Fernandes (2017).

A Cagece dividiu sua atuação no estado em Unidades de Negócio, as quais foram implementadas com intenção de descentralizar a gestão, ter maior efetividade nos processos comerciais e operacionais e estar mais próximo dos clientes de cada região. Em Fortaleza, é possível encontrar uma sede de Unidade de Negócio nos quatro pontos cardeais da cidade, onde cada unidade é formada por um conjunto de bairros. As Unidades de Negócio são as seguintes: Unidade de Negócio Metropolitana Norte (UN-MTN), Unidade de Negócio Metropolitana Sul (UN-MTS), Unidade de Negócio Metropolitana Leste (UN-MTL) e Unidade de Negócio Metropolitana Oeste (UN-MTO). A Figura 11 apresenta a distribuição das unidades na capital, as quais estão sediadas nos bairros Floresta (UN-MTN), José Walter (UN-MTS), Aldeota (UN-MTL) e Conjunto Ceará (UN-MTO).

Figura 11 - Unidades de Negócio da Cagece em Fortaleza



Fonte: Fortaleza (2018).

Em 2010, a Cagece acrescentou duas novas unidades: Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgoto (UN-MTE) e a Unidade de Negócio Metropolitana de Produção e Macrodistribuição de Água (UN-MPA). A grande maioria dos sistemas isolados estão sob a responsabilidade da UN-MTE.

A Bacia do Rio Cocó, área de abrangência desse estudo, é composta por 24 sub-bacias de contribuição, contemplando total ou parcialmente 65 bairros de Fortaleza. A concepção atual envolve as duas margens da bacia, pela margem direita têm-se as seguintes sub-bacias contribuintes: CD-1, CD-1.1, CD-2, CD-3, CD-4 e CD-5. Na margem esquerda, têm-se as sub-bacias: CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CE-5, CE-6, CE-7, CE-8, CE-9, CE-10, CE-11, G-1, G-2.1, G-2.2, G-3, G-4, G-5, G-6 e G-7 (FORTALEZA, 2014a).

Atualmente, a Bacia do Rio Cocó possui 55 Sistemas Isolados (Figura 12) que estão sob responsabilidade da UN-MTE, UN-MTS ou UN-MTO. Os sistemas isolados com maior representatividade em suas respectivas sub-bacia são os sistemas isolados Conjunto Palmeiras e José Walter, representando cerca de 40% e 31% da população total residente na sub-bacia. Caso não seja cumprido o prazo de desativação e não sejam agregados novos sistemas isolados,

estes representarão 19,8% da população total da Grande Bacia do Cocó em 2033 (FORTALEZA, 2014a). No Apêndice A, estão listadas as 55 ETEs presentes na Bacia do Rio Cocó em Fortaleza.

Figura 12 - ETEs localizadas na Bacia do Rio Cocó em Fortaleza



Fonte: Informações fornecidas pela Cagece.

3.2 Seleção e avaliação de indicadores de desempenho

3.2.1 Pré-seleção de indicadores de desempenho para avaliação de ETEs

A primeira etapa metodológica consistiu na pré-seleção de indicadores de desempenho mais adequados à avaliação de estações de tratamento de esgotos. Inicialmente, levantaram-se 615 IDs com aplicação geral ao sistema de esgotamento sanitário de treze entidades. Esses IDs são utilizados pelas principais entidades nacionais e internacionais da área de saneamento, as quais foram apresentadas na revisão bibliográfica, como: IWA, AWWA, WSAA, ISO, IBNET, ADERASA, ERSAR, OFWAT, SSCG, SNIS, ABAR, PNQS e ARCE.

Posteriormente, selecionaram-se, do levantamento inicial, os IDs mais adequados à avaliação de ETEs. Isso, fez-se necessário pelo fato de os sistemas de IDs apresentarem uma abordagem abrangente, visando ser aplicáveis a entidades de diferentes dimensões, nível de desenvolvimento e contextos, como clima, características socioculturais e demográficas.

As entidades de saneamento analisadas categorizam os IDs em diferentes dimensões (grupos) de avaliação, dependendo da finalidade de utilização e atributos dos indicadores. Diante disso, elegeu-se trabalhar com duas das seis dimensões propostas pela IWA, pois as dimensões dessa organização envolvem diversos aspectos abrangentes de um sistema de esgotamento sanitário. Dessa maneira, objetivou-se, a partir desses grupos de IDs, avaliar o desempenho das ETEs quanto ao possível comprometimento da qualidade dos corpos hídricos receptores pelo lançamento de efluentes tratados. A seguir, são definidas as dimensões a serem avaliadas:

- a) ambiental: abrange indicadores referentes aos impactos ambientais, incluindo o atendimento aos padrões de lançamento, a frequência de eventos de extravasamento das vazões afluentes derivadas para o corpo receptor e a disposição final dos resíduos sólidos (lodo, sedimentos, entre outros);
- b) operacional: avalia o desempenho quanto ao funcionamento, à manutenção do sistema e à capacidade de operação do tratamento, incluindo o monitoramento da qualidade do esgoto.

Por fim, definiram-se critérios de avaliação para selecionar os IDs das dimensões ambiental e operacional. Os critérios adotados foram aplicabilidade (aplicação na avaliação de ETEs) e redundância (indicadores semelhantes). Além desses critérios, considerou-se a viabilidade de obtenção das informações necessárias ao cálculo dos indicadores para a avaliação do desempenho individual das ETEs da Bacia do Rio Cocó.

Assim sendo, selecionaram-se, dentro das dimensões citadas, os IDs que possivelmente tinham aplicação na avaliação das ETEs da Bacia do Rio Cocó, eliminando aqueles com aplicação geral ao sistema de esgotamento sanitário, e que não fossem semelhantes a outros indicadores já selecionados.

Um exemplo da aplicação do critério aplicabilidade foi a eliminação do indicador “Entupimentos de Estações Elevatórias” da dimensão operacional, pois não está diretamente ligado a avaliação de ETEs. Comumente, os indicadores redundantes apresentam a mesma finalidade de avaliação, como também nomenclatura e cálculos similares. É o caso do indicador “Disposição satisfatória de lodo”, encontrado em 4 entidades de saneamento (OFWAT, IWA, ERSAR e Six-Cities Group) de maneira similar.

Ressalta-se que alguns indicadores pré-selecionados pelos critérios aplicabilidade e redundância tiveram que ser descartados da seleção. Isso ocorreu nos casos em que os parâmetros necessários ao cálculo dos IDs não são medidos e nem acompanhados

qualitativamente pela prestadora de serviço, como volume afluente e volume de efluente tratado. Os seguintes indicadores foram retirados: “Índice de tratamento de esgoto”, “Calibração de equipamento de monitoramento da qualidade dos esgotos” e “Utilização da capacidade do tratamento de esgoto (porcentagem da carga atual x capacidade projetada)”.

Ao final da pré-seleção, notou-se a necessidade de proposição de novos indicadores que abrangessem alguns problemas apresentados pelos Sistemas Isolados, os quais foram levantados pelo Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário do Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza de 2014.

Os problemas selecionados foram referentes ao estado de conservação das ETEs, a ocorrência de maus odores e a irregularidade da Licença de Operação dessas unidades. Também foram propostos indicadores referentes a existência de programas de manutenção preventiva e de plano de ações de emergências e contingências para o caso de paralisação das ETEs.

Salienta-se que algumas adaptações, como mudanças de nomenclatura e de unidades, foram feitas para que fosse possível a mensuração de alguns IDs. Ocorreu para o indicador “Remoção de carga poluente do esgoto recebido na estação de tratamento”, no qual se modificou o parâmetro de referência de DBO para DQO, já que a demanda química de oxigênio é o parâmetro aferido pela Cagece tanto no afluente como efluente das ETEs.

No caso do indicador “Conformidade das análises de esgoto tratado”, desmembrou-se para abarcar a avaliação individual das condições e padrões específicos para o lançamento direto de efluentes sanitários em corpos receptores exigidos pela Resolução Coema nº 02/2017. Assim, esse indicador foi computado individualmente para: pH, temperatura, sulfeto, materiais sedimentáveis, DBO, óleos e graxas, materiais flutuantes, sólidos suspensos totais e coliformes termotolerantes.

Ao final, elegeram-se 18 IDs, divididos nas dimensões ambiental e operacional, como podem ser visualizados no Quadro 2. O Apêndice B apresenta a listagem dos indicadores selecionados com as respectivas definições.

Quadro 2 - Dimensões e indicadores de desempenho selecionados

Dimensão	Código	Indicador	Unidade
Ambiental	AM1	Reuso de esgoto tratado	%
	AM2	Disposição satisfatória de lodo	%
	AM3	Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento	%
	AM4	Frequência de extravasamentos	-/ano
	AM5	Reclamações relativas a odor	nº/1000 hab./ano
	AM6	Situação da Licença de Operação da ETE	-
Operacional	OP1.1	Conformidade das análises de esgoto tratado para pH	%
	OP1.2	Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura	
	OP1.3	Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto	
	OP1.4	Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis	
	OP1.5	Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO	
	OP1.6	Conformidade das análises de esgoto tratado para óleos e graxas	
	OP1.7	Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais flutuantes	
	OP1.8	Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais	
	OP1.9	Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes	
	OP2	Estado de conservação da ETE	-
	OP3	Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE	-
	OP4	Existência de programa de manutenção preventiva	-

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

3.2.2 Determinação dos pesos dos critérios e avaliação dos IDs pelo método Delphi

A segunda etapa metodológica compreendeu a determinação dos pesos a serem dados aos critérios e a avaliação dos IDs selecionados (alternativas) por meio de uma consulta a especialistas da área de saneamento. Para isso, utilizou-se um método de tomada de decisão baseado em opiniões de especialistas, conhecido como método Delphi.

O procedimento de seleção dos especialistas é de grande importância para o processo de apoio à decisão. Os especialistas consultados pelo método Delphi foram atores do contexto das ETEs a nível nacional. Isto é, indivíduos, entidades ou comunidades que têm um interesse em comum e importante posição no processo decisório, intervindo direta ou indiretamente por meio de seus sistemas de valores (ROY, 1996).

Deste modo, o painel foi formado por indivíduos familiarizados com o assunto ou com conhecimentos avançados relacionados ao tema em questão, como indivíduos acadêmicos e técnicos. Identificou-se os seguintes atores de decisão, pertencentes a entidades públicas e privadas, como representantes do contexto das ETEs:

- prestadora de serviços (companhia de saneamento);
- órgãos de regulação, fiscalização, controle e proteção ambiental;
- pesquisador/especialista em tratamento de esgotos;
- consultor da área de saneamento.

Não há um requisito específico para o tamanho do grupo de especialistas, porém, o objetivo, o *design* do método, a ferramenta de coleta de dados, os custos e o prazo determinam o tamanho e a heterogeneidade do painel (CHANG *et al.*, 2010; GBEDEDO; LIYANAGE, 2020). A maioria dos estudos utiliza painéis com 10 a 50 especialistas (NYGREN; TAPIO; QI, 2017; DE LOË *et al.*, 2016). Black *et al.* (1999) pontuaram em seu trabalho que não há relação empírica entre o número de especialistas e a validade e confiabilidade da pesquisa.

Desta maneira, elaborou-se um questionário por meio da ferramenta Google *Forms*, serviço gratuito do Google para a criação de formulários *online*, o qual foi enviado aos atores de decisão do contexto das ETEs. O questionário foi dividido nas seguintes seções:

- a) apresentação dos objetivos da pesquisa;
- b) identificação do painalista;
- c) avaliação das dimensões dos IDs por nível de importância;
- d) avaliação dos IDs pré-selecionados e propostos (alternativas) por critérios;
- e) julgamento dos critérios por comparação pareada;
- f) indicação de outros profissionais.

Critérios e alternativas são componentes fundamentais do problema de decisão multicritério. Os critérios devem representar os valores de um tomador de decisão e são os meios pelos quais as alternativas podem ser comparadas. As alternativas são cursos de ação que podem ser seguidas e que terão resultados medidos em termos dos critérios (CORNER; BUCHANAN; HENIG, 2001 *apud* LEHNHART, 2016).

Normalmente, os problemas de tomada de decisão avaliam muitos elementos que aparentemente não são comparáveis entre si e de forma direta. No entanto, estabelecendo-se

um procedimento que agregue esses elementos segundo propriedades comuns, torna-se possível compará-los (BAINHA; VIANNA; MEZA, 2018).

Decorrente disso, os critérios avaliados foram escolhidos dentre os principais atributos de indicadores levantados na literatura. Os indicadores de desempenho devem cumprir um conjunto de requisitos básicos para que possam ser utilizados de maneira adequada na avaliação dos serviços de saneamento, como (ALEGRE *et al.*, 2004; ISO, 2012; MATOS *et al.*, 2004; MOLINARI, 2006):

- representar todos os aspectos relevantes do desempenho da prestadora de serviço por meio de um número reduzido de indicadores de desempenho;
- representar os aspectos de maneira fidedigna a fim de evitar distorções;
- ser avaliado a partir de variáveis que possam ser medidas facilmente e confiavelmente por um custo razoável;
- ser definido claramente, significado conciso e uma interpretação única;
- ser mutuamente excludentes, para evitar repetições desnecessárias;
- fácil compreensão, autoexplicativos e auditáveis;
- relacionados com áreas geográficas e períodos de tempo bem definidos;
- aplicáveis a prestadoras de serviço com características e graus de desenvolvimento diferentes.

Por isso, os critérios escolhidos para a avaliação dos IDs foram: importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade, descritos a seguir:

- importância: relevância do ID para a avaliação de ETEs, representando processos e atividades;
- mensurabilidade: facilidade de obtenção do ID a partir de dados disponíveis e determinados regularmente;
- facilidade de interpretação: o ID é definido claramente, de fácil compreensão e de interpretação única;
- sensibilidade: o ID reflete um efeito cuja causa é passível de mudança.

No questionário, os indicadores foram avaliados por meio da associação entre a escala Likert de cinco pontos e as categorias dos critérios, mostrada no Quadro 3. Assim, os painelistas realizaram a valoração dos IDs para cada um dos quatro critérios, selecionando a categoria mais adequada ao indicador naquele critério.

Quadro 3 - Escala de valoração dos critérios

Escala Likert	Importância	Mensurabilidade	Facilidade de Interpretação	Sensibilidade
5	Muito importante	Muito mensurável	Muito claro e compreensível	Muito sensível
4	Importante	Mensurável	Claro e compreensível	Sensível
3	Importância moderada	Mensuração moderada	Clareza e compreensão moderada	Sensibilidade moderada
2	Pouco importante	Pouco mensurável	Pouco claro e compreensível	Pouco sensível
1	Irrelevante	Imensurável	Ambíguo e incompreensível	Insensível

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Logo após, pediu-se aos respondentes que avaliassem a importância relativa dos critérios par a par em relação ao objetivo geral, a fim de construir a matriz de avaliação para o emprego da comparação pareada do método AHP. Esse método avalia a importância relativa desses critérios, compara as alternativas para cada critério e determina um *ranking* total das alternativas. Para tanto, usou-se uma adaptação da Escala Fundamental de Saaty para representar a intensidade de importância de um critério em relação ao outro, conforme o Quadro 4.

Na última seção do questionário, solicitou-se a indicação de até três profissionais da área de saneamento, objetivando identificar outros especialistas por meio da técnica de amostragem bola de neve (*Snowball Sampling*). Essa técnica foi aplicada juntamente com o método Delphi como uma estratégia de recrutamento adicional ao painel de especialistas, em que os respondentes iniciais indicam novos participantes que por sua vez indicam outros e assim sucessivamente, até que seja alcançado o objetivo proposto. O modelo do questionário elaborado para a consulta Delphi pode ser visto no Apêndice C.

Geralmente, o método Delphi envolve duas ou mais rodadas iterativas de questionários que se repete até que um nível de consenso seja alcançado entre o grupo de especialistas selecionados. De acordo com Marques e Freitas (2018), alguns atores frisam que a obtenção de consenso no método Delphi não é sempre possível ou desejável. Salienta-se que o objetivo do Delphi não é chegar a uma resposta única ou a um consenso, mas simplesmente obter o maior número possível de respostas e opiniões de grande qualidade, de um grupo de especialistas, de modo a subsidiar tomadas de decisão.

Quadro 4 - Adaptação da Escala Fundamental de Saaty

Escala adaptada	Definição	Explicação
1	Importância IGUAL entre os critérios	Os dois critérios contribuem <i>igualmente</i> para o objetivo
3	Importância FRACA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A experiência e o julgamento favorecem <i>ligeiramente</i> um critério sobre o outro
5	Importância FORTE ou ESSENCIAL do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A experiência e o julgamento favorecem <i>fortemente</i> um critério sobre o outro
7	Importância MUITO FORTE ou DEMONSTRADA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	Um critério é <i>fortemente</i> favorecido em relação ao outro e sua <i>dominância</i> é <i>demonstrada</i> na prática
9	Importância ABSOLUTA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A evidência que favorece um critério sobre o outro é da <i>mais alta ordem</i> de afirmação possível
1/3	Importância FRACA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/5	Importância FORTE ou ESSENCIAL do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/7	Importância MUITO FORTE ou DEMONSTRADA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/9	Importância ABSOLUTA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Mediante o exposto, realizou-se uma simplificação do método Delphi, utilizando somente uma rodada. Optou-se por essa simplificação devido ao esforço requerido dos painelistas para responder diversas rodadas, o que poderia comprometer a adesão dos participantes a pesquisa. Além disso, o tempo da pesquisa não seria suficiente para completar as diversas rodadas até que a convergência esperada fosse alcançada. Assim, o questionário foi aplicado uma única vez aos painelistas, conservando as outras características do método, como anonimato das declarações, tabulação e análise das respostas, e *feedback* controlado das respostas aos participantes.

Por fim, enviou-se o *link* do questionário elaborado na ferramenta *Google Forms* por *e-mail* para 110 profissionais da área, fixando o prazo de 15 dias para que respondessem o questionário. No entanto, devido à baixa participação, prorrogou-se o prazo por mais 15 dias. Ao final da rodada, as respostas recebidas foram analisadas pelo cálculo do desvio padrão, da média e do coeficiente de variação.

3.2.3 *Ranking dos IDs pelo método AHP com ratings*

Efetua-se a avaliação dos IDs selecionados por um método multicritério de problemática de hierarquia (P γ), isto é, procedimento de ordenação de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações, conforme as preferências (GOMES; GOMES, 2014). Portanto, optou-se pelo método AHP com *ratings*, ou medição absoluta. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) é uma teoria de medição por meio de comparações de pares e se baseia nos julgamentos de especialistas para obter escalas de prioridades (SAATY, 2008). Segundo Nam, Nguyen e Oh (2019), esse método tem como vantagem a capacidade de integrar os fatores quantitativos e qualitativos obtidos das opiniões de especialistas e categorizá-los em um ranking multicritério.

No método AHP com *ratings*, estabelecem-se categorias de classificação (*ratings*) para cada critério e se prioriza as categorias comparando-as aos pares por preferência. As alternativas são avaliadas selecionando a categoria de classificação (*ratings*) apropriada em cada critério. Esse método apresenta como vantagem poder classificar muitas alternativas com bastante rapidez, gerando resultados satisfatoriamente próximos do modelo relativo (método AHP tradicional) (SAATY, 2008).

No método AHP tradicional, realiza-se a medição relativa, em que todas as alternativas são comparadas duas a duas à luz de um critério ou subcritério (se existir), ou seja, todos os elementos são comparados entre si. O método AHP com medição relativa é aconselhado quando o número de alternativas é relativamente pequeno (< 9). Caso o número de alternativas seja maior, é praticamente inviável compor as matrizes de comparação par a par, devido ao alto número de comparações a serem realizadas (FRANÇOZO; SILVA; BELDERRAIN, 2019).

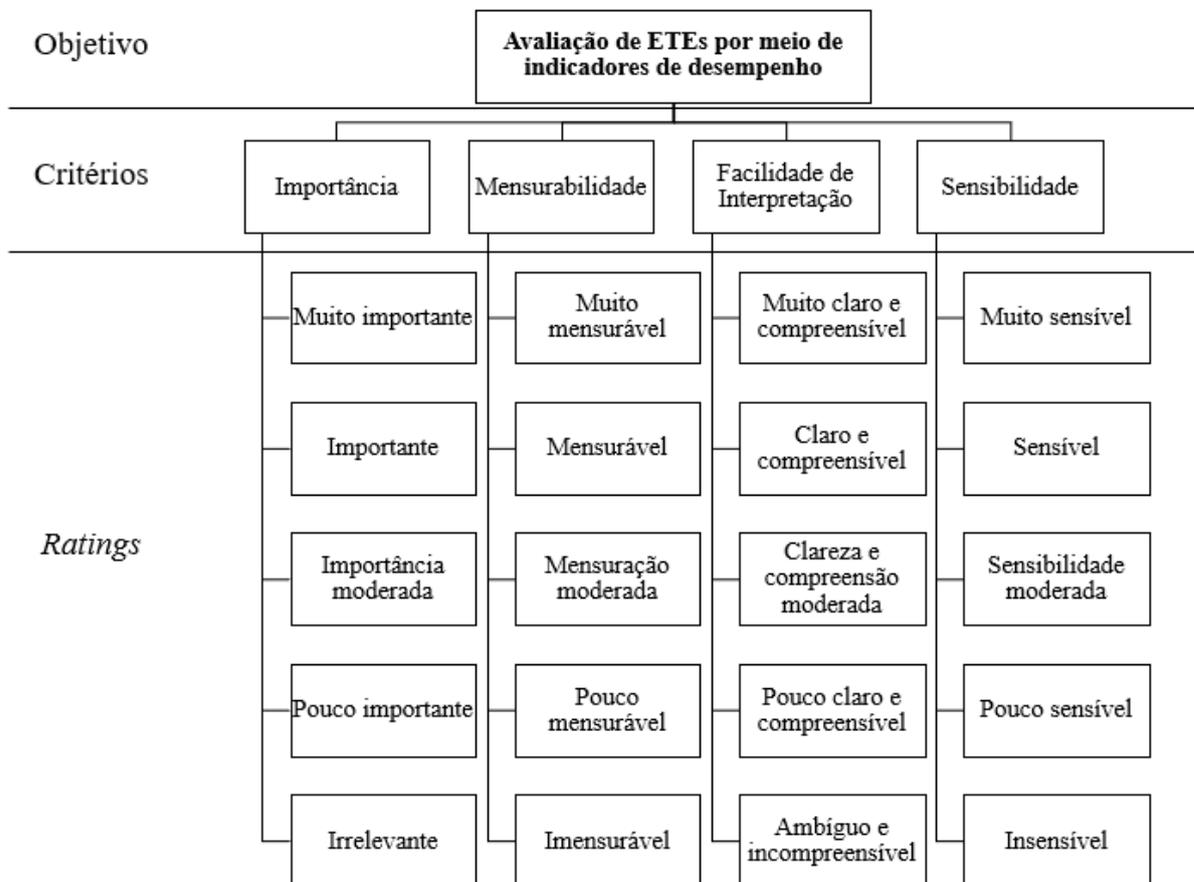
Na modelagem do problema, o objetivo da decisão, os critérios e as alternativas são escolhidos, formando a hierarquia. De acordo com Saaty (2008), o problema de decisão precisa ser decomposto nos seguintes passos para gerar prioridades:

- 1) definição do problema e do tipo de conhecimento procurado;
- 2) estruturação da hierarquia de decisão com o objetivo da decisão no topo, então os objetivos de uma perspectiva ampla, passando dos níveis intermediários (critérios dos quais os elementos subsequentes dependem) para o nível mais baixo (que geralmente é um conjunto de alternativas);
- 3) construção das matrizes de comparação par a par, e;

- 4) utilização das prioridades obtidas nas comparações para ponderar as prioridades do nível imediatamente inferior. Fazer isso para cada elemento. Então, para cada elemento no nível abaixo, adicionar seus valores ponderados e obter sua prioridade geral ou global. Continuar esse processo de dar peso e adicionar até que as prioridades finais das alternativas no nível mais inferior sejam obtidas.

Assim, o primeiro passo foi a estruturação do problema como uma hierarquia em que o objetivo da decisão, os critérios com suas respectivas categorias (*ratings*) e as alternativas foram definidos (Figura 13). No primeiro nível (ou superior) está o objetivo geral de “Avaliação de estações de tratamento de esgotos por meio de indicadores de desempenho”. No segundo nível estão os quatro critérios (importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade) que contribuem para atingir o objetivo. Por fim, no terceiro nível (ou inferior) estão as alternativas (IDs) que devem ser avaliadas em termos dos critérios definidos no segundo nível.

Figura 13 - Estrutura hierárquica do problema pelo método AHP com *ratings*



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Após a definição da hierarquia, é necessário a comparação par a par dos seus elementos por meio de matrizes de comparação quadrada (A_{ij}). Cada elemento em um nível superior é utilizado para comparar os elementos do nível imediatamente inferior em relação a ele. Para isso, precisa-se de uma escala de números que indique quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre outro no que diz respeito ao critério ou propriedade ao qual eles são comparados (SAATY, 2008). O Quadro 5 exhibe a Escala Fundamental proposta por Thomas Saaty para a realização dos julgamentos de comparação entre pares.

Quadro 5 - Escala Fundamental de Saaty

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento de outra
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra; sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência que favorece uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem de afirmação possível
2,4,6,8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	Quando se procura uma melhor relação de compromisso
Recíprocos	Se a atividade i possui um dos números acima, quando comparada com a atividade j , então j terá o valor inverso quando comparada com i	-
1,1-1,9	Se as atividades forem muito próximas	Pode ser difícil atribuir o melhor valor, mas quando comparado com outras atividades contrastantes, o tamanho dos pequenos números não seria muito perceptível, mas eles ainda podem indicar a importância relativa das atividades

Fonte: Saaty (2008) e Saaty (1990).

O último passo trata da obtenção das prioridades dos elementos (critérios e *ratings*), chamadas de autovetores ou vetor de prioridades, para gerar os valores finais das alternativas. Primeiro, deve-se normalizar a matriz inicial de comparação, dividindo cada elemento da matriz

pela soma da coluna a que ele pertence, dessa forma a soma de todos os elementos da coluna após a normalização é igual a 1.

Para identificar o peso de cada critério, o vetor de prioridades $w = (w_1, \dots, w_n)$ deve ser definido baseado na matriz A_{ij} . A formulação do tipo $Aw = nw$, conforme mostrada na Figura 14, implica que o n é o autovalor e w é o autovetor de A_{ij} . Uma maneira de definir o vetor de prioridades é através da média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada (SAATY; VARGAS, 2001).

Figura 14 - Matriz de julgamentos (A_{ij}) e vetor de prioridades (w)

$$\begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = n \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

Fonte: Saaty e Vargas (2001).

Na medição absoluta, as alternativas não são comparadas aos pares, mas simplesmente classificadas de acordo com a categoria (ou intensidade) em que se enquadram em cada critério (SAATY, 1990). Para estabelecer a importância relativa entre as categorias em cada critério, constrói-se uma matriz de comparação par a par entre os níveis de intensidade dos *ratings*. Assim, encontra-se a importância relativa dos níveis de intensidade, calculando o autovetor, que representa os pesos para cada nível de intensidade. A definição dos *ratings* para cada critério é mostrada no Quadro 6.

Depois de definir as prioridades para os critérios, as comparações em pares para o estabelecimento do vetor de prioridades das intensidades em cada critério foram realizadas. Deve-se normalizar essas prioridades das intensidades, dividindo-as pelo maior valor encontrado no vetor de prioridades em cada critério. Os vetores de prioridades obtidos para as categorias são idealizados, ou seja, a melhor categoria recebe o valor igual a 1 e as outras receberam valores proporcionalmente menor. As prioridades idealizadas são sempre usadas para *ratings*, a fim de garantir que as intensidades não recebam prioridades pequenas simplesmente porque são muitos níveis (SAATY, 2006).

Quadro 6 - Definição dos *ratings* para cada critério

Crítérios	<i>Ratings</i>
Importância	Muito importante
	Importante
	Importância moderada
	Pouco importante
	Irrelevante
Mensurabilidade	Muito mensurável
	Mensurável
	Mensuração moderada
	Pouco mensurável
	Imensurável
Facilidade de Interpretação	Muito claro e compreensível
	Claro e compreensível
	Clareza e compreensão moderada
	Pouco claro e compreensível
	Ambíguo e incompreensível
Sensibilidade	Muito sensível
	Sensível
	Sensibilidade moderada
	Pouco sensível
	Insensível

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Em seguida, avaliou-se uma alternativa selecionando o nível de intensidade apropriado a ela em cada critério. As prioridades das alternativas foram encontradas por meio de um processo de ponderação e soma. Para cada alternativa, soma-se os valores oriundos do produto entre as prioridades idealizadas de cada categoria e as prioridades globais dos critérios dessas categorias.

O método AHP permite, por meio da proposição de índices, avaliar a consistência dos julgamentos estabelecidos nas comparações par a par. A Razão de Consistência (RC) dos julgamentos é obtida comparando o Índice de Consistência (IC), referente ao maior autovalor da matriz de decisão (λ_{\max}) e a ordem da matriz (n), com o Índice de Consistência Randômico (IR), número tabelado correspondente a ordem da matriz (Tabela 18). De acordo com Saaty e Vargas (2001), é desejável que RC seja menor que 0,10 (< 10%), caso contrário os julgamentos devem ser revistos para melhorar a consistência dessa matriz de comparação. Quanto mais próximo de n estiver o autovalor λ_{\max} , mais coerentes serão os julgamentos do decisor. O Índice de Consistência e a Razão de Consistência de uma matriz de comparações são dados pelas equações 1 e 2, respectivamente.

Tabela 18 - Valores de IR para matrizes de ordem n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas (2001).

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Quando há mais de um indivíduo participando do processo de decisão, pode-se agregar as suas preferências individuais em uma preferência de grupo. Essa agregação dependerá de como o grupo deseja atuar, se junto como uma unidade ou como indivíduos separados. Existem duas maneiras básicas de agregação: a Agregação de Julgamentos Individuais (AIJ) e a Agregação de Prioridades Individuais (AIP). Em ambos os casos, podem-se atribuir diferentes pesos aos decisores no processo ou então considerá-los de mesmo grau de importância para a decisão (FORMAN; PENIWATI, 1998).

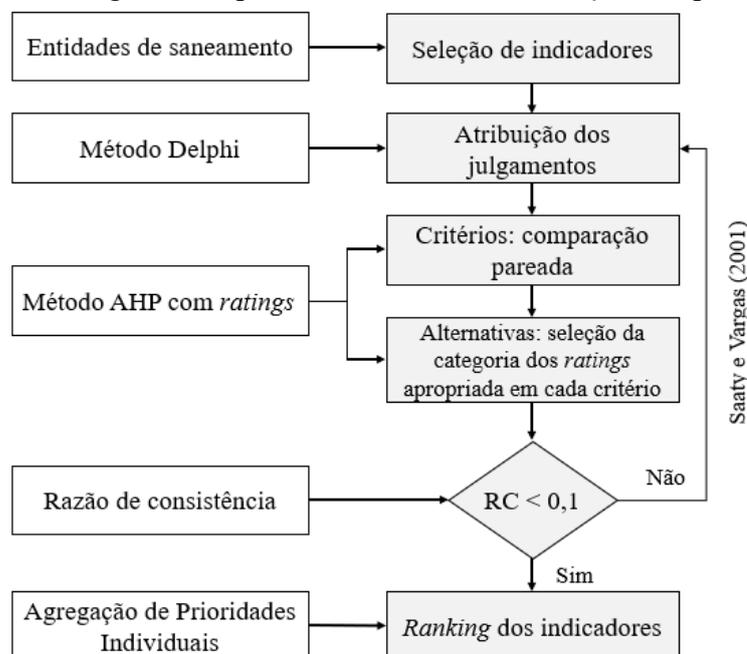
O método AIJ é utilizado quando o grupo é assumido para agir como uma unidade, abandonando suas preferências para o bem da organização. Todavia, quando os indivíduos estão agindo cada um por si, com diferentes sistemas de valores, preocupa-se com as prioridades alternativas resultantes de cada um, sendo necessário fazer uma agregação das prioridades individuais. A média geométrica, em vez da média aritmética, deve ser usada para a AIJ, enquanto a AIP pode ser calculada usando uma média geométrica ou aritmética (FORMAN; PENIWATI, 1998).

Diante do exposto, optou-se pela abordagem AIP, pois os especialistas consultados são de organizações diferentes, com missões, princípios e visões distintas, sendo a abordagem AIP a mais aconselhada. A atribuição dos graus de importância relativa dos critérios e avaliação dos IDs foram feitas pelo julgamento individual de painelistas consultados por meio do método Delphi (seção 3.2.2), utilizando uma escala de valores adaptada da Escala Fundamental de Saaty (Quadro 4). Quanto as categorias dos critérios (*ratings*), estabeleceram-se cinco níveis de intensidade para todos os critérios, de acordo com Escala Fundamental de Saaty adaptada, de forma a se obter as suas prioridades idealizadas. A Figura 15 apresenta o fluxograma com o procedimento seguido para a determinação dos pesos dos IDs.

Ao final, obteve-se o *ranking* de prioridades dos IDs, representados pelas alternativas na hierarquia do problema. O método AHP com *ratings* foi implementado por meio

do software *Super Decisions* versão 2.10 (CREATIVE DECISIONS FOUNDATION, 2021) e a agregação de prioridades individuais foi realizada por meio de planilha eletrônica.

Figura 15 - Fluxograma do procedimento de determinação dos pesos dos IDs



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

3.3 Avaliação do desempenho das ETEs da bacia de esgotamento do Cocó

Esta etapa compreendeu a definição das categorias de desempenho para a avaliação do desempenho individual das ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó. Optou-se pela utilização de quatro categorias para alocação do nível de desempenho das ETEs, apresentadas como: “Bom”, “Satisfatório”, “Insatisfatório” e “Ruim”. Em seguida, estabeleceram-se as faixas de valores ou as situações correspondentes às quatro categorias para cada critério de avaliação (IDs), como pode ser visto na Tabela 19.

Poucas entidades nacionais e internacionais da área de saneamento disponibilizam valores de referência para seus indicadores. Os valores de referência para o critério OP1 se basearam em valores utilizados pela ERSAR (ALEGRE *et al.*, 2020) para indicador similar.

Em alguns casos, transformaram-se indicadores quantitativos em perguntas, para que não deixassem de ser avaliados, pois não havia medição do indicador pela prestadora de serviço. Os critérios AM1, AM2, AM4, AM5, OP3 e OP4 foram avaliados a partir de respostas do tipo “Sim” ou “Não”, referentes a existência ou ausência do objeto de apreciação do indicador pela ETE. Os critérios AM6 e OP2 foram medidos pela identificação da situação hipotética, estabelecida para cada categoria de desempenho, que melhor define o estado real da

ETE avaliada. Essas respostas também foram representadas numericamente por uma escala entre 0 e 1 (zero representa o pior desempenho e um indica o melhor), a fim de definir os limites superior e inferior de cada uma das categorias de desempenho, necessários à aplicação do método multicritério TOPSIS-Sort.

Destaca-se que alguns critérios de avaliação não tiveram todas as suas categorias de desempenho definidas, pois as situações hipotéticas de referência estabelecidas nas outras categorias foram suficientes para apreciar o estado real da ETE, como foi o caso do critério AM2, analisado somente pelas categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Ruim”.

Os intervalos das categorias de desempenho dos critérios AM1, AM2, AM4, AM5 e AM6 da dimensão ambiental e OP1, OP2, OP3 e OP4 da dimensão operacional não se alteram com a tipologia das ETEs avaliadas. No caso do critério “Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento” (AM3), as categorias de desempenho assumiram as faixas de eficiência na remoção de carga orgânica conforme as tipologias das ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó (lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados ou fossas sépticas). Os valores de eficiência correspondentes aos processos de tratamento foram baseados nas faixas de remoção baixa, normal e alta estabelecidas na atualização da base de dados de ETEs no Brasil do Atlas Esgotos (ANA, 2020). Dessa maneira, o uso de faixas variáveis para a definição das categorias de desempenho tornou a avaliação mais adequada ao contexto das unidades de tratamento avaliadas.

Por último, solicitaram-se os parâmetros essenciais à mensuração dos IDs à Companhia de Água e Esgoto do Ceará, tendo como base de avaliação o ano de 2020, pelo Portal Ceará Transparente. O objetivo foi a construção da matriz de avaliação, em que são exibidos os desempenhos individuais das alternativas para cada critério, para aplicação do método multicritério.

Tabela 19 - Intervalos das categorias de desempenho para cada critério de avaliação

ID	Critério de avaliação		Intervalos das categorias de desempenho				
			Bom	Satisfatório	Insatisfatório	Ruim	
AM1	Reuso de esgoto tratado/ Há reuso de esgoto tratado?		Sim, totalmente [1-0,75]	Sim, parcialmente]0,75-0,5]	Não]0,5-0,25]	-]0,25-0]	
AM2	Disposição satisfatória de lodo/ Há disposição satisfatória de lodo?		Sim, totalmente [1-0,75]	Sim, parcialmente]0,75-0,5]	-]0,5-0,25]	Não]0,25-0]	
AM3	Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento	Lagoas de Estabilização	Lagoa Facultativa	[100-96]	]96-78]	]78-60]	]60-0]
			Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série	[100-90]	]90-80]	]80-60]	]60-0]
			Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série	[100-95]	]95-85]	]85-75]	]75-0]
			Lagoa Facultativa Aerada + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	[100-90]	]90-85]	]85-80]	]80-0]
		Reatores Anaeróbios	UASB	[100-80]	]80-68]	]68-50]	]50-0]
			UASB + Filtro Aeróbio	[100-90]	]90-80]	]80-75]	]75-0]
			UASB + Filtro Aeróbio + Decantador	[100-95]	]95-85]	]85-75]	]75-0]
		Lodos Ativados de Aeração Prolongada	[100-95]	]95-90]	]90-82]	]82-0]	
		Decanto-digestor + Filtro Anaeróbio	[100-85]	]85-70]	]70-55]	]55-0]	
AM4	Frequência de extravasamentos/ Há extravasamentos periódicos?		Não [1-0,75]	-]0,75-0,5]	Sim, extravasamentos esporádicos]0,5-0,25]	Sim, extravasamentos frequentes]0,25-0]	

AM5	Reclamações relativas a odor/ Há reclamações de mau odor?		Não [1-0,75]	-]0,75-0,5]	Sim, exalação esporádica]0,5-0,25]	Sim, exalação frequente]0,25-0]	
AM6	Situação da Licença de Operação (LO) da ETE		LO regular e cumprimento total das condicionantes [1-0,75]	LO regular e cumprimento parcial das condicionantes]0,75-0,5]	LO regular e condicionantes não atendidas]0,5-0,25]	LO irregular]0,25-0]	
OP1	Conformidade das análises de esgoto tratado	OP1.1	pH	100]100-95]]95-80]]80-0]
		OP1.2	Temperatura				
		OP1.3	Sulfeto				
		OP1.4	Materiais sedimentáveis				
		OP1.5	DBO				
		OP1.6	Óleos e graxas				
		OP1.7	Materiais flutuantes				
		OP1.8	Sólidos suspensos totais				
		OP1.9	Coliformes termotolerantes				
OP2	Estado de conservação da ETE		Bom funcionamento [1-0,75]	-]0,75-0,5]	Funcionamento deficiente]0,5-0,25]	-]0,25-0]	
OP3	Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE		Sim [1-0,75]	-]0,75-0,5]	-]0,5-0,25]	Não]0,25-0]	
OP4	Existência de programa de manutenção preventiva		Sim [1-0,75]	-]0,75-0,5]	-]0,5-0,25]	Não]0,25-0]	

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

3.4 Procedimento de avaliação dos desempenhos globais das ETEs

Esta etapa abordou a definição dos desempenhos globais das ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó por meio da classificação dessas unidades em uma das categorias de desempenho. Para tanto, aplicou-se o método multicritério TOPSIS-Sort, uma adaptação do método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) para a problemática de classificação.

O método TOPSIS tem como objetivo ordenar as ações conforme uma hierarquia, sendo aplicado na resolução de problemática de apoio à decisão do tipo hierarquia ($P\gamma$). Esse método pode ser adaptado para alocação das ações em classes, que pode ser feito pela abordagem TOPSIS-Sort.

Behzadian *et al.* (2012) realizaram um levantamento bibliográfico de aplicações do método TOPSIS. Nessa revisão, identificaram as seguintes áreas de aplicação: gestão da cadeia de suprimentos e logística; sistemas de *design*, engenharia e fabricação; gestão de negócios e marketing; gestão de saúde, segurança e meio ambiente; gestão de recursos humanos; gestão de energia; engenharia química; gestão de recursos hídricos e outros temas.

O método escolhido já foi aplicado em estudos na área de saneamento ambiental no Brasil, destacando-se os trabalhos de Carvalho (2013), Mendonça (2013) e Paula (2013). Carvalho (2013) adotou o método TOPSIS para efetuar a avaliação da prestação de serviços de abastecimento de água, comparando a perspectiva do usuário dos serviços e do prestador de serviços. Mendonça (2013) empregou o método TOPSIS para avaliação de desempenho global de três cenários de sistemas de drenagem urbana no município de Goiânia. Paula (2013) utilizou o método TOPSIS modificado para a avaliação de desempenho de três ETEs situadas no Distrito Federal.

3.4.1 TOPSIS-Sort

O método TOPSIS é uma ferramenta muito conhecida e utilizada em apoio à tomada de decisão multicritério (SABOKBAR *et al.*, 2016). Pode ser traduzido como “técnica para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal”. A matriz de decisão do método TOPSIS é composta por alternativas e critérios, em que os critérios podem ser em dois tipos: benefício e custo (GOMES; GOMES, 2014).

De acordo com essa técnica, a melhor alternativa é aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva (A^+) e a mais distante da solução ideal negativa (A^-). A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo, já a solução ideal negativa maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício (KROHLING; SOUZA, 2011). Neste cálculo, as distâncias euclidianas são adotadas para medir a distância de cada alternativa para essas soluções de referência. O coeficiente de proximidade é calculado para cada alternativa e as alternativas são elencadas em ordem decrescente de seus respectivos coeficientes (SILVA, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

No método TOPSIS-Sort, proposto por Sabokbar *et al.* (2016), são pré-definidas de forma ordinal q classes $\{C_1 > C_2 > C_3 > \dots > C_q\}$. Perfis de contorno, um total de $q-1$, são necessários para definir as diferentes classes do problema. Para cada classe, são definidos dois perfis, um perfil de limite superior e um de limite inferior. Assim, entre duas classes subsequentes (C_k e C_{k+1}) é definido um perfil P_k , que funciona como limite inferior da classe C_k e limite superior da classe C_{k+1} (SILVA, 2018; SILVA *et al.*, 2020).

Assim como as alternativas do problema, os perfis de contorno possuem valores de desempenho para cada um dos critérios de avaliação. Dessa maneira, as alternativas são comparadas com os perfis para que possam ser alocadas entre as classes do modelo. Coeficientes de proximidade são calculados para as alternativas originais e para os perfis, de acordo com o procedimento TOPSIS tradicional. Em seguida, a classificação das alternativas é feita pela comparação dos seus coeficientes de proximidade com os coeficientes dos perfis definidores das classes.

Neste estudo, as classes foram correspondentes às categorias de avaliação: C_1 (Bom), C_2 (Satisfatório), C_3 (Insatisfatório) e C_4 (Ruim). Os perfis de contorno P_1 , P_2 e P_3 receberam os valores dos limites inferiores das classes C_1 , C_2 e C_3 , respectivamente, que equivalem aos limites inferiores das faixas de valores definidas para as categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”. O procedimento do método TOPSIS-Sort para classificação de alternativas com vários critérios é apresentado nos seguintes passos (SILVA, 2018):

- **Passo 1:** Determinar a matriz de decisão $X = (x_{ij})_{n \times m}$
- **Passo 2:** Estabelecer os perfis de decisão $P = \{P_1, P_2, \dots, P_{q-1}\}$
- **Passo 3:** Adicionar os perfis à matriz de decisão $M = \{X, P\}$
- **Passo 4:** Normalizar a matriz de decisão M a partir da equação:

$$r_{ij} = \frac{M_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq n+q-1} M_{ij}}, \text{ com } i = 1, \dots, (n + q - 1); j = 1, \dots, m \quad (3)$$

- **Passo 5:** Calcular a matriz de decisão $V = (v_{ij})_{n \times m}$ normalizada pelos pesos w_j

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \text{ com } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; \quad (4)$$

Onde:

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (5)$$

- **Passo 6:** Determinar as soluções ideal e anti-ideal

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+\} = \{\max_j v_{ij} | j \in G^+, \min_j v_{ij} | j \in G^-\} \quad (6)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-\} = \{\min_j v_{ij} | j \in G^+, \max_j v_{ij} | j \in G^-\} \quad (7)$$

Em que:

G^+ e G^- estão associados aos critérios de benefício e custo, respectivamente.

- **Passo 7:** Calcular as distâncias euclidianas de cada alternativa para as soluções ideal e anti-ideal:

$$D^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$D^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad (9)$$

- **Passo 8:** Calcular os coeficientes de proximidade das alternativas para a solução ideal com base nas distâncias obtidas no passo anterior

$$Cl(x_i) = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, \text{ com } i = 1, \dots, n \quad (10)$$

- **Passo 9:** Determinar os coeficientes de proximidade dos perfis $Cl(P_k)$, com $k = 1, \dots, q-1$
- **Passo 10:** Classificar as alternativas a partir das comparações entre os coeficientes de proximidade das alternativas e dos perfis:

$$x_i \in C_1 \text{ se } Cl(x_i) \geq Cl(P_1)$$

$$x_i \in C_k \text{ se } Cl(P_{k-1}) > Cl(x_i) \geq Cl(P_k), k = 2, \dots, q-1$$

$$x_i \in C_q \text{ se } Cl(x_i) < Cl(P_{q-1})$$

No procedimento de cálculo, executado em planilha eletrônica, as alternativas foram as ETEs e os critérios foram os IDs. Os cálculos foram feitos por tecnologia de tratamento, a fim de possibilitar a comparação dos desempenhos das ETEs com os perfis das categorias adotados especificamente para cada tecnologia de tratamento. Os pesos (w_j) atribuídos aos critérios de avaliação foram os obtidos pelo método AHP com *ratings*. Após a implementação do procedimento, os desempenhos globais das ETEs em uma das categorias de avaliação foram obtidos.

4 RESULTADOS

4.1 Seleção e avaliação dos indicadores de desempenho

4.1.1 Determinação dos pesos dos critérios e avaliação dos IDs pelo método Delphi

A partir da consulta a especialistas da área de saneamento, por meio do método Delphi, a fim de definir os pesos dos critérios (importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade) e dos 18 IDs selecionados anteriormente.

O questionário estruturado para a consulta foi enviado a 110 atores de decisão do contexto das ETEs. Ao final do prazo de 30 dias, de 110 painelistas apenas 28 (25,45%) responderam ao questionário. Notou-se um aumento na quantidade de respostas recebidas após a solicitação de contribuição de representantes das companhias de saneamento e dos órgãos ambiental e de regulação com o preenchimento do questionário. As solicitações foram feitas via ouvidoria ou serviço de informação ao cidadão.

Por fim, observou-se uma maior adesão de representantes das prestadoras de serviços (39%) à consulta Delphi proposta, seguidos por atores dos órgãos de regulação (29%), pesquisadores da área de saneamento (18%), representantes de órgãos ambientais (7%) e consultores da área de saneamento (7%). O quantitativo de especialistas participantes por área de atuação pode ser visto no Quadro 7.

Ao final da rodada, efetuou-se a tabulação das respostas dadas pelos especialistas através do cálculo do desvio padrão, da média e do coeficiente de variação. Alguns autores pontuam que, em termos gerais, existe um consenso quando há uma baixa divergência na distribuição das respostas a um determinado item em torno de uma resposta média (MARQUES; FREITAS, 2018). Dessa forma, definiu-se que o cálculo do coeficiente entre o desvio padrão e a média das respostas (coeficiente de variação) definiria o grau de dispersão (homogeneidade) dos dados. Os seguintes intervalos de coeficiente de variação (CV) foram utilizados:

- a) Baixa dispersão: $CV \leq 15\%$;
- b) Média dispersão: $15\% < CV < 30\%$;
- c) Grande dispersão: $CV \geq 30\%$.

As repostas dadas pelos 28 atores de decisão do contexto das ETEs podem ser conferidas no Apêndice D. De acordo com os coeficientes de variação das respostas referentes à avaliação dos IDs, apenas 10% obtiveram alto grau de dispersão, enquanto 72% apresentaram

média dispersão e 18% tiveram baixa dispersão dos dados. Quanto as respostas da comparação pareada entre os critérios de avaliação, todas obtiveram grande dispersão dos dados (CV > 50%).

Quadro 7 - Quantitativo de atores de decisão participantes da consulta Delphi

Atores de decisão	Organização	UF	Quantitativo	
Prestadora de serviços (companhia de saneamento)	Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece)	CE	1	39%
	Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal)	AL	1	
	Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)	PR	4	
	Companhia Espírito Santense de Saneamento (Cesan)	ES	1	
	Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (Caema)	MA	1	
	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (Caern)	RN	2	
	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa)	PB	1	
Órgão de regulação	Agência de Regulação e Controle de Serviços Públicos do Estado do Pará (Arcon-PA)	PA	1	29%
	Agência Reguladora dos Serviços Públicos do estado de São Paulo (Arseps)	SP	3	
	Agência Reguladora do Estado do Ceará (Arce)	CE	3	
	Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFor)	CE	1	
Pesquisador/Especialista da área de saneamento	Instituto Federal do Ceará (IFCE)	CE	1	18%
	Universidade Federal do Ceará (UFC)	CE	1	
	Universidade Federal do Pará (UFPA)	PA	1	
	Universidade Federal da Paraíba (UFPB)	PB	1	
	Universidade Federal do Paraná (UFPR)	PR	1	
Órgão ambiental	Superintendência Estadual do Meio Ambiente (Semace)	CE	2	7%
Consultor da área de saneamento	MW Engenharia	CE	1	7%
	Consultor autônomo	PR	1	
TOTAL			28	100%

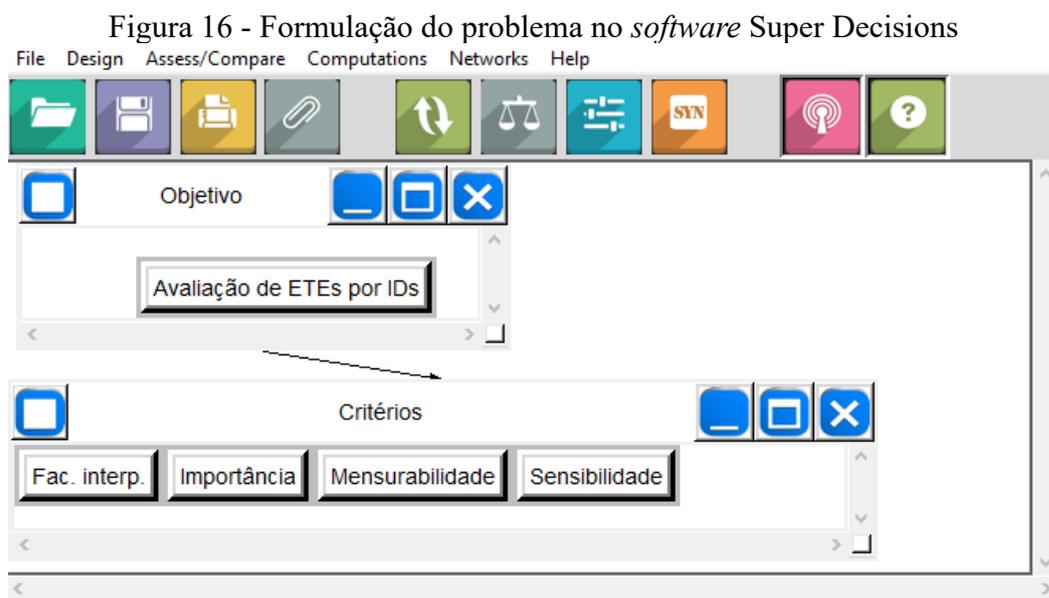
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Diante disso, a aplicação do método Delphi possibilitou identificar consensos e divergências de opiniões dos distintos atores de decisão consultados sobre os IDs selecionados para avaliar o desempenho operacional e o atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados de ETEs.

Perante o exposto, percebeu-se que a adoção de somente uma rodada do método Delphi foi suficiente para subsidiar as tomadas de decisão desejadas. A utilização de duas ou mais rodadas do método tradicional reduziria ainda mais a participação na consulta proposta, a qual obteve 74,54% de abstenção com a execução de uma rodada única. Destaca-se ainda que a estratégia de recrutamento adicional ao painel de especialistas, por meio da técnica de amostragem bola de neve (*Snowball Sampling*), foi essencial para melhorar o recrutamento dos atores de decisão e a sua adesão à consulta Delphi.

4.1.2 Ranking dos IDs pelo método AHP com ratings

Aplicou-se o método AHP com *ratings* para identificar os pesos (prioridades) de cada critério e das alternativas. Primeiramente, construiu-se a hierarquia do problema no *software Super Decisions*, definindo o objetivo de avaliação e os critérios (Figura 16). As alternativas não aparecem no modelo principal, estando dispostas no módulo *ratings* anexado ao modelo principal.

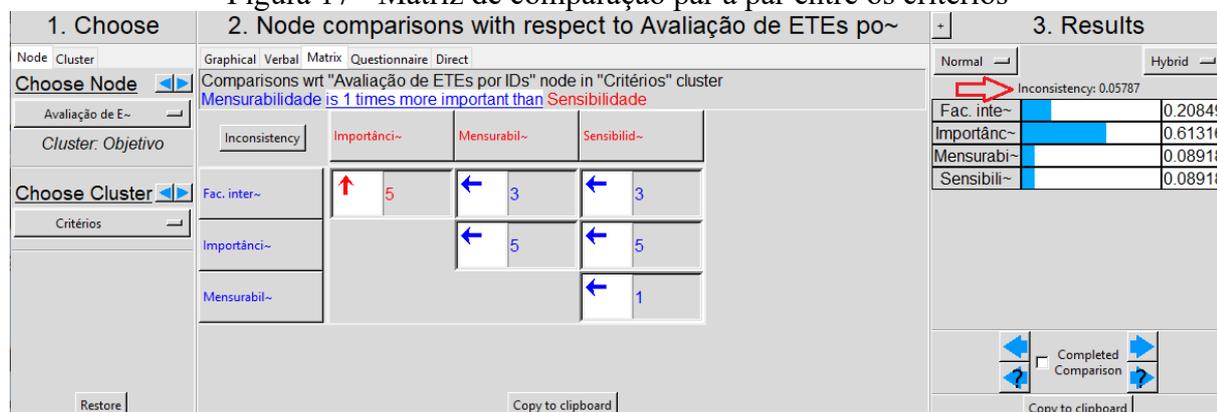


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Posteriormente, realizou-se as comparações par a par entre os critérios, como também entre as categorias de cada critério, de acordo com a Escala Fundamental de Saaty adaptada. As matrizes de comparação pareada foram construídas para cada um dos 28 atores de decisão consultados pelo método Delphi e alimentadas por seus julgamentos individuais. A Figura 17 apresenta uma janela do *software* com a matriz de comparação par a par entre os

critérios à luz do objetivo, a qual foi construída a partir do julgamento de um dos especialistas consultados.

Figura 17 - Matriz de comparação par a par entre os critérios



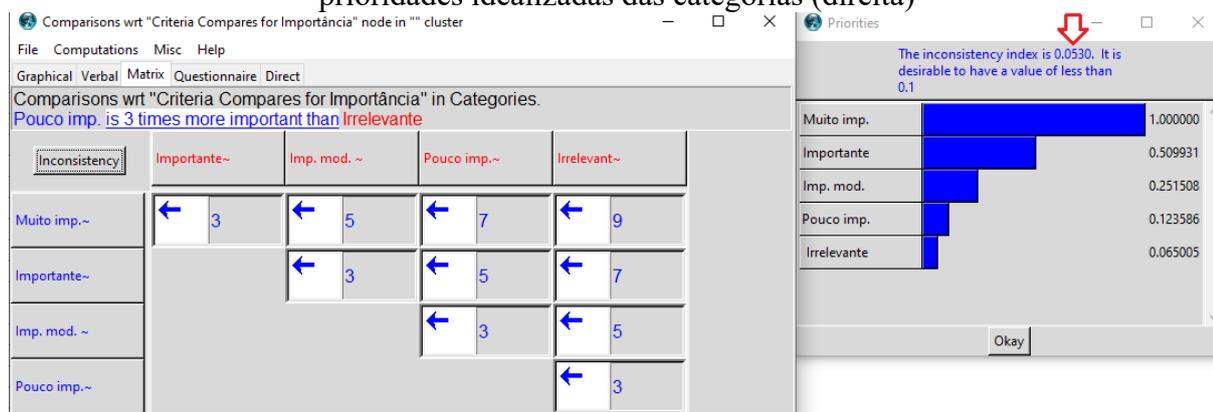
Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Uma vez realizadas as comparações entre os critérios, verificou-se a consistência dos julgamentos de cada especialista, já que as comparações são realizadas por meio de julgamentos pessoais. Sabe-se que as pessoas são mais propensas a serem inconsistentes em seus julgamentos por diversos motivos, como a existência de ruído, julgamentos imperfeitos ou mudanças de ideia (GEBREZGABHER; TARON; AMEWU, 2019).

Constatou-se que das 28 matrizes de comparação avaliadas, 25 obtiveram Razão de Consistência (RC) superior a 0,1 (>10%), indicando incoerência dos julgamentos feitos por esses especialistas. Nesse caso, exploraram-se as inconsistências de cada uma dessas matrizes com a ajuda da ferramenta *Inconsistency Report* do *Super Decisions* para tornar a RC menor que 0,1. Dessa maneira, localizou-se o julgamento mais inconsistente e, se houvesse flexibilidade no julgamento, tentou-se melhorá-lo. Caso contrário, encontrou-se o segundo julgamento mais inconsistente e se tentou melhorá-lo e assim por diante. Saaty e Vargas (2001) descreveram esse procedimento de exploração, utilizando o *software Expert Choice* como suporte.

Nesta aplicação, considerou-se que todas as matrizes de comparação par a par dos *ratings* para os critérios importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade apresentam os mesmos julgamentos e, por conseguinte, o mesmo vetor de prioridade. A exemplificação da matriz de comparação par a par entre os cinco níveis de intensidade dos *ratings*, considerada para todos os critérios, pode ser visualizada na Figura 18, a qual mostra a matriz para o critério importância. Todas as matrizes de comparação par a par dos *ratings* apresentaram RC menor que 0,1 (< 10%), indicando a coerência dos julgamentos.

Figura 18 - Matriz de comparação par a par dos *ratings* do critério importância (esquerda) e as prioridades idealizadas das categorias (direita)



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Por fim, as prioridades finais das alternativas foram encontradas, agregando as prioridades globais dos critérios com as prioridades idealizadas das categorias em cada critério. A Figura 19 exibe como exemplo as prioridades globais dos critérios (primeira linha), os valores numéricos dos *ratings* (idealizados) para cada alternativa (IDs) e as prioridades totais (*Totals*) e normalizadas (*Priorities*) das alternativas obtidos pelo julgamento de um dos especialistas consultados. As prioridades normalizadas (*Priorities*) encontradas são as prioridades finais desse julgamento.

Figura 19 - Prioridades globais dos critérios, classificação das alternativas nos *ratings* e prioridades das alternativas do julgamento de determinado especialista

Super Decisions Ratings						
	Priorities	Totals	Fac. interp. 0.208490	Importância 0.613158	Mensurabilidade 0.089176	Sensibilidade 0.089176
AM1	0.033557	0.497354	1.000000	0.251508	1.000000	0.509931
AM2	0.048720	0.722090	0.251508	1.000000	0.123586	0.509931
AM3	0.067471	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
AM4	0.049869	0.739121	0.123586	1.000000	0.123586	1.000000
AM5	0.047935	0.710452	0.251508	1.000000	0.251508	0.251508
AM6	0.060019	0.889551	1.000000	1.000000	0.251508	0.509931
OP1.1	0.050639	0.750529	0.123586	1.000000	1.000000	0.251508
OP1.2	0.049869	0.739121	0.123586	1.000000	1.000000	0.123586
OP1.3	0.049490	0.733497	0.251508	1.000000	0.509931	0.251508
OP1.4	0.057628	0.854123	0.509931	1.000000	1.000000	0.509931
OP1.5	0.067471	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
OP1.6	0.052438	0.777199	0.251508	1.000000	1.000000	0.251508
OP1.7	0.057628	0.854123	0.509931	1.000000	1.000000	0.509931
OP1.8	0.067471	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
OP1.9	0.060019	0.889551	1.000000	1.000000	0.509931	0.251508
OP2	0.064522	0.956298	1.000000	1.000000	0.509931	1.000000
OP3	0.057628	0.854123	0.509931	1.000000	1.000000	0.509931
OP4	0.057628	0.854123	0.509931	1.000000	0.509931	1.000000

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O último passo foi aplicar o método AIP para agregar as prioridades finais de cada indivíduo como decisão do grupo. Para isso, utilizou-se a média aritmética das prioridades obtidas de cada especialista, considerando que todos os indivíduos possuíam o mesmo peso para a decisão (1/28). Essa agregação foi efetuada em planilha eletrônica, pois o *software Super Decisions* não oferece uma interface para a realização da tomada de decisão em grupo.

As prioridades finais das alternativas por especialista e o resultado da abordagem AIP podem ser conferidas no Apêndice E. O *ranking* das prioridades finais (pesos) dos IDs, representado pelas alternativas na hierarquia do problema, pode ser visualizado na Tabela 20.

Tabela 20 - *Ranking* final das prioridades das alternativas pelo AIP

Indicador	Prioridades (Pesos)	Ordem
Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3)	0,0694	1
Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais (OP1.8)	0,0644	2
Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO (OP1.5)	0,0621	3
Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes (OP1.9)	0,0619	4
Situação da Licença de Operação da ETE (AM6)	0,0615	5
Disposição satisfatória de lodo (AM2)	0,0604	6
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4)	0,0589	7
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	0,0584	8
Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	0,0557	9
Reclamações relativas a odor (AM5)	0,0549	10
Reuso de esgoto tratado (AM1)	0,0548	11
Estado de conservação da ETE (OP2)	0,0515	12
Frequência de extravasamentos (AM4)	0,0514	13
Conformidade das análises de esgoto tratado para pH (OP1.1)	0,0500	14
Conformidade das análises de esgoto tratado para óleos e graxas (OP1.6)	0,0476	15
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais flutuantes (OP1.7)	0,0470	16
Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura (OP1.2)	0,0454	17
Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto (OP1.3)	0,0448	18

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

De acordo com a Tabela 20, os IDs que apresentaram maior proporção do *ranking* foram: “Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento” (AM3), “Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais” (OP1.8), “Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO” (OP1.5) e “Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes” (OP1.9).

Esse resultado demonstra que os parâmetros demanda química de oxigênio (DQO), relacionada ao indicador AM3, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), alusiva ao indicador OP1.5, sólidos suspensos totais (SST), referente ao indicador OP1.8, e coliformes termotolerantes (CTT) possuem grande influência na avaliação operacional e no atendimento

aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados das ETEs, conforme os especialistas consultados. A maior influência de DBO, DQO, CTT e sólidos em suspensão reflete a associação desses parâmetros aos constituintes convencionais da qualidade da água e, portanto, os mais utilizados para avaliar o desempenho das ETEs.

A DQO e a DBO são uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente nos esgotos ou no corpo d'água. Portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido no meio. Quanto mais elevado for os seus valores, menor será a concentração de oxigênio no meio. Essa redução, a depender da magnitude, pode causar a morte de diversos seres aquáticos. Caso o oxigênio seja consumido totalmente, têm-se as condições anaeróbias, com possível geração de maus odores (VON SPERLING, 2014).

Conforme Michalake, Silva e Silva (2016), a determinação dos sólidos suspensos fornece uma estimativa da matéria orgânica presente no resíduo. Caso os SST não estejam devidamente controlados podem causar graves danos, especialmente à vida aquática, como a diminuição da incidência de luz. Já os coliformes termotolerantes são utilizados como organismos indicadores para a determinação da eficiência de remoção de patógenos no processo de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 2014).

A importância das ações da prestadora de serviços quanto ao monitoramento dos impactos ambientais gerados pelas ETEs, bem como das ações fiscalizadoras dos órgãos ambientais competentes é evidenciada pela ponderação conferida ao indicador “Situação da Licença de Operação da ETE” (AM6).

O lodo é um subproduto do processo de tratamento de esgotos, cuja gestão é um dos problemas enfrentados nas ETEs. A “Disposição satisfatória de lodo” (AM2) foi considerada um importante indicador ambiental de desempenho das ETEs. As práticas de tratamento e disposição do lodo são importantes para a proteção ambiental, pois o teor de poluentes orgânicos residuais, metais tóxicos e microrganismos patogênicos podem causar problemas de saúde, precisando ser removidos (GHERGHEL; TEODOSIU; DE GISI, 2019).

O método mais adequado de disposição final do lodo deve ser escolhido para aumentar a produção limpa e a reutilização do lodo, minimizando o seu impacto ambiental, enquanto maximiza o seu valor de utilização (LI *et al.*, 2021). No Brasil, a Resolução Conama 498/2020 estabelece os critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólidos em solos. Os biossólidos são definidos como o produto resultante do tratamento de lodo de esgoto que atende aos critérios microbiológicos e químicos estabelecidos pela resolução, sendo considerado adequado para ser aplicado no solo.

4.2 Avaliação das ETEs da bacia de esgotamento do Rio Cocó

O desempenho individual das 51 ETEs do estudo de caso em cada ID, tendo como base de avaliação o ano de 2020, pode ser conferido no Apêndice F. No Quadro 8, o desempenho individual é apresentado pelas categorias de desempenho, enquanto o Quadro 9 apresenta o desempenho dos IDs pelas categorias de desempenho.

As ETEs Nova Descoberta (Favela Vertical), Jangurussu, DIF III e Santa Maria Gorete não tiveram seus desempenhos avaliados, pois não havia dados de análises dos padrões específicos para o lançamento direto de efluentes sanitários em corpos receptores exigidos pela Resolução Coema nº 02/2017.

A partir do desempenho individual das estações por categorias é possível identificar quais parâmetros necessitam de intervenção e acompanhamento especial da companhia de saneamento, pois não tiveram resultados adequados ou esperados. Na média, considerando as 51 ETEs, os IDs Reclamações relativas a odor (AM5), Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura (OP1.2), materiais flutuantes (OP1.7), Estado de conservação da ETE (OP2), Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3) e Existência de programa de manutenção preventiva (OP4) apresentaram desempenho “Bom”.

O desempenho “Satisfatório” foi conferido a Disposição satisfatória de lodo (AM2), Frequência de extravasamentos (AM4), Conformidade das análises de esgoto tratado para pH (OP1.1) e óleos e graxas (OP1.6) e Existência de programa de manutenção preventiva (OP4). O desempenho “Insatisfatório” foi atribuído ao Reuso de esgoto tratado (AM1) e à Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto (OP1.3).

Contudo, o desempenho “Ruim” foi alcançado pelos IDs que apresentaram os maiores pesos no *ranking* do método AHP, sendo eles: Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3), Situação da Licença de Operação da ETE (AM6) e Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4), DBO (OP1.5), SST (OP1.8) e CTT (OP1.9).

Quadro 8- Desempenho individual das ETEs por categorias de desempenho

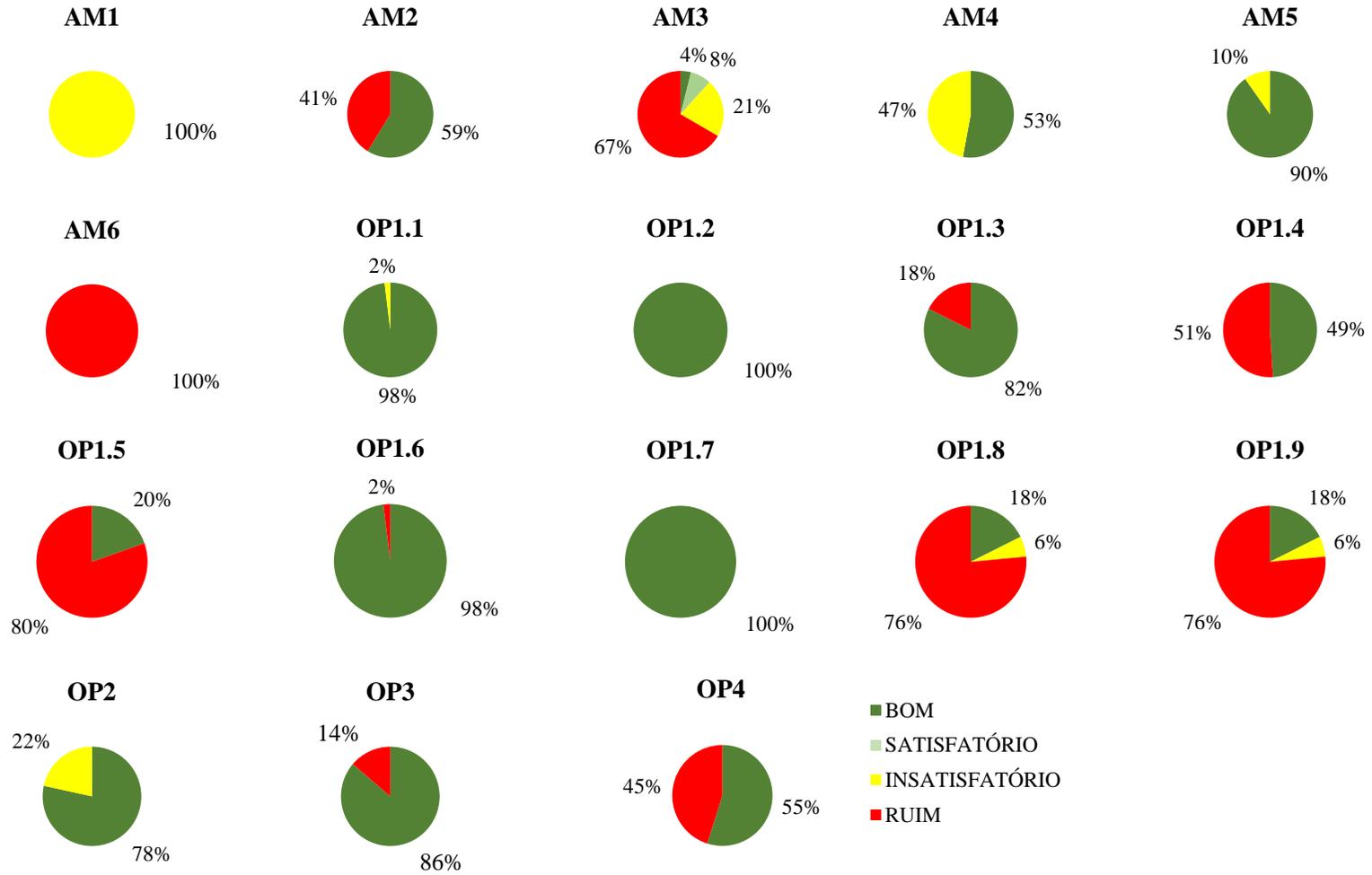
Tipologia	ETEs	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
UASB/FSA	Centro de Eventos	I	B	R	B	B	B	B	B	B	R	B	B	B	B	I	B	B	R
	Rosalina	I	B	R	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	I	B	R
UASB	Aracapé III	I	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	R	B	B	B	R
	Lago Azul	I	B	I	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	I	I	B	B	R
	Sítio Santana	I	B	S	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	R	R	B	B	R
	Zeza Tijolo	I	B	R	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	B	R
	Novo Barroso	I	B	S	I	B	R	B	B	R	B	R	B	B	R	R	I	B	R
	Itaperi	I	B	R	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	I	B	R
	Riacho Doce	I	B	I	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	I	B	R
LFA/LFsec/ LMsérie	Tupã Mirim	I	B	R	B	I	R	B	B	B	B	R	B	B	B	R	B	B	R
LF/LMsérie	José Walter	I	B	S	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	B	R	I	B	R
LF	João Paulo II	I	B	R	B	B	R	B	B	R	B	R	B	B	R	R	I	B	R
	Tancredo Neves (Lagamar)	I	B	R	B	B	R	B	B	R	B	R	B	B	R	R	B	B	R
LAN/LF/ LMsérie	Cj. Palmeiras	I	B	R	B	B	R	I	B	R	B	B	B	B	I	R	B	B	R
	São Cristóvão	I	B	R	B	B	R	B	B	R	R	R	R	B	R	R	I	B	R
LA	Itaperussu	I	B	R	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	I	B	R
UASB/FSA/ DECANTADOR	Castelão	I	B	R	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	R	B	B	R
	Aldemir Martins	I	B	I	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	I	R	B	B	R
	José Euclides	I	B	I	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	I	I	B	R
DD/FA	Pequeno Mondubim	I	B	R	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	R
	Campo dos Ingleses 1	I	B	R	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B	R	B
	Aracapé II	I	R	S	I	B	R	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B
	Campo dos Ingleses 2	I	B	I	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	R	B
	Novo Renascer	I	R	R	I	B	R	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B
	Campo dos Ingleses 4	I	B	I	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	B	B	R	B
	8 de setembro	I	R	I	I	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	B	B
	Soares Moreno	I	R	R	I	I	R	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B	B	B
	Campo dos Ingleses 5	I	B	R	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	R	B

Jardim União II - 02	I	R	I	I	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	B	B
Campo dos Ingleses 6	I	B	R	B	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	R	B
Aracapé I	I	R	I	I	I	R	B	B	B	R	R	B	B	R	B	B	B	B
Campo dos Ingleses 3	I	B	R	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	R	B
Jardim União I	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Barroso II	I	R	B	I	B	R	B	B	R	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Campo dos Ingleses 7	I	B	R	B	B	R	B	B	R	R	R	B	B	R	B	B	R	B
Dom Lorscheider	I	R	I	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Jardim União II - 01	I	R	R	I	I	R	B	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	B
Passaré II	I	R	R	I	B	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	B	B
Sítio Córrego I	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Conj. PM II – Aracapé	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Ipaumirim	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Sítio Córrego II	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Passaré I	I	R	I	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Marcos Freire	I	R	R	I	I	R	B	B	B	B	R	B	B	R	R	B	B	B
01 de março	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
São Domingos	I	B	R	B	B	R	B	B	R	R	R	B	B	R	R	B	B	R
Almirante Tamandaré I	I	B	R	B	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	I	B	R
Sítio Estrela	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
24 de março	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Monte Líbano	I	B	R	B	B	R	B	B	R	R	R	B	B	R	R	I	B	R
Unidos Venceremos	I	R	R	I	B	R	B	B	B	R	R	B	B	R	R	B	B	B
Média	I	S	R	S	B	R	S	B	I	R	R	S	B	R	R	B	B	S

B: Bom; S: Satisfatório; I: Insatisfatório; R: ruim.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Quadro 9 - Desempenho dos IDs por categorias de desempenho



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

4.2.1 Desempenho das ETEs pelo método TOPSIS-SORT

Para fins de cálculo do método multicritério TOPSIS-Sort, os indicadores avaliados qualitativamente receberam o valor intermediário da respectiva faixa de valores pertencente à categoria de desempenho que se adequaram (Bom – 0,875; Satisfatório – 0,625; Insatisfatório – 0,375; Ruim – 0,125). Salienta-se que os perfis de contorno P_1 , P_2 e P_3 de cada critério de avaliação receberam os limites inferiores das faixas de valores estabelecidas para as categorias “Bom”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”, estipuladas na Tabela 19.

No Apêndice G são apresentadas as matrizes de decisão do problema por tipologia de tratamento. Com intuito de exemplificar as etapas do método multicritério TOPSIS-Sort, escolheu-se a tecnologia de tratamento reatores anaeróbios. Destaca-se que os reatores anaeróbios, como tratamento ou pré-tratamento de outros processos, são os mais utilizados no Brasil com 1.373 unidades, de acordo com o último levantamento. A concepção mais comum, registrada com 212 unidades, foi reator anaeróbio seguido de filtro aeróbio e decantador secundário final (ANA, 2020). Por isso, o procedimento para determinação do desempenho global das ETEs com tecnologia de tratamento reatores UASB, seguidos de Filtros Submersos Aerados (FSA) e decantadores lamelar (UASB/FSA/DECANTADOR) foi mostrado abaixo.

Em cada matriz de decisão foram listados: desempenhos individuais, critérios, alternativas, perfis definidores das classes e pesos (Tabela 21). A matriz de decisão com os dados originais foi normalizada (Tabela 22) e em seguida submetida ao procedimento de ponderação (Tabela 23), conforme o descrito na seção 3.4.1.

Para cada critério, as soluções ideal (A^+) e anti-ideal (A^-) foram encontradas. Todos os critérios avaliados foram de benefício, pois os valores dos perfis diminuem em direção às classes mais baixas à medida que sua adequação reduz. Assim, A^+ foi o maior valor encontrado entre todos os v_{ij} para cada um dos critérios, enquanto A^- foi o menor valor entre todos os v_{ij} . As distâncias euclidianas (D^+ e D^-) de cada alternativa em relação às soluções A^+ e A^- foram calculadas.

Por fim, os coeficientes de proximidade de cada alternativa $Cl(x_i)$ e dos perfis $Cl(P_k)$ foram obtidos, sendo possível alocar as alternativas em uma das classes de desempenho já definidas (Tabela 24). A melhor alternativa foi aquela com maior proximidade relativa da solução ideal. Na Tabela 25 foram apresentados os desempenhos global, ambiental e operacional das ETEs por tipologia de tratamento.

Tabela 21 - Matriz de decisão das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Aldemir Martins	0,375	0,875	79,75	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	83	50	0,875	0,875	0,125
José Euclides	0,375	0,875	79,55	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	50	100	100	50	83	0,375	0,875	0,125
Castelão	0,375	0,875	50,11	0,875	0,875	0,875	100	100	100	100	100	100	100	100	73	0,875	0,875	0,125
P ₁	0,750	0,750	95	0,750	0,750	0,7500	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,750	0,750	0,750
P ₂	0,500	0,500	85	0,500	0,500	0,500	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,500	0,500	0,500
P ₃	0,250	0,250	75	0,250	0,250	0,250	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,250	0,250	0,250
Max M _{ij}	0,750	0,875	95	0,875	0,875	0,875	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,875	0,875	0,750
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela 22 - Matriz de decisão normalizada das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Aldemir Martins	0,500	1,000	0,839	1,000	1,000	0,143	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,830	0,500	1,000	1,000	0,167
José Euclides	0,500	1,000	0,837	0,429	1,000	0,143	1,000	1,000	1,000	0,500	0,500	1,000	1,000	0,500	0,830	0,429	1,000	0,167
Castelão	0,500	1,000	0,527	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,730	1,000	1,000	0,167
P ₁	1,000	0,857	1,000	0,857	0,857	0,857	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,857	0,857	1,000
P ₂	0,667	0,571	0,895	0,571	0,571	0,571	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,571	0,571	0,667
P ₃	0,333	0,286	0,789	0,286	0,286	0,286	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,286	0,286	0,333

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela 23 - Matriz de decisão normalizada e ponderada das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Aldemir Martins	0,027	0,060	0,058	0,051	0,055	0,009	0,050	0,045	0,045	0,059	0,062	0,048	0,047	0,053	0,031	0,052	0,056	0,010
José Euclides	0,027	0,060	0,058	0,022	0,055	0,009	0,050	0,045	0,045	0,029	0,031	0,048	0,047	0,032	0,051	0,022	0,056	0,010
Castelão	0,027	0,060	0,037	0,051	0,055	0,061	0,050	0,045	0,045	0,059	0,062	0,048	0,047	0,064	0,045	0,052	0,056	0,010
P ₁	0,055	0,052	0,069	0,044	0,047	0,053	0,050	0,045	0,045	0,059	0,062	0,048	0,047	0,064	0,062	0,044	0,048	0,058
P ₂	0,037	0,035	0,062	0,029	0,031	0,035	0,047	0,043	0,043	0,056	0,059	0,045	0,045	0,061	0,059	0,029	0,032	0,039
P ₃	0,018	0,017	0,055	0,015	0,016	0,018	0,040	0,036	0,036	0,047	0,050	0,038	0,038	0,051	0,050	0,015	0,016	0,019
Solução Ideal (A ⁺)	0,055	0,060	0,069	0,051	0,055	0,061	0,050	0,045	0,045	0,059	0,062	0,048	0,047	0,064	0,062	0,052	0,056	0,058
Solução Anti-ideal (A ⁻)	0,018	0,017	0,037	0,015	0,016	0,009	0,040	0,036	0,036	0,029	0,031	0,038	0,038	0,032	0,031	0,015	0,016	0,010

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela 24 - Desempenho global das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR

ETE/Perfis	Desempenho Global						Desempenho Ambiental						Dimensão Operacional					
------------	-------------------	--	--	--	--	--	----------------------	--	--	--	--	--	----------------------	--	--	--	--	--

	D ⁺	D ⁻	CI(x _i)	Classe	Ranking	D ⁺	D ⁻	CI(x _i)	Classe	D ⁺	D ⁻	CI(x _i)	Classe
Aldemir Martins	0,105	0,084	0,554	I	2°	0,073	0,060	0,546	S	0,075	0,059	0,562	I
José Euclides	0,081	0,104	0,438	I	3°	0,063	0,067	0,485	S	0,050	0,079	0,388	I
Castelão	0,119	0,067	0,639	S	1°	0,087	0,043	0,671	S	0,080	0,051	0,610	I
P ₁	0,126	0,020	0,865	B	-	0,086	0,016	0,840	B	0,092	0,011	0,895	B
P ₂	0,084	0,066	0,563	S	-	0,049	0,053	0,483	S	0,068	0,039	0,638	S
P ₃	0,043	0,117	0,270	I	-	0,020	0,091	0,182	I	0,038	0,074	0,341	I

B: Bom; S: Satisfatório; I: Insatisfatório; R: ruim.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela 25 - Desempenhos global, ambiental e operacional das ETEs por tipologia de tratamento

Tecnologia de tratamento	ETEs	Desempenho Global		Desempenho Ambiental		Dimensão Operacional	
		CI(x _i)	Classe	CI(x _i)	Classe	CI(x _i)	Classe
UASB + Filtro Aeróbio (UASB/FSA)	Centro de Eventos	0,620	Satisfatório	0,632	Satisfatório	0,610	Insatisfatório
	Rosalina	0,420	Insatisfatório	0,527	Satisfatório	0,317	Ruim
	Aracapé III	0,655	Insatisfatório	0,589	Satisfatório	0,703	Insatisfatório
	Lago Azul	0,634	Insatisfatório	0,539	Satisfatório	0,700	Insatisfatório
	Sítio Santana	0,608	Insatisfatório	0,570	Satisfatório	0,632	Insatisfatório
	Zeza Tijolo	0,476	Insatisfatório	0,485	Insatisfatório	0,470	Ruim
	Novo Barroso	0,475	Insatisfatório	0,506	Insatisfatório	0,457	Ruim
	Itaperi	0,406	Ruim	0,494	Insatisfatório	0,342	Ruim
	Riacho Doce	0,400	Ruim	0,468	Insatisfatório	0,356	Ruim
Lagoa Facultativa Aerada + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação (LFA/LFsec/LMsérie)	Tupã Mirim	0,439	Insatisfatório	0,468	Insatisfatório	0,418	Ruim
Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série (LF/LMsérie)	José Walter	0,464	Insatisfatório	0,551	Satisfatório	0,379	Ruim
Lagoa Facultativa (LF)	João Paulo II	0,438	Ruim	0,509	Satisfatório	0,390	Ruim
Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série (LAN/LF/LMsérie)	Tancredo Neves (Lagamar)	0,392	Ruim	0,510	Satisfatório	0,320	Ruim
Lodos Ativados de Aeração Prolongada (LA)	Cj. Palmeiras	0,567	Insatisfatório	0,548	Satisfatório	0,577	Insatisfatório
	São Cristóvão	0,351	Ruim	0,504	Insatisfatório	0,244	Ruim
	Itaperussu	0,437	Insatisfatório	0,526	Satisfatório	0,345	Ruim
UASB + Filtro Aeróbio + Decantador (UASB/FSA/DECANTADOR)	Castelão	0,639	Satisfatório	0,671	Satisfatório	0,610	Insatisfatório
	Aldemir Martins	0,554	Insatisfatório	0,546	Satisfatório	0,562	Insatisfatório

	José Euclides	0,438	Insatisfatório	0,485	Satisfatório	0,388	Insatisfatório
	Pequeno Mondubim	0,664	Insatisfatório	0,546	Insatisfatório	0,745	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 1	0,604	Insatisfatório	0,555	Insatisfatório	0,629	Insatisfatório
	Aracapé II	0,603	Insatisfatório	0,460	Insatisfatório	0,695	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 2	0,589	Insatisfatório	0,605	Satisfatório	0,579	Ruim
	Novo Renascer	0,583	Insatisfatório	0,384	Insatisfatório	0,695	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 4	0,576	Insatisfatório	0,589	Satisfatório	0,569	Ruim
	8 de setembro	0,557	Insatisfatório	0,414	Insatisfatório	0,645	Insatisfatório
	Soares Moreno	0,555	Insatisfatório	0,242	Ruim	0,695	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 5	0,544	Insatisfatório	0,545	Insatisfatório	0,543	Ruim
	Jardim União II - 02	0,544	Insatisfatório	0,442	Insatisfatório	0,606	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 6	0,515	Insatisfatório	0,523	Insatisfatório	0,510	Ruim
	Aracapé I	0,500	Insatisfatório	0,335	Insatisfatório	0,575	Ruim
	Campo dos Ingleses 3	0,500	Insatisfatório	0,527	Insatisfatório	0,484	Ruim
	Jardim União I	0,494	Insatisfatório	0,371	Insatisfatório	0,562	Ruim
	Barroso II	0,488	Ruim	0,492	Insatisfatório	0,484	Ruim
Decanto-digestor + Filtro Anaeróbio (DD/FA)	Campo dos Ingleses 7	0,487	Ruim	0,512	Insatisfatório	0,473	Ruim
	Dom Lorscheider	0,483	Ruim	0,427	Insatisfatório	0,515	Ruim
	Jardim União II - 01	0,476	Ruim	0,274	Ruim	0,555	Ruim
	Passaré II	0,468	Ruim	0,298	Ruim	0,546	Ruim
	Sítio Córrego I	0,467	Ruim	0,372	Insatisfatório	0,515	Ruim
	Conj. PM II – Aracapé	0,462	Ruim	0,358	Insatisfatório	0,515	Ruim
	Ipaumirim	0,460	Ruim	0,369	Insatisfatório	0,505	Ruim
	Sítio Córrego II	0,458	Ruim	0,275	Ruim	0,565	Ruim
	Passaré I	0,456	Ruim	0,437	Insatisfatório	0,466	Ruim
	Marcos Freire	0,419	Ruim	0,131	Ruim	0,501	Ruim
	01 de março	0,417	Ruim	0,277	Ruim	0,481	Ruim
	São Domingos	0,409	Ruim	0,575	Insatisfatório	0,310	Ruim
	Almirante Tamandaré I	0,408	Ruim	0,484	Insatisfatório	0,359	Ruim
	Sítio Estrela	0,404	Ruim	0,274	Ruim	0,466	Ruim
	24 de março	0,388	Ruim	0,294	Ruim	0,427	Ruim
	Monte Líbano	0,384	Ruim	0,559	Insatisfatório	0,265	Ruim
Unidos Venceremos	0,380	Ruim	0,274	Ruim	0,427	Ruim	

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Relativo à tecnologia UASB/FSA/DECANTADOR, os desempenhos globais das ETEs Aldemir Martins e José Euclides foram classificados como “Insatisfatório”, enquanto a ETE Castelão obteve “Satisfatório”. Observou-se que o desempenho global refletiu os desempenhos nas dimensões ambiental e operacional separadamente.

No *ranking*, a ETE Castelão foi a alternativa com melhor desempenho global na tecnologia UASB/FSA/DECANTADOR. Na dimensão ambiental, o desempenho “Satisfatório” foi obtido pela composição dos desempenhos: “Bom” para os indicadores disposição satisfatória de lodo (AM2), frequência de extravasamentos (AM4), reclamações relativas a odor (AM5) e situação da licença de operação da ETE (AM6); “Insatisfatório” pela ausência de reuso de esgoto tratado (AM1); e “Ruim” devido à baixa remoção de DQO (AM3). Na dimensão operacional, destaca-se a classificação “Insatisfatório” em virtude da ausência de programa de manutenção preventiva (OP4) e a conformidade das análises de esgoto tratado para CTT (OP1.9).

A ETE Aldemir Martins exibiu o desempenho “Satisfatório” devido à ausência de reuso de esgoto tratado, remoção insatisfatória de DQO e situação irregular da licença de operação (AM6). Na dimensão operacional, destacam-se a ausência de programa de manutenção preventiva e a conformidade das análises de esgoto tratado para SST (OP1.8) e CTT.

Em contrapartida, a ETE José Euclides apresentou a pior colocação no *ranking* dessa tecnologia, em razão da ausência de reuso de esgoto tratado, remoção insatisfatória de DQO, extravasamentos esporádicos (AM4), situação irregular da licença de operação, ausência de programa de manutenção preventiva e a conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4), DBO (OP1.5), SST e CTT.

Quanto a tecnologia UASB seguida de Filtro Submerso Aeróbio (UASB/FSA), a ETE Centro de Eventos apresentou melhor desempenho que a ETE Rosalina. Essa tecnologia apresentou na média desempenho “Ruim” para remoção de DQO, existência de programa de manutenção preventiva e conformidade das análises de esgoto tratado para SST, DBO, CTT e materiais sedimentáveis. O desempenho médio “Insatisfatório” foi apontado para a situação da licença de operação e reuso de esgoto tratado, enquanto o desempenho médio “Satisfatório” foi atribuído ao estado de conservação da ETE.

No tocante a tecnologia UASB, as ETEs Aracapé III, Lago Azul, Sítio Santana, Zeza Tijolo e Novo Barroso obtiveram desempenho global “Insatisfatório”, enquanto as ETEs Itaperi e Riacho Doce tiveram desempenho “Ruim”. Na média, observou-se desempenho

“Ruim” para a situação da licença de operação, existência de programa de manutenção preventiva e conformidade das análises para SST, DBO, CTT e materiais sedimentáveis. O desempenho médio “Insatisfatório” foi verificado para remoção de DQO, reuso de esgoto tratado e conformidade das análises para sulfeto, já o desempenho médio “Satisfatório” foi conferido ao estado de conservação da ETE e à frequência de extravasamentos.

A ETE Itaperussu, representante da tecnologia Lodos Ativados de Aeração Prolongada (LA), apresentou desempenho global “Insatisfatório”, decorrente principalmente do desempenho “Ruim” para remoção de DQO, situação da licença de operação, ausência de programa de manutenção preventiva e conformidade das análises de esgoto tratado para SST, DBO, CTT e materiais sedimentáveis. O desempenho “Insatisfatório” foi aferido para o estado de conservação da estação e o reuso de esgoto tratado.

Com relação à tipologia Lagoas de Estabilização, a tecnologia Lagoa Facultativa (LF) exibiu desempenho global “Ruim” relativo às estações João Paulo II e Tancredo Neves, refletindo a remoção inadequada de DQO, situação da licença de operação, ausência de programa de manutenção preventiva e conformidade das análises de esgoto tratado para SST, DBO, CTT (0%), sulfeto e materiais sedimentáveis. Destaca-se que essas ETEs não apresentaram análises em conformidade com as metas da Resolução Coema nº 02/2017 para CTT. O desempenho médio “Insatisfatório” foi constatado para o reuso de esgoto tratado e o “Satisfatório” para o estado de conservação da estação.

A ETE José Walter, com tecnologia Lagoa Facultativa seguida de Lagoas de Maturação em série (LF/LMsérie), alcançou desempenho global “Insatisfatório”. O desempenho “Ruim” foi apontado para situação da licença de operação, existência de programa de manutenção preventiva e inconformidade de todas as análises de esgoto tratado para CTT (0%). O desempenho “Insatisfatório” foi conferido para o estado de conservação da estação e o reuso de esgoto tratado, enquanto o “Satisfatório” foi observado para remoção de DQO.

A ETE Tupã Mirim, com tecnologia Lagoa Facultativa Aerada seguida de Lagoa Facultativa Secundária e Lagoas de Maturação em série (LFA/LFsec/LMsérie), atingiu desempenho global “Insatisfatório”. O desempenho “Ruim” foi registrado para remoção de DQO, situação da licença de operação, existência de programa de manutenção preventiva e conformidade das análises de esgoto tratado para DBO (50%) e CTT (0%). Observou-se desempenho “Insatisfatório” para reuso de esgoto tratado e reclamações relativas a odor.

Em referência à tecnologia Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa e Lagoas de Maturação em série (LAN/LF/LMsérie), a ETE Conjunto Palmeiras apresentou desempenho

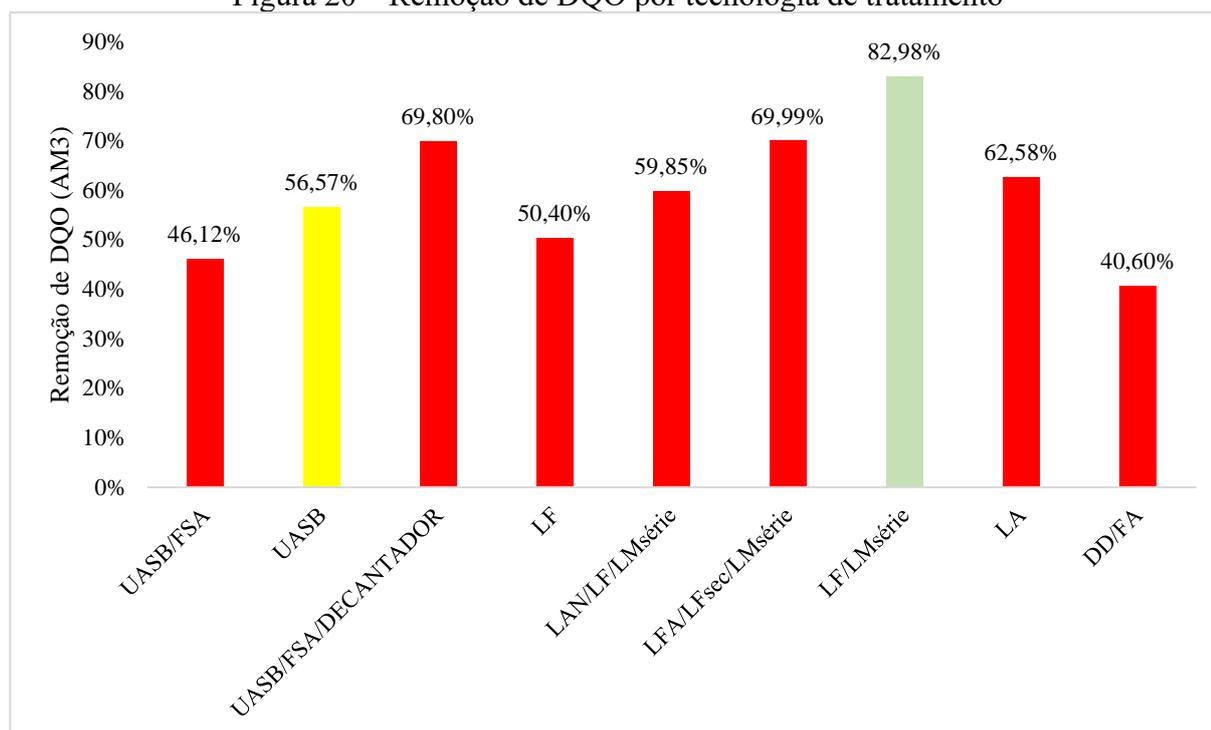
global “Insatisfatório” e a ETE São Cristóvão com desempenho global “Ruim”. Com relação à média, os indicadores remoção de DQO, situação da licença de operação e conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto, DBO, óleos e graxas, materiais sedimentáveis, SST e CTT (0%) apresentaram desempenho “Ruim”. O desempenho “Insatisfatório” foi apresentado para reuso de esgoto tratado, enquanto o “Satisfatório” foi verificado para conformidade das análises para pH e estado de conservação da ETE.

Por fim, a tecnologia Decanto-digestor seguida de Filtro Anaeróbio (DD/FA), com o quantitativo de 32 estações, obteve desempenho global “Insatisfatório” para 14 ETEs e desempenho global “Ruim” para 18 ETEs (Tabela 25). O desempenho médio “Ruim” foi observado para remoção de DQO, situação da licença de operação e conformidade das análises para SST, DBO (6,25%), CTT e materiais sedimentáveis. O desempenho médio “Insatisfatório” foi mostrado para reuso de esgoto tratado, conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto e disposição de lodo, ao passo que o desempenho médio “Satisfatório” foi exibido para frequência de extravasamentos e existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da estação. Destaca-se que 30 ETEs não tiveram nenhuma análise em conformidade com a meta da Resolução Coema nº 02/2017 para DBO.

Consoante os resultados exibidos, as tecnologias com as melhores eficiências de remoção de DQO (AM3) na média, indicador com maior peso no *ranking* AHP com *ratings*, foram Lagoa Facultativa seguida de Lagoas de Maturação em série (82,98%) e UASB (56,57%), classificadas com desempenho “Satisfatório” e “Insatisfatório”, respectivamente. Enquanto, as tecnologias UASB seguida de Filtro Submerso Aeróbio (46,12%) e Lodos Ativados (62,58%) apresentaram as piores eficiências para AM3, com classificação de desempenho “Ruim” (Figura 20). Para isso, considerou-se o desvio dessas eficiências para o limite superior da classe “Ruim”, conforme as respectivas faixas de remoção de DQO dessas tecnologias.

Destaca-se que, no monitoramento dos parâmetros de qualidade, algumas ETEs da do estudo de caso apresentaram, em determinadas amostragens mensais do ano de 2020, eficiência de remoção de DQO negativa (DQO afluente inferior à DQO efluente). Um exemplo desse evento foi verificado na ETE São Cristóvão (LAN/LF/LMsérie), no mês de novembro de 2020, que apresentou DQO afluente de 3.058,76 mg/L e DQO efluente de 8.285,28 mg/L.

Figura 20 – Remoção de DQO por tecnologia de tratamento



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

De acordo com esclarecimento encaminhado pela Cagece: “as DQO’s negativadas, ocorrem em sistemas colapsados como a ETE São Cristóvão, que devido à sobrecarga de vazão proveniente dos Carros Limpa Fossas, encontra-se em estado deficiente de operação”. Assim, variações na eficiência de remoção podem estar associadas a falhas operacionais e de manutenção das ETEs.

Aquino, Silva e Chernicharo (2006) frisam que sistema de tratamento que recebe contribuição significativa de substâncias inorgânicas oxidáveis ou que resulta na produção de substâncias reduzidas (por exemplo, sulfetos durante o tratamento anaeróbio) podem contribuir significativamente para a DQO, subestimando a capacidade do sistema na remoção de matéria orgânica afluente.

Diante do exposto, a avaliação das ETEs por indicadores e categorias de desempenho permitiu uma análise global dessas unidades, identificando as dimensões e os IDs que precisam de maior atenção por parte da companhia de saneamento e dos órgãos de fiscalização ambiental. O *ranking* das ETEs por tipologia de tratamento pode orientar a escolha entre as unidades para possíveis intervenções, visando a melhoria do tratamento das águas residuais e a qualidade da água dos corpos receptores desses efluentes.

4.3 Análise de sensibilidade

Por último, no contexto da problemática de classificação, explorou-se a possibilidade de alteração na classificação final das alternativas por meio de uma análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade do método TOPSIS-Sort envolve a avaliação da estabilidade dos resultados obtidos diante de mudanças nos pesos utilizados na avaliação das alternativas. Para realizar essa análise, executou-se o método algumas vezes, com diferentes configurações de pesos, e comparou-se os resultados obtidos.

Primeiramente, atribuiu-se o mesmo grau de importância a todos os critérios, desconsiderando a aplicação do método AHP com *ratings* (Caso 1). Assim, todos os critérios assumiram o mesmo peso (0,0556) e as alterações ocorridas na classificação foram decorrentes unicamente dos desempenhos de cada alternativa. Em outro cenário (Caso 2), realizou-se variação de 20% para mais no peso de um critério específico (k) e, portanto, a variação proporcional nos pesos dos demais critérios conforme a Equação 11. O critério específico escolhido foi “Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento” (AM3), pois foi o indicador com maior grau de importância no *ranking* obtido pela aplicação do método AHP com *ratings*.

$$\text{novo peso}_j = \text{peso}_j \times \left[\frac{\text{novo peso}_k}{1 - \text{peso}_k} \right], \text{ com } m \text{ critérios } (j = 1, \dots, m); \quad (11)$$

Na Tabela 26, os resultados da análise de sensibilidade para os Casos 1 e 2 podem ser comparados ao resultado original de desempenho global. As classificações destacadas em vermelho referem-se àquelas que diferiram da classificação original de desempenho global.

No Caso 1, observou-se que as seguintes ETEs foram suscetíveis à alteração de classificação para uma classe superior de desempenho: Aracapé III, Itaperi e Riacho Doce (UASB); João Paulo II (LF); Aldemir Martins (UASB/FSA/DECANTADOR); Barroso II, Campo dos Ingleses 7, Dom Lorscheider, Jardim União II – 01, Passaré II, Sítio Córrego I, Conj. PM II – Aracapé, Ipaumirim e Sítio Córrego II (DD/FA). No Caso 2, as ETEs Centro de Eventos (UASB/FSA) e Jardim União I (DD/FA) foram suscetíveis à alteração para uma classe inferior de desempenho, enquanto a ETE Barroso II (DD/FA) teve alteração para uma classe superior.

Quanto à ordenação, as alterações nos pesos dos critérios praticamente não afetaram o *ranking* das ETEs por tipologia de tratamento, indicando consistência dos resultados de

desempenho global obtido pelo método TOPSIS-Sort, apesar da natureza subjetiva dos julgamentos.

Tabela 26 – Análise de sensibilidade por tipologia de tratamento

Tecnologia de tratamento	ETEs	Desempenho Global		Caso 1		Caso 2	
		CI(x _i)	Classe	CI(x _i)	Classe	CI(x _i)	Classe
UASB + Filtro Aeróbio (UASB/FSA)	Centro de Eventos	0,620	Satisfatório	0,632	Satisfatório	0,604	Insatisfatório
	Rosalina	0,420	Insatisfatório	0,440	Insatisfatório	0,420	Insatisfatório
	Aracapé III	0,655	Insatisfatório	0,658	Satisfatório	0,660	Insatisfatório
	Lago Azul	0,634	Insatisfatório	0,643	Insatisfatório	0,631	Insatisfatório
	Sítio Santana	0,608	Insatisfatório	0,617	Insatisfatório	0,611	Insatisfatório
	Zeza Tijolo	0,476	Insatisfatório	0,505	Insatisfatório	0,467	Insatisfatório
	Novo Barroso	0,475	Insatisfatório	0,474	Insatisfatório	0,480	Insatisfatório
	Itaperi	0,406	Ruim	0,434	Insatisfatório	0,401	Ruim
	Riacho Doce	0,400	Ruim	0,414	Insatisfatório	0,400	Ruim
Lagoa Facultativa Aerada + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação (LFA/LFsec/LMsérie)	Tupã Mirim	0,439	Insatisfatório	0,463	Insatisfatório	0,438	Insatisfatório
Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série (LF/LMsérie)	José Walter	0,464	Insatisfatório	0,481	Insatisfatório	0,466	Insatisfatório
Lagoa Facultativa (LF)	João Paulo II	0,438	Ruim	0,457	Insatisfatório	0,433	Ruim
	Tancredo Neves (Lagamar)	0,392	Ruim	0,411	Ruim	0,389	Ruim
Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoas de Maturação em série (LAN/LF/LMsérie)	Cj. Palmeiras	0,567	Insatisfatório	0,581	Insatisfatório	0,568	Insatisfatório
Lodos Ativados de Aeração Prolongada (LA)	São Cristóvão	0,351	Ruim	0,364	Ruim	0,348	Ruim
	Itaperussu	0,437	Insatisfatório	0,459	Insatisfatório	0,434	Insatisfatório
UASB + Filtro Aeróbio + Decantador (UASB/FSA/DECANTADOR)	Castelão	0,639	Satisfatório	0,651	Satisfatório	0,627	Satisfatório
	Aldemir Martins	0,554	Insatisfatório	0,570	Satisfatório	0,556	Insatisfatório
	José Euclides	0,438	Insatisfatório	0,444	Insatisfatório	0,441	Insatisfatório
	Pequeno Mondubim	0,664	Insatisfatório	0,675	Insatisfatório	0,657	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 1	0,604	Insatisfatório	0,616	Insatisfatório	0,601	Insatisfatório
Decanto-digestor + Filtro Anaeróbio (DD/FA)	Aracapé II	0,603	Insatisfatório	0,610	Insatisfatório	0,610	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 2	0,589	Insatisfatório	0,601	Insatisfatório	0,595	Insatisfatório
	Novo Renascer	0,583	Insatisfatório	0,596	Insatisfatório	0,581	Insatisfatório
	Campo dos Ingleses 4 de setembro	0,576	Insatisfatório	0,591	Insatisfatório	0,580	Insatisfatório
	8 de setembro	0,557	Insatisfatório	0,573	Insatisfatório	0,560	Insatisfatório

Soares Moreno	0,555	Insatisfatório	0,568	Insatisfatório	0,550	Insatisfatório
Campo dos Ingleses 5	0,544	Insatisfatório	0,566	Insatisfatório	0,541	Insatisfatório
Jardim União II - 02	0,544	Insatisfatório	0,560	Insatisfatório	0,551	Insatisfatório
Campo dos Ingleses 6	0,515	Insatisfatório	0,542	Insatisfatório	0,510	Insatisfatório
Aracapé I	0,500	Insatisfatório	0,513	Insatisfatório	0,505	Insatisfatório
Campo dos Ingleses 3	0,500	Insatisfatório	0,526	Insatisfatório	0,496	Insatisfatório
Jardim União I	0,494	Insatisfatório	0,519	Insatisfatório	0,494	Ruim
Barroso II	0,488	Ruim	0,492	Insatisfatório	0,505	Insatisfatório
Campo dos Ingleses 7	0,487	Ruim	0,504	Insatisfatório	0,482	Ruim
Dom Lorscheider	0,483	Ruim	0,503	Insatisfatório	0,492	Ruim
Jardim União II - 01	0,476	Ruim	0,496	Insatisfatório	0,476	Ruim
Passaré II	0,468	Ruim	0,501	Insatisfatório	0,458	Ruim
Sítio Córrego I	0,467	Ruim	0,491	Insatisfatório	0,468	Ruim
Conj. PM II – Aracapé	0,462	Ruim	0,488	Insatisfatório	0,462	Ruim
Ipaumirim	0,460	Ruim	0,491	Insatisfatório	0,461	Ruim
Sítio Córrego II	0,458	Ruim	0,492	Insatisfatório	0,443	Ruim
Passaré I	0,456	Ruim	0,479	Insatisfatório	0,466	Ruim
Marcos Freire	0,419	Ruim	0,454	Ruim	0,410	Ruim
01 de março	0,417	Ruim	0,453	Ruim	0,406	Ruim
São Domingos	0,409	Ruim	0,419	Ruim	0,416	Ruim
Almirante Tamandaré I	0,408	Ruim	0,442	Ruim	0,401	Ruim
Sítio Estrela	0,404	Ruim	0,443	Ruim	0,393	Ruim
24 de março	0,388	Ruim	0,427	Ruim	0,381	Ruim
Monte Líbano	0,384	Ruim	0,392	Ruim	0,390	Ruim
Unidos Venceremos	0,380	Ruim	0,421	Ruim	0,371	Ruim

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho resultou no desenvolvimento de metodologia multicritério para avaliação de desempenho de 51 estações de tratamento de esgotos da bacia de esgotamento do Rio Cocó no município de Fortaleza, Ceará.

A partir da revisão de literatura, selecionaram-se 18 IDs mais adequados à avaliação das ETEs e às características da área de estudo para aferir o desempenho dessas instalações quanto a operação e o atendimento aos padrões e condições de lançamento de efluentes tratados. Pontua-se que nessa etapa foram encontradas dificuldades relacionadas à seleção de indicadores, uma vez que não havia muita disponibilidade de valores de referência, bem como não havia medição de alguns IDs pela prestadora de serviço.

Por sua vez, os métodos multicritério Delphi, AHP e TOPSIS-Sort se mostraram eficientes para alcançar o objetivo deste trabalho. A aplicação do método Delphi possibilitou identificar consensos e divergências de opiniões dos 28 atores de decisão consultados sobre os IDs selecionados para avaliar o desempenho das ETEs, mostrando-se um processo estruturado para coletar e analisar opiniões. A técnica de amostragem bola de neve, associada ao método Delphi, foi uma importante estratégia de recrutamento adicional ao painel de especialistas.

O método AHP com *ratings* possibilitou a avaliação e ordenação dos indicadores de acordo com suas respectivas ponderações, permitindo que os tomadores de decisão visualizem quais critérios e alternativas são mais importantes. O método TOPSIS-Sort, utilizado por lidar com a problemática de classificação, possibilitou a determinação do desempenho global das ETEs por tecnologia de tratamento nas categorias de desempenho propostas (“Bom”, “Satisfatório”, “Insatisfatório” ou “Ruim”), representando adequadamente os desempenhos individuais identificados nessas unidades.

De acordo com os resultados obtidos, destaca-se o desempenho “Ruim”, na média, obtido pelos IDs que apresentaram os maiores pesos no *ranking* do método AHP, sendo eles: Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3), Situação da Licença de Operação da ETE (AM6) e Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4), DBO (OP1.5), SST (OP1.8) e CTT (OP1.9).

As tecnologias com as melhores eficiências de remoção de DQO, indicador com maior importância no *ranking* AHP com *ratings*, foram Lagoa Facultativa seguida de Lagoas de Maturação em série e UASB. Enquanto, as tecnologias UASB seguida de Filtro Submerso Aeróbio e Lodos Ativado apresentaram as piores eficiências.

Realizou-se uma análise de sensibilidade que permitiu verificar que o modelo proposto é confiável, já que a classificação de desempenho global permaneceu praticamente inalterada quando houve variação nos pesos dos critérios no método multicritério TOPSIS-Sort.

Constata-se, ainda, que os objetivos deste trabalho foram alcançados e a metodologia multicritério proposta possibilitou a identificação das ETEs, conforme as respectivas tecnologias de tratamento, que necessitavam de intervenção e acompanhamento especial da companhia de saneamento, visando melhorar seus desempenhos.

Destaca-se que a metodologia desenvolvida pode ser adaptada a outros tipos de sistemas de tratamento e diferentes cenários, possibilitando a variação de dados específicos das tecnologias e dos indicadores de acordo com a disponibilidade de dados. Essa flexibilidade da metodologia ajuda a tornar a tomada de decisão no saneamento mais acessível e adaptável às necessidades específicas de cada caso.

Por outro lado, salienta-se a importância do aumento da supervisão e do monitoramento das atividades das prestadoras de serviços, com o objetivo de identificar e corrigir problemas em relação à coleta e ao registro de indicadores. É o caso de parâmetros relevantes, como volume afluente à ETE, volume de efluente tratado e quantitativo da população residente atendida, que não são registrados e acompanhados pela companhia de saneamento.

Assim, é importante reconhecer que melhorar o registro de indicadores por parte das prestadoras de serviços é fundamental para garantir a qualidade e a eficácia dos serviços prestados. Essa é uma questão que deve ser abordada entre as diferentes partes interessadas, incluindo as prestadoras de serviços, os órgãos reguladores e os usuários finais dos serviços.

Espera-se com os resultados desta pesquisa fornecer informações relevantes para que os tomadores de decisão no contexto das ETEs possam avaliar e corrigir possíveis problemas operacionais e de conformidade com os padrões de lançamento de efluentes tratados. Essas informações permitirão a implementação de ações que visam garantir a qualidade da água dos corpos hídricos receptores e a sustentabilidade das ETEs a longo prazo, reduzindo o impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

ACERTAR. **Informação institucional** – História. Disponível em: <http://www.acertarbrasil.com>. Acesso em: 19 ago. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas esgotos:** atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília: ANA, 2020. 44 p.

_____. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017. 88 p.

_____. **A ANA e o saneamento.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/saneamento/ana-e-o-saneamento/ana-e-o-saneamento>. Acesso em: 28 jul. 2020.

_____. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil.** Brasília: ANA, 2012. 264 p.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 11, p. 295-304, 2006.

ARCE. **Informação institucional.** Disponível em: <http://www.arce.ce.gov.br>. Acesso em: 22 ago. 2020.

ARCE. Conselho Diretor. **Resolução n. 222, de 31 de maio de 2017.** Dispõe sobre procedimentos de prestação de informações periódicas e eventuais, institui o sistema de avaliação de desempenho dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, e dá outras providências. Fortaleza, CE: ARCE, 2017. Disponível em: <https://www.arce.ce.gov.br/download/resolucoes-arce/>. Acesso: 22 ago. 2020.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR, E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance Indicators for Water Supply Services.** 3. ed. London: International Water Association (IWA), 2017. 372 p.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R. **Indicadores de Desempenho para Serviços de Abastecimento de Água.** London: IWA: IRAR: LNEC, 2004. 277 p. Tradução e adaptação de DUARTE, P.; ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.

ALEGRE, H.; MATOS, R.; NEVES, E.; CARDOSO, A.; DUARTE, P.; BAPTISTA, J. M.; SIMAS, L. **Guia de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores.** 3ª geração do sistema avaliação. Lisboa: ERSAR: LNEC, 2020. 354 p.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **AWWA utility benchmarking:** performance management for water and wastewater 2019. Disponível em: <https://www.awwa.org/Portals/0/Awwa/Publishing/Books/2019BenchmarkingLookInside.pdf?ver=2020-01-13-141640-207>. Acesso em: 21 ago. 2020.

ANDRÉS, C. P. ¿Deben estar las técnicas de consenso incluidas entre las técnicas de investigación cualitativa?. **Revista Española de Salud Pública**, Madrid, v. 4, n.74, p. 319-321, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO. **Informação institucional – Quem Somos**. Disponível em: <http://abar.org.br/quem-somos/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Guia PNQS 2020: Prêmio Nacional de Qualidade em Saneamento, Regulação e Critérios de Avaliação**. Rio de Janeiro: ABES, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: **Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. NBR 13969 – **Tanques sépticos** – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.

_____. NBR 7229 – **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.

_____. NBR ISO 24510: **Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto** - Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

_____. NBR ISO 24511: **Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto** - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

ASSOCIACIÓN DE ENTES REGULADORES DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE LAS AMERICAS. **Informe anual de evaluación comparativa de desempeño - 2018**. Datos año 2017. Lima: ADERASA, 2019. 129 p.

_____. **Manual de indicadores de gestión para agua potable y alcantarillado sanitario**. Buenos Aires: ADERASA, 2007. 34 p.

BAINHA, F. S. A.; VIANNA, D. S.; MEZA, E. B. M. Aplicação do Método AHP à Tomada de Decisão Gerencial: um estudo de caso em serviço de hotelaria offshore. **Marketing & Tourism Review**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, 2018.

BARROS, I. P. A. F. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Desempenhos para Avaliação de Estações de Tratamento de Esgotos do Distrito Federal**. 2013. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BEHZADIAN, M.; OTAGHSARA, S. K.; YAZDANI, M.; IGNATIUS, J. A state-of the-art survey of TOPSIS applications. **Expert Systems with applications**, Reino Unido, v. 39, n. 17, p. 13051-13069, 2012.

BENEDETTI, L.; DE KEYSER, W.; NOPENS, I.; VANROLLEGHEM, P. A Probabilistic modelling and evaluation of wastewater treatment plant upgrades in a water quality based evaluation context. **Journal of Hydroinformatics**, Londres, v. 12, n. 4, p. 380-395, 2010.

BEZERRA, S. T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 249-258, 2019.

BLACK, N.; MURPHY, M.; LAMPING, D.; MCKEE, M.; SANDERSON, C.; ASKHAM, J.; MARTEAU, T. Consensus development methods: a review of best practice in creating clinical guidelines. **Journal of health services research & policy**, Londres, v. 4, n. 4, p. 236-248, 1999.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. Application of the analytic hierarchy process and the analytic network process for the assessment of different wastewater treatment systems. **Environmental modelling & software**, Reino Unido, v. 26, n. 10, p. 1211-1224, 2011.

BOURRÉE, F.; MICHEL, P.; SALMI, L. R. Consensus methods: review of original methods and their main alternatives used in public health. **Revue d'epidemiologie et de sante publique**, França, v. 56, n. 6, p. e13-e21, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, n. 6, Seção 1, p. 479, 9 de janeiro de 1997.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. (Redação pela Lei nº 14.026, de 2020). Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, n. 5, Seção 1, p. 3, 8 de janeiro de 2007.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, n. 53, Seção 1, p. 58, 17 de março de 2005.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama nº 430/2011. Dispõe sobre 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**, n. 92, Seção 1, p. 89, 16 de maio de 2011.

_____. Secretaria de Gestão do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Guia referencial para medição de desempenho e manual para construção de indicadores**. Brasília, 2009. Disponível em: http://www.gespublica.gov.br/sites/default/files/documentos/guia_indicadores_jun2010.pdf Acesso em: 12 ago. 2020.

BROMLEY, P. Using Nominal Group Technique (NGT) to reach consensus on graduate attributes for nurses undertaking postgraduate certification in neonatal intensive care in Australia. **Journal of Neonatal Nursing**, Reino Unido, v. 20, n. 6, p. 245-252, 2014.

BROSTEL, R. C. **Formulação de modelo de avaliação de desempenho global de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

BUREAU OF METEOROLOGY. **National performance report 2018–19: urban water utilities, part A**. Melbourne: Bureau of Meteorology, 2020. 128 p.

BUTCHART-KUHLMANN, D.; KRALISCH, S.; FLEISCHER, M.; MEINHARDT, M.; BRENNING, A. Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision support using environmental flow components. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 93, p. 470-480, 2018.

CAIADO, R. G. G.; DIAS, R. F.; MATTOS, L. V.; QUELHAS, O. L. G.; LEAL FILHO, W. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency-A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, Reino Unido, v. 165, p. 890-904, 2017.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CAREY, R. O.; MIGLIACCIO, K. W. Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: a review. **Environmental Management**, Nova York, v. 44, n. 2, p. 205-217, 2009.

CARLEIAL, A. N.; ARAÚJO, A. M. M. **Atlas de Fortaleza 2000**. Fortaleza: EdUece, 2010.

CARVALHO, B. E. F. C. **A avaliação de desempenho da prestação de serviços de abastecimento de água independe da perspectiva do avaliador, se usuário ou prestador?**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CASTELLET, L.; MOLINOS-SENANTE, M. Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues. **Journal of Environmental Management**, Reino Unido, v. 167, p. 160-166, 2016.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente. **Área de Proteção Ambiental do Rio Pacoti**. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2013/05/31/area-de-protecao-ambiental-do-rio-pacoti/>. Acesso: 13 jan. 2021.

CHANG, A. M.; GARDNER, G. E.; DUFFIELD, C.; RAMIS, M. A. A Delphi study to validate an advanced practice nursing tool. **Journal of advanced nursing**, Reino Unido, v. 66, n. 10, p. 2320-2330, 2010.

CHANG, P. L.; HSU, C. W.; CHANG, P. C. Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, Reino Unido, v. 36, n. 21, p. 14172-14179, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. 379 p.

COLEMAN, S.; HURLEY, S.; KOLIBA, C.; ZIA, A. Crowdsourced Delphis: Designing solutions to complex environmental problems with broad stakeholder participation. **Global Environmental Change**, Reino Unido, v. 45, p. 111-123, 2017.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO ESTADO DO CEARÁ. **Nossa história**. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/quem-somos/historia/>. Acesso: 20 jan. 2021.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Comitê da Bacia Hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza. **Conheça nossa Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <http://www.cbhrmf.com.br/conheca-nossa-bacia-hidrografica/>. Acesso: 15 dez. 2020.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas**. Fortaleza: COGERH, 2010.

COROMINAS, L; ACUÑA, V.; GINEBREDA, A.; POCH, M. Integration of freshwater environmental policies and wastewater treatment plant management. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 445, p. 185-191, 2013.

COSSIO, C.; NORRMAN, J.; MCCONVILLE, J.; MERCADO, A.; RAUCH, S. Indicators for sustainability assessment of small-scale wastewater treatment plants in low and lower-middle income countries. **Environmental and Sustainability Indicators**, Estados Unidos, v.6, p. 1-10, 2020.

CREATIVE DECISIONS FOUNDATION. **Super Decisions software for decision making**. Disponível em: <http://www.superdecisions.com>. Acesso: 15 abr. 2021.

DALKEY, N.; HELMER, O. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. **Management Science**, Estados Unidos, v. 9, n. 3, p. 458-46, 1963.

DE LOË, R. C.; MELNYCHUK, N.; MURRAY, D.; PLUMMER, R. Advancing the state of policy Delphi practice: A systematic review evaluating methodological evolution, innovation, and opportunities. **Technological Forecasting and Social Change**, Estados Unidos, v. 104, p. 78-88, 2016.

DONG, X.; ZHANG, X.; ZENG, S. Measuring and explaining eco-efficiencies of wastewater treatment plants in China: An uncertainty analysis perspective. **Water Research**, Estados Unidos, v. 112, p. 195-207, 2017.

ENSSLIN, E. R. **Modelo para identificação de oportunidades de aperfeiçoamento para docentes do EPS / UFSC**. 1998. 230p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

FERNANDES, L. B. F. **Modelagem Hidráulica do Interceptor Leste de Fortaleza utilizando o SWMM**. 2017. 89 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FORMAN, E.; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Holanda, v. 108, n. 1, p. 165-169, 1998.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Fortaleza em mapas. Infraestrutura: Unidades de Negócio da Cagece** - 2018. Disponível em: <https://mapas.fortaleza.ce.gov.br/#/>. Acesso: 01 fev. 2021.

_____. Prefeitura Municipal. **Inventário ambiental de Fortaleza: Diagnóstico versão final**. Fortaleza: Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Controle Urbano, 2003.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Diagnóstico do Sistema de Esgotamento Sanitário Revisado**. Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2014a.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Prognóstico dos serviços de esgotamento sanitário**. Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2014b.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano municipal de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas do município de Fortaleza**. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2015.

_____. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Plano de Gestão Integrada da Orla Marítima: Projeto Orla**. Fortaleza: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente, 2018.

FRANÇOZO, R.V.; SILVA, A. C. S.; BELDERRAIN, M. C. N. Avaliação de Projetos em Feiras Científicas Estudantis Combinando Value-Focused Thinking e Analytic Hierarchy Process. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA*, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais ...** Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

GARCIA, E. N. A.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 235-249, 2015.

GARRIDO-BASERBA, M.; HOSPIDO, A.; REIF, R.; MOLINOS-SENANTE, M.; COMAS, J.; POCH, M. Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. **Environmental Modelling & Software**, Reino Unido, v. 56, p. 74-82, 2014.

GBEDEDU, M. A.; LIYANAGE, K. Descriptive framework for simulation-aided sustainability decision-making: A Delphi study. **Sustainable Production and Consumption**, Holanda, v. 22, p. 45-57, 2020.

GEBREZGABHER, S.; TARON, A.; AMEWU, S. Investment climate indicators for waste reuse enterprises in developing countries: Application of analytical hierarchy process and goal programming model. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 144, p. 223-232, 2019.

GHERGHEL, A.; TEODOSIU, C.; DE GISI, S. A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy. **Journal of Cleaner Production**, Reino Unido, v. 228, p. 244-263, 2019.

GOMES, E. G. **Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

GOMES, K. G. A. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. 2009. 150f. Dissertação (Mestrado em Logística) - Departamento de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GOMES, L. A., ARAYA, M. G., E CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 157 p.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GÓMEZ, T.; GÉMAR, G.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R.; CABALLERO, R. Measuring the eco-efficiency of wastewater treatment plants under data uncertainty. **Journal of Environmental Management**, Reino Unido, v. 226, p. 484-492, 2018.

GÓMEZ-LLANOS, E.; DURÁN-BARROSO, P.; MATÍAS-SÁNCHEZ, A. Management effectiveness assessment in wastewater treatment plants through a new water footprint indicator. **Journal of Cleaner Production**, Reino Unido, v. 198, p. 463-471, 2018.

GRABICOVÁ, K.; GRABIC, R.; FEDOROVA, G.; STAŇOVÁ, A. V.; BLÁHA, M.; RANDÁK, T.; BROOKS, B. W.; ŽLÁBEK, V. Water Reuse and Aquaculture: Pharmaceutical Bioaccumulation by Fish during Tertiary Treatment in a Wastewater Stabilization Pond. **Environmental Pollution**, Estados Unidos, p. 1-10, 2020.

GUERRINI, A.; ROMANO, G.; LEARDINI, C.; MARTINI, M. Measuring the efficiency of wastewater services through data envelopment analysis. **Water Science and Technology**, Londres, v. 71, p. 1845-1851, 2015.

HEIKO, A. Consensus measurement in Delphi studies: review and implications for future quality assurance. **Technological forecasting and social change**, Estados Unidos, v. 79, n. 8, p. 1525-1536, 2012.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical

approach for Spain. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 408, n. 4, p. 953-957, 2010.

HUGÉ, J.; MUKHERJEE, N. The nominal group technique in ecology & conservation: Application and challenges. **Methods in ecology and evolution**, Estados Unidos, v. 9, n. 1, p. 33-41, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama Municipal 2018: Fortaleza**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>. Acesso: 17 jan. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em mapas: Bacias hidrográficas**. Fortaleza: IPECE, 2007. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/129x.htm>. Acesso: 15 dez. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Básico Municipal 2017 Fortaleza**. Fortaleza: IPECE, 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Manual do Saneamento Básico: Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**. São Paulo: Trata Brasil, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Activities relating to drinking water and wastewater services** — Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of wastewater services. ISO 24511. Genebra: ISO, 2012. 68 p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

KILGOUR, D. M.; CHEN, Y.; HIPEL, K. W. Multiple criteria approaches to group decision and negotiation. *In*: EHRGOTT, M.; FIGUEIRA, J.; GRECO, S. **Trends in multiple criteria decision analysis**. Boston: Springer, 2010. p. 317-338.

LANDETA, J.; BARRUTIA, J.; LERTXUNDI, A. Hybrid Delphi: A methodology to facilitate contribution from experts in professional contexts. **Technological Forecasting and Social Change**, Estados Unidos, v. 78, n. 9, p. 1629-1641, 2011.

LARA, H. G. A. **Desenvolvimento de procedimento para avaliação de desempenho de sistemas de esgotamento sanitário: aplicação ao caso da RIDE DF e entorno**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

LEHNHART, E. R. **Tomada de decisão em contextos específicos: uma análise das relações entre os métodos multicritérios de apoio à decisão e as estratégias de decisão humana**. 2016. 266f. Tese (Doutorado em Administração) – Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

LI, Y.; XU, Y.; FU, Z.; LI, W.; ZHENG, L.; LI, M. Assessment of energy use and environmental impacts of wastewater treatment plants in the entire life cycle: A system meta-analysis. **Environmental Research**, Estados Unidos, v. 198, p. 110458, 2021.

- LIMA, J. S. Q.; SALES, L. B. F.; MORAIS, T. M. Visão técnica da geografia física aplicada para o desenvolvimento de projetos públicos habitacionais de interesse social em Fortaleza-Ceará. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBGFA, 2009.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi method: Techniques and Applications**. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1975.
- MAHJOURI, M.; ISHAK, M. B.; TORABIAN, A.; MANAF, L. A.; HALIMOON, N. The application of a hybrid model for identifying and ranking indicators for assessing the sustainability of wastewater treatment systems. **Sustainable Production and Consumption**, Holanda, v. 10, p. 21-37, 2017.
- MAHMOUDI, M. J.; FATHI, B.; SAJADIFAR, H.; SHAHSAVARI, A. Measuring efficiency of water and wastewater company: A DEA approach. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, Reino Unido, v. 4, n. 12, p. 1642-1648, 2012.
- MALIK, O. A.; HSU, A.; JOHNSON, L. A.; SHERBININ, A. A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs). **Environmental Science & Policy**, Estados Unidos, v. 48, p. 172-185, 2015.
- MANNINA, G.; REBOUÇAS, T. F.; COSENZA, A.; SÀNCHEZ-MARRÈ, M.; GIBERT, K. Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants—A review of the state of the art. **Bioresource Technology**, Reino Unido, v. 290, p. 1-15, 2019.
- MARQUES, J. B. V.; FREITAS, D. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. **Pro-Posições**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 389-415, 2018.
- MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. **Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais**. London: IWA: IRAR: LNEC, 2004. 283 p. Tradução e adaptação de MATOS, R.; CARDOSO, A.; DUARTE, P.; NEVES, E. B.; RODRIGUES, R.
- MENDONÇA, E. C. **Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Brasil: McGraw Hill, 2015. 2008 p.
- MICHALAKE, A. E.; SILVA, C. R.; SILVA, F. F. Análise dos parâmetros físico-químicos do esgoto tratado de Curitiba (PR)-Estação Belém. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 1560-1569, 2016.
- MOLINARI, A. Panorama mundial. *In: GALVÃO JR, A. C.; SILVA, A. C. Regulação: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda. ARCE, 2006. p. 54-74.

MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; GARRIDO-BASERBA, M.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 497, p. 607-617, 2014.

MUSTAPHA, M. A.; MANAN, Z. A.; ALWI, S. R. W. A new quantitative overall environmental performance indicator for a wastewater treatment plant. **Journal of Cleaner Production**, Reino Unido, v. 167, p. 815-823, 2017.

NAM, S. N.; NGUYEN, T. T.; OH, J. Performance Indicators Framework for Assessment of a Sanitary Sewer System Using the Analytic Hierarchy Process (AHP). **Sustainability**, Suíça, v. 11, n. 10, p. 2746, 2019.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005.

NEGWAMBA, T.; DINKA, M. O. Assessing the performance of Trichardt Wastewater Treatment Plant (South Africa). **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Reino Unido, v. 114, p. 1-4, 2019.

NYGREN, N. A.; TAPIO, P.; QI, Y. Lake management in 2030 - Five future images based on an international Delphi study. **Futures**, Reino Unido, v. 93, p. 1-13, 2017.

OFFICE OF WATER SERVICES. **Key indicators – guidance (printable) - 2013**. Disponível em: https://www.ofwat.gov.uk/wp-content/uploads/2015/12/prs_web_kpiprintable.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

OLIVEIRA, M. L. **Desenvolvimento de método para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água**: aplicação ao caso da RIDE DF e Entorno. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

PADRÓN-PÁEZ, J. I.; ALMARAZ, S. D. L.; ROMÁN-MARTÍNEZ, A. Sustainable wastewater treatment plants design through multiobjective optimization. **Computers & Chemical Engineering**, Holanda, v. 140, p. 1-16, 2020.

PAULA, R. L. **Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos, utilizando métodos multiobjetivo e indicadores**. 2013. 262 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

QUADROS, S.; ROSA, M. J.; ALEGRE, H.; SILVA, C. A performance indicators system for urban wastewater treatment plants. **Water Science and Technology**, Londres, v. 62, n. 10, p. 2398-2407, 2010.

RIVAS, R. E. G. **Uso do método multicritério para tomada de decisão operacional tendo em conta riscos operacionais, à segurança, ambientais e à qualidade.** 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

ROWE, G.; WRIGHT, G. Expert opinions in forecasting: the role of the Delphi technique. *In*: ARMSTRONG, J. S. **Principles of forecasting.** Boston: Springer, 2001. p. 125-144.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique: Past, present, and future prospects — Introduction to the special issue. **Technological forecasting and social change**, Estados Unidos, v. 78, n. 9, p. 1487-1490, 2011.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding.** Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, Reino Unido, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, Holanda, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. **European Journal of Operational Research**, Holanda, v. 168, n. 2, p. 557-570, 2006.

SAATY, T.; VARGAS, L. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process.** 1. ed. New York: Springer, 2001.

SABOKBAR, H.F.; HOSSEINI, A.; BANAITIS, A.; BANAITIENE, N., A novel sorting method topsis-sort: An application for tehran environmental quality evaluation. **E A M: Ekonomie A Management**, República Tcheca v. 19, n. 2, p. 87-104, 2016.

SADOK, W.; ANGEVIN, F.; BERGEZ, J. E.; BOCKSTALLER, C.; COLOMB, B.; GUICHARD, L.; REAU, R.; DORÉ, T. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, França, v. 28, n. 1, p. 163-174, 2008.

SALA-GARRIDO, R.; MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Comparing the efficiency of wastewater treatment technologies through a DEA metafrontier model. **Chemical Engineering Journal**, Holanda, v. 173, n. 3, p. 766-772, 2011.

SALA-GARRIDO, R.; MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. How does seasonality affect water reuse possibilities? An efficiency and cost analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 58, p. 125-131, 2012.

SAMPAIO, P. R. P.; SAMPAIO, R. S. R. The challenges of regulating water and sanitation tariffs under a three-level shared-authority federalism model: The case of Brazil. **Utilities Policy**, Reino Unido, v. 64, p. 1-11, 2020.

SANCHES, A. B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgotos sanitários: uma proposta metodológica**. 2009. 278f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SANDREY, M. A.; BULGER, S. M. The Delphi method: an approach for facilitating evidence based practice in athletic training. **Athletic Training Education Journal**, Estados Unidos, v. 3, n. 4, p. 135-142, 2008.

SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007. 206 p.

SEMACE. Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias Semace nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria Semace nº 151, de 25 de novembro de 2002. Fortaleza, CE: SEMACE, 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso: 22 ago. 2020.

SIDDIQUI, S.; CONKLE, J. L.; SADOVSKI, A. Contiguous US surface water availability and short-term trends of wastewater effluent flows in San Antonio, TX. **Environmental Pollution**, Estados Unidos, v. 265, p. 1-9, 2020.

SILVA, D. F. L. **Estado da arte em modelagem financeira com múltiplos critérios através de uma revisão sistemática e um novo método PDTOPSIS-Sort aplicado na avaliação de debêntures**. 2018. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, D. F. L.; FERREIRA, L.; ALMEIDA FILHO, A. T. A new preference disaggregation TOPSIS approach applied to sort corporate bonds based on financial statements and expert's assessment. **Expert Systems with Applications**, Reino Unido, v. 152, p. 1-13, 2020.

SILVA, R. F. G. **Avaliação ambiental da área marinha do sistema de disposição oceânica dos esgotos sanitários e das praias do litoral oeste de Fortaleza, Ceará, Brasil**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (Brasil). **Informação institucional**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/institucional>. Acesso em: 17 ago. 2020.

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; DA ROCHA, M. S.; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental- Agriambi**, Campina Grande, v. 15, n. 3, 2011.

ULLAH, A.; HUSSAIN, S.; AHMAD, W.; JAHANZAIB, M. Development of a decision support system for the selection of wastewater treatment technologies. **Science of the Total Environment**, Holanda, v. 731, p. 1-12, 2020.

UNITED NATIONS. **General Assembly Resolution 70/169**: The human rights to safe drinking water and sanitation. New York, USA: United Nations, 2015a.

_____. **General Assembly Resolution 70/1**: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York, USA: United Nations, 2015b.

VASCONCELOS, J. P. D. S. **Tecnologia sociais de convivência com o semiárido**: impactos ambientais, sociais e econômicos. 2021. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6939/1/Jo%c3%a3oPSV_ART.pdf. Acesso em 25 de junho de 2022.

VIANNA, T. C.; MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P. Panorama do emprego de tanques sépticos e filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de efluentes no Sudeste brasileiro. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67, n. 220, p. 157-172, 2019.

VINCKE, P. **L'aide muticritère à la décision**. Bruxelas: Éditions de l'Université de Bruxelles, 1989. 179p.

VINUTO, J. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. **Temáticas**, Campinas, v. 22, n. 44, p. 203-220, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgoto**. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 1, 472 p.

VON SPERLING, T. L. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 313-322, 2013.

WILSON, C. Chapter 4 – Brainstorming. *In*: WILSON, C. **User experience re-mastered: your guide to getting the right design**. Burlington: Morgan Kaufmann, 2010. p. 107-134.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines on sanitation and health**. Geneva: World Health Organization, 2018.

XIMENES, M. M. A. F. A ABAR e a construção de instrumentos para a regulação. *In*: GALVÃO JR, A. C.; SILVA, A. C. **Regulação**: indicadores para prestação de serviços de água e esgoto. Fortaleza: Expressão Gráfica Ltda. ARCE, 2006. p. 11-28.

ZANGENEHMADAR, Z.; MOSELHI, O. Prioritizing deterioration factors of water pipelines using Delphi method. **Measurement**, Holanda, v. 90, p. 491-499, 2016.

ZHENG, H. A; KAJI, N.; YOSHINAGA, N.; TOYODA, M. Study on microblog classification based on information publicness. **DEIM Forum**, Tokyo, p. 1-7, 2012.

APÊNDICE A – SISTEMAS ISOLADOS NA BACIA DO RIO COCÓ

Nº	ETE	Sub-bacia	Tipologia de tratamento	Descrição	Unidade de Negócio	Endereço	Corpo receptor
1	Centro de Eventos	CD-2	UASB/FSA/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB em paralelo seguidos cada com 01 FSA, 01 tanque de contato e 01 adensador, e desinfecção. Desidratação em filtro prensa	UN-MTE	Rua Governador Manoel de Castro Filho, s/n – Edson Queiroz	Drenagem pluvial
2	01 de março	CD-3	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Idelzuite, 80 - Barroso	Rio Cocó
3	João Paulo II	CD-3	LE	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 lagoa facultativa	UN-MTE	Rua Erisa Martins – João Paulo II – Jangurussu	Rio Cocó
4	Lago Azul	CD-3	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e desinfecção	UN-MTE	Rua 08, s/n – Barroso	Galeria
5	Sítio Estrela	CD-3	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Yara Santos, s/n, esquina com a Rua Escritor Tom Jobim – Barroso	Lagoa Jaguaribe
6	Sítio Santana	CD-3	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e desinfecção	UN-MTE	Rua Igarassú, s/n – Barroso	Drenagem pluvial
7	Tancredo Neves (Lagamar)	CD-3	LE	Lagoa facultativa	UN-MTE	Rua do Mangue, 205-55 – Jardim das Oliveiras	Rio Cocó
8	Zeza Tijolo	CD-3	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB seguido de desinfecção	UN-MTE	Rua Tainá Pires, s/n Esquina com a Rua José Alberto Sá Pires-Qd.12-Cajazeiras	Riacho sem denominação oficial
9	Aldemir Martins	CD-4	UASB/FSA/CL	ETE de pequeno porte composta de tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha	UN-MTE	Rua Chico da Silveira S/N – Sitio Ancuri. próx.	Galeria

				Parshall), duas bombas submersíveis, 02 reatores UASB em paralelo seguidos de 02 FSA e 02 decantadores lamelar, com desinfecção		Ao Centro Educacional Patativa do Assaré	
10	Almirante Tamandaré I	CD-4	DD/FA/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 módulos na seguinte situação: 01 decantodigestor seguido de 02 filtros anaeróbios em paralelo e desinfecção	UN-MTE	Rua Gergelim, 138 – Bairro Jangurussu	Drenagem pluvial
11	Cj. Palmeiras	CD-4	LE	ETE de médio porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa anaeróbia, seguida de 01 facultativa e 02 de maturação, todas em série	UN-MTE	Rua Serra Azul, 15 – Conj. Palmeiras II	Rio Cocó
12	Dom Lorscheider	CD-4	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Prof. Paulo Freire c/ Rua Missionário Oliveira – Bairro Jangurussu	Galeria de águas pluviais
13	José Euclides	CD-4	UASB/FSA/CL	ETE de pequeno porte composta de tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha Parshall), duas bombas submersíveis, 02 reatores UASB em paralelo seguidos de 02 FSA e 02 decantadores lamelar, com desinfecção	UN-MTE	Rua B - Cj Residencial José Euclides, Jangurussu	Rio Cocó
14	São Cristóvão	CD-4	LE	ETE de médio porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa anaeróbia, seguida de 01 facultativa e 02 de maturação, todas em série	UN-MTE	Rua Beira Rio do Cocó, s/n (em frente ao número 210) - Jangurussu	Afluente do rio Cocó
15	São Domingos	CD-4	DD/FA/CL	ETE de pequeno porte composta por tanque séptico modificado e filtro anaeróbio seguido de desinfecção	UN-MTE	Rua Domingos Alves Ribeiro, s/n – Messejana	Galeria
16	8 de setembro	CE-4	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua VI, s/n Conj. 8 de setembro – Castelão	Riacho próximo
17	24 de março	CE-6	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua dos Esquecidos c/ Rua Cachoeira, Barroso II	Lagoa Passaré
18	Barroso II	CE-6	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Regina de Fátima, 3289 - Passaré	Galeria de águas pluviais
19	Castelão	CE-6	UASB/FSA/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha	UN-MTE	Avenida Alberto	Galeria

				parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB em paralelo seguidos cada com 01 FSA, 01 decantador lamelar, 01 tanque de contato e 02 filtros de areia e desinfecção		Craveiro, 2900, em frente à Arena Castelão, Bairro Boa Vista	
20	Jangurussu	CD-6	LE	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 lagoas anaeróbias em série seguida de 01 facultativa	UN-MTE	Av. Castelo de Castro, 835 – Jangurussu (antiga Rua Pompílio Gomes)	Rio Cocó
21	Novo Barroso	CE-6	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 03 reatores UASB em paralelo e desinfecção	UN-MTE	Rua Emiliano de Almeida Braga, 980 – Messejana	Drenagem pluvial
22	Unidos Venceremos	CE-6	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Av. Castelo de Castro com Cristais Paulista, Barroso	Rio Cocó
23	Itaperussu	CE-7	LA	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e 02 bombas submersíveis, seguido 02 reatores de Lodos Ativados de Aeração Prolongada, decantador secundário e desinfecção	UN-MTE	Rua 06, s/n, Bairro Parque Dois Irmãos	Rio Cocó
24	Passaré I	CE-7	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua 3 com Des. Otacílio Peixoto - Passaré	Lagoa Passaré
25	Passaré II	CE-7	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua 3 com Des. Otacílio Peixoto - Passaré	Boca de lobo projetada
26	Soares Moreno	CE-7	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Av. Mar. Bittencourt com Av. Dedé Brasil	Galeria de águas pluviais
27	Jardim União I	CE-8	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Argentina Pinheiro Torres com Rua G - Passaré	Açude próximo
28	Jardim União II - 01	CE-8	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Marcelino de Souza nº 1000 - Passaré	Açude próximo
29	Jardim União II - 02	CE-8	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Argentina Pinheiro Torres com Rua 23 de junho - Passaré	Açude próximo
30	Nova Descoberta/ Favela Vertical	CE-8	DD/FA	-	UN-MTS	Rua Mossoró com Rua das Aroeiras, Passaré	Riacho próximo

31	Riacho Doce	CE-8	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e desinfecção	UN-MTE	Rua 15, nº 32 – Passaré (próximo a FEBEMCE)	Córrego Passaré
32	Rosalina	CE-8	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reator UASB e desinfecção	UN-MTE	Rua de Pedestre 01 – conjunto Rosalina – Jardim União	Córrego Passaré
33	Campo dos Ingleses 1	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 01, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
34	Campo dos Ingleses 2	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 02, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
35	Campo dos Ingleses 3	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 03, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
36	Campo dos Ingleses 4	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 04, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
37	Campo dos Ingleses 5	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 05, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
38	Campo dos Ingleses 6	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 06, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
39	Campo dos Ingleses 7	CE-9	DD/FA/CL	-	UN-MTO	Rua 03, s/n – Jardim Cearense	Riacho Martinho
40	Itaperi	CE-9	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 01 reator UASB e desinfecção	UN-MTE	Rua João de França, s/n - (esq. Rua Américo Vespúcio) – Itaperi	Rio Cocó
41	Tupã Mirim	CE-9	LE	ETE de médio porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas instaladas em poço seco, com 01 lagoa facultativa aerada, 01 facultativa secundária, e 02 de maturação em série	UN-MTE	Rua 136, s/n - bairro Parque Dois Irmãos	Rio Cocó
42	Santa Maria Gorete	CE-9	DD/FA	-	UN-MTO	Rua Quatro de Julho, s/n – Itaperi	Riacho Martinho
43	Aracapé I	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Nossa Senhora Aparecida s/n esquina com Rua C – Mondubim	Riacho próximo
44	Aracapé II	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Av. C, 356 – Mondubim	Riacho próximo
45	Aracapé III	CE-	UASB/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha	UN-MTE	Rua Ferdinando Alves	Drenagem

		10		parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 reatores UASB em paralelo e desinfecção		Sousa, 1001 – Bairro Mondubim	pluvial
46	Conj. PM II – Aracapé	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rod. Mendel Streinbush - CE- 040, Conj. PM Acarape	Boca de lobo existente
47	Ipaumirim	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Ipaumirim com Rua 03 – Lot. Arvoredo	Lagoa Osmar Machado
48	Marcos Freire	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua A com Rua E s/n – prox. A Lagoa do Catão – José Walter	Riacho Osmani Machado
49	Monte Líbano	CE-10	DD/FA/CL	ETE de pequeno porte composta por tanque séptico modificado e filtro anaeróbio seguido de desinfecção	UN-MTE	Rua Monte Líbano, s/n, Planalto Ayrton Senna	Rio Cocó
50	Novo Renascer	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Ayrton Senna, s/n, em frente à casa 120 - Mondubim	Galeria de águas pluviais
51	Pequeno Mondubim	CE-10	DD/FA/CL	ETE de pequeno porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 módulos na seguinte situação: 02 decantodigestor seguido de 02 filtros anaeróbios em paralelo e desinfecção	UN-MTE	Av. Bernardo Manoel, 12138 no bairro Conj. José Walter	Rio Cocó
52	Sítio Córrego I	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua 14 c/ Rua 13, Sítio Córrego - Mondubim	Córrego existente
53	Sítio Córrego II	CE-10	DD/FA/CL	-	UN-MTS	Rua Seis, 289 - Mondubim	Córrego existente
54	José Walter	CE-11	LE	ETE de grande porte composta por 01 lagoa facultativa seguida de 02 lagoas de maturação em série	UN-MTE	Av. K, 50 – Conjunto Prefeito José Walter (esquina com Rua Poeta Mário Linhares)	Rio Cocó
55	DIF III	CE-11	UASB/LE	ETE de grande porte com grade, caixa de areia, calha parshall, poço de sucção, 02 bombas submersíveis, com 02 módulos em paralelo do seguinte sistema: 01 Reator UASB seguido de 01 lagoa facultativa e 02 de maturação, todas em série.	UN-MTE	Via Penetração Três, 892 - José Walter	Rio Cocó

Fonte: Informações fornecidas pela Cagece.

CL: cloração; DD/FA: decanto-digestor + filtro anaeróbio; FSA: filtro submerso aerado; LA: lodos ativados; LE: lagoas de estabilização.

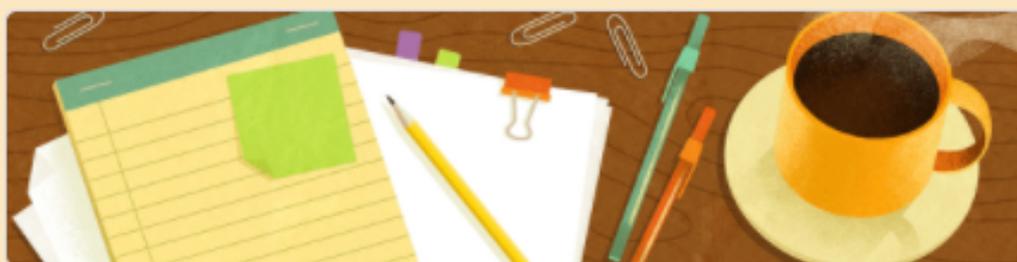
APÊNDICE B – INDICADORES DE DESEMPENHO SELECIONADOS E PROPOSTOS

Código	Indicador	Unidade	Dimensão	Definição	Entidade (código do ID)
AM1	Reuso de esgoto tratado	%	Ambiental	Volume de efluente tratado reutilizado/ volume total de efluente tratado*100	IWA (wEn2), ABNT NBR ISO 24511
AM2	Disposição satisfatória de lodo	%	Ambiental	Quantidade de lodo com destino final adequado/ quantidade de lodo gerado no tratamento *100	OFWAT (9), IWA, ERSAR, Six-Cities Group
AM3	Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento	%	Ambiental	Diferença de concentração entre DQO afluente e DQO efluente/concentração de DQO afluente * 100	PNQS (ISp03), Six-Cities Group
AM4	Frequência de extravasamentos	-/ano	Ambiental	Número de extravasamentos durante o período de referência	IWA (wEn3)
AM5	Reclamações relativas a odor	nº/1000 hab./ano	Ambiental	Número de reclamações relativas a maus odores/ população residente no período de referência * 1000	IWA (wQS23)
AM6	Situação da Licença de Operação da ETE	-	Ambiental	Verifica a regularidade da Licença de Operação da ETE e o cumprimento das suas condicionantes	Proposto
OP1	Conformidade das análises de esgoto tratado	%	Operacional	Quantidade total de análises de parâmetros do efluente em conformidade com as metas de concentração da legislação/ quantidade total de análises realizadas no período de referência * 100	ABAR (Aderasa - ICC04), ADERASA, AWWA
				pH (OP1.1)	
				Temperatura (OP1.2)	
				Sulfeto (OP1.3)	
				Materiais sedimentáveis (OP1.4)	
				DBO (OP1.5)	
				Óleos e graxas (OP1.6)	
				Materiais flutuantes (OP1.7)	

					Sólidos suspensos totais (OP1.8)	
					Coliformes termotolerantes (OP1.9)	
OP2	Estado de conservação da ETE	-	Operacional	Verifica o estado de conservação das unidades de tratamento da ETE		Proposto
OP3	Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE	-	Operacional	Verifica se há plano de ações de emergências e contingências com o objetivo de mitigar os efeitos de acidentes no caso de paralisação da ETE		Proposto
OP4	Existência de programa de manutenção preventiva	-	Operacional	Verifica se há programas de manutenção preventiva a fim de evitar falhas e aumentar a vida útil das unidades de tratamento da ETE		Proposto

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO APLICADO NO MÉTODO DELPHI



Consulta Delphi para o desenvolvimento de modelo de avaliação das estações de tratamento de esgotos de uma bacia de esgotamento no município de Fortaleza, Ceará.

Prezado (a),

Venho solicitar a sua colaboração voluntária no preenchimento deste questionário, instrumento de coleta de dados, para avaliar o desempenho de estações de tratamento de esgotos (ETEs) de uma bacia de esgotamento. Essa avaliação pretende identificar a ocorrência de inconformidades dessas ETEs, tanto de natureza operacional, como as associadas a condições e padrões de lançamento de efluentes tratados, que podem comprometer a qualidade dos corpos hídricos receptores.

Esse instrumento constitui uma importante etapa da minha tese de doutorado que está sendo desenvolvida sob orientação da Professora Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará.

Esse questionário visa apoiar a seleção de indicadores de desempenho (IDs) existentes em sistemas nacionais e internacionais de organizações de saneamento, que sejam mais adequados à avaliação de ETEs. Para isso, os IDs pré-selecionados nas dimensões ambiental e operacional serão ponderados por meio de critérios segundo a percepção de um grupo de especialistas em tratamento de esgotos.

Todas as informações aqui fornecidas são sigilosas e somente serão utilizadas para a validação dos IDs pré-selecionados. As respostas concedidas serão analisadas e tabuladas, respeitando o anonimato dos respondentes.

O prazo de envio do questionário pelo respondente será de 15 dias.

Agradeço a colaboração e me disponho a responder quaisquer dúvidas.

Atenciosamente,

Stephanie de Oliveira Souza
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Identificação

Dados pessoais do respondente.

Nome completo *

Sua resposta _____

E-mail *

Sua resposta _____

Formação *

Sua resposta _____

Ocupação atual *

Sua resposta _____

Organização/Instituição/Empresa *

Sua resposta _____

Cidade/UF *

Sua resposta _____

Indique a esfera de atuação em que você se enquadra no sistema de esgotamento sanitário *

- Órgão regulador
- Prestadora de serviços (companhia de saneamento)
- Órgão ambiental
- Pesquisador/Especialista da área de saneamento
- Consultor da área de saneamento
- Outro: _____

Avaliação das dimensões de indicadores de desempenho

Verificar a importância das seguintes dimensões (grupos) de indicadores para a avaliação de desempenho de ETEs:

- Dimensão AMBIENTAL: abrange indicadores referentes aos impactos ambientais, incluindo o atendimento aos padrões de lançamento, o lançamento de vazões excedentes e a disposição final dos resíduos sólidos (lodo, sedimentos, entre outros);
- Dimensão OPERACIONAL: avalia o desempenho quanto ao funcionamento, à manutenção do sistema e à capacidade de operação do tratamento. Inclui calibração de equipamentos, consumo de energia, monitoramento da qualidade do esgoto e a utilização de automação;

De acordo com a seu ponto de vista, indique a **IMPORTÂNCIA** das dimensões de IDs apresentadas a seguir para a avaliação de uma ETE, objetivando o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes tratados e a preservação da qualidade dos corpos hídricos receptores. *

IMPORTÂNCIA: relevância da dimensão para a avaliação de ETEs.

	Irrelevante	Pouco importante	Importância moderada	Importante	Muito importante	Não opinar
AMBIENTAL	<input type="radio"/>					
OPERACIONAL	<input type="radio"/>					

Algum comentário sobre o item anterior? Se sim, comente abaixo:

Sua resposta

Avaliação dos IDs conforme os critérios: importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade

Definições dos critérios:

- **IMPORTÂNCIA:** relevância do ID para a avaliação de ETEs, representando processos e atividades;
- **MENSURABILIDADE:** facilidade de obtenção do ID a partir de dados disponíveis e determinados regularmente;
- **FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO:** o ID é definido claramente, de fácil compreensão e de interpretação única;
- **SENSIBILIDADE:** o ID reflete um efeito cuja causa é passível de mudança.
(Exemplo: o indicador "Reclamações Relativas ao Odor" pode apontar para más condições de operação (ex. vazamento de biogás), causando desconforto na população que reside nas proximidades da ETE).

De acordo com a seu ponto de vista, avalie a **IMPORTÂNCIA**, a **MENSURABILIDADE**, a **FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO** e a **SENSIBILIDADE** dos IDs apresentados a seguir para a avaliação de uma ETE, objetivando o atendimento aos padrões de lançamento de efluentes tratados e a preservação da qualidade dos corpos hídricos receptores.
Classifique os IDs segundo a escala de valor de cada critério.

Escala de valor a ser utilizada para avaliação dos IDs:

IMPORTÂNCIA		MENSURABILIDADE		FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO		SENSIBILIDADE	
5	Muito importante	5	Muito mensurável	5	Muito claro e compreensível	5	Muito sensível
4	Importante	4	Mensurável	4	Claro e compreensível	4	Sensível
3	Importância moderada	3	Mensuração moderada	3	Clareza e compreensão moderada	3	Sensibilidade moderada
2	Pouco importante	2	Pouco mensurável	2	Pouco claro e compreensível	2	Pouco sensível
1	Irrelevante	1	Imensurável	1	Ambíguo e incompreensível	1	Insensível

Comparação pareada entre os critérios: importância, mensurabilidade, facilidade de interpretação e sensibilidade.

- **IMPORTÂNCIA:** relevância do ID para a avaliação de ETEs, representando processos e atividades;

- **MENSURABILIDADE:** facilidade de obtenção do ID a partir de dados disponíveis e determinados regularmente;

- **FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO:** o ID é definido claramente, de fácil compreensão e de interpretação única;

- **SENSIBILIDADE:** o ID reflete um efeito cuja causa é passível de mudança.

(Exemplo: o indicador 'Reclamações Relativas ao Odor' pode apontar para más condições de operação (ex. vazamento de biogás), causando desconforto na população que reside nas proximidades da ETE).

Ao se comparar dois dos critérios listados acima, qual é considerado **MAIS IMPORTANTE** em relação ao objetivo geral de "Avaliação de ETEs por meio de indicadores de desempenho"?

Utilize a seguinte escala de valor para avaliar a importância relativa de um critério sobre o outro:

Escala adaptada	Definição	Explicação
1	Importância IGUAL entre os critérios	Os dois critérios contribuem <i>igualmente</i> para o objetivo
3	Importância FRACA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A experiência e o julgamento favorecem <i>ligeiramente</i> um critério sobre o outro
5	Importância FORTE ou ESSENCIAL do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A experiência e o julgamento favorecem <i>fortemente</i> um critério sobre o outro
7	Importância MUITO FORTE ou DEMONSTRADA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	Um critério é <i>fortemente</i> favorecido em relação ao outro e sua <i>dominância</i> é demonstrada na prática
9	Importância ABSOLUTA do <i>primeiro</i> critério sobre o <i>segundo</i>	A evidência que favorece um critério sobre o outro é da <i>mais alta ordem</i> de afirmação possível
1/3	Importância FRACA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/5	Importância FORTE ou ESSENCIAL do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/7	Importância MUITO FORTE ou DEMONSTRADA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-
1/9	Importância ABSOLUTA do <i>segundo</i> critério sobre o <i>primeiro</i>	-

Compare os critérios IMPORTÂNCIA, MENSURABILIDADE, FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO e SENSIBILIDADE por meio da comparação par a par, a fim de medir os seus respectivos pesos. *

Passa o mouse sobre a barra de rolagem horizontal para visualizar toda a escala.

	1	3	5	7	9	1/3
IMPORTÂNCIA/MENSURABILIDADE	<input type="radio"/>					
IMPORTÂNCIA/FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO	<input type="radio"/>					
IMPORTÂNCIA/SENSIBILIDADE	<input type="radio"/>					
MENSURABILIDADE/FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO	<input type="radio"/>					
MENSURABILIDADE/SENSIBILIDADE	<input type="radio"/>					
FACILIDADE DE INTERPRETAÇÃO/SENSIBILIDADE	<input type="radio"/>					

Algum comentário sobre o item anterior? Se sim, comente abaixo:

Sua resposta

Indicação de outros profissionais

Indique até TRÊS PROFISSIONAIS com atuação no sistema de esgotamento sanitário para o preenchimento desse questionário.

Profissional 1

Nome *

Sua resposta

E-mail *

Sua resposta

APÊNDICE D – RESPOSTAS DA CONSULTA DELPHI

Tabela D-1 – Respostas dos especialistas para a avaliação dos indicadores de desempenho conforme os critérios de avaliação

Indicadores	Critérios	Especialistas																												CV (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Reuso de esgoto tratado (AM1)	Importância	5	5	4	4	5	3	5	2	-	5	4	4	5	5	3	4	5	3	3	3	5	5	3	4	5	4	4	3	23
	Mensurabilidade	4	5	4	4	4	2	4	3	-	5	4	5	4	4	5	3	5	-	5	5	5	5	5	3	4	5	5	4	19
	Facilidade de interpretação	3	5	5	3	4	4	4	5	-	5	4	5	4	4	5	3	5	3	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	18
	Sensibilidade	3	5	4	5	3	2	5	5	-	5	5	5	3	5	3	3	3	3	3	2	5	4	4	4	5	4	5	4	26
Disposição satisfatória do lodo (AM2)	Importância	5	4	4	5	5	3	5	4	-	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	5	12
	Mensurabilidade	4	5	3	5	5	2	5	4	-	5	5	5	4	3	5	4	5	-	4	3	5	5	2	2	4	4	5	4	25
	Facilidade de interpretação	3	5	4	4	4	4	5	4	-	5	4	5	4	3	5	4	5	3	4	3	5	5	3	4	4	4	5	5	18
	Sensibilidade	3	4	5	5	4	2	5	5	-	5	4	5	3	4	3	4	4	5	3	3	5	4	4	4	5	4	5	4	21
Remoção de DQO do esgoto recebido na estação de tratamento (AM3)	Importância	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	7
	Mensurabilidade	4	4	4	4	5	3	4	5	5	5	4	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	5	5	2	5	5	5	5	18
	Facilidade de interpretação	4	4	5	4	5	3	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4	5	4	4	13
	Sensibilidade	4	4	4	5	5	4	4	5	3	5	4	5	4	4	5	5	3	5	3	4	4	5	5	3	5	5	5	4	17
Frequência de extravasamentos (AM4)	Importância	4	3	4	4	5	2	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	19
	Mensurabilidade	3	3	5	4	2	3	3	2	5	5	4	4	5	5	3	5	4	-	3	5	5	4	2	4	3	5	5	3	28
	Facilidade de interpretação	3	3	5	4	2	2	2	5	5	5	4	4	5	4	3	5	3	-	3	5	4	5	2	5	4	5	5	3	29
	Sensibilidade	3	3	2	4	3	2	3	5	5	5	4	4	5	4	5	5	3	5	3	5	3	4	5	4	5	4	5	4	25
Reclamações relativas a odor (AM5)	Importância	4	4	4	5	5	3	5	4	5	5	5	5	5	4	5	3	4	5	3	5	5	5	5	3	5	4	5	4	17
	Mensurabilidade	3	5	3	3	3	2	5	4	5	5	5	5	4	5	3	3	3	5	3	5	5	4	3	2	5	5	4	2	28
	Facilidade de interpretação	3	4	5	3	3	2	5	5	5	5	4	4	5	3	3	3	3	5	3	1	5	5	3	2	5	5	5	2	32
	Sensibilidade	3	4	3	4	3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	5	3	4	5	3	1	3	5	3	3	5	4	5	5	26
Situação da Licença de Operação da ETE (AM6)	Importância	5	4	5	5	5	3	5	4	5	-	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4	15
	Mensurabilidade	4	4	5	4	4	4	5	5	5	-	4	4	3	4	5	4	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3	17
	Facilidade de interpretação	-	4	5	4	4	4	5	5	5	-	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	5	3	16

	Sensibilidade	-	4	5	4	3	3	2	5	5	-	4	4	3	5	3	4	5	5	5	5	5	4	3	5	4	5	3	22	
Conformidade das análises de esgoto tratado para pH (OP1.1)	Importância	5	3	5	4	5	3	5	2	5	-	4	4	4	4	3	4	3	5	4	2	5	4	5	2	5	5	5	4	25
	Mensurabilidade	5	3	5	5	5	3	5	5	5	-	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	3	5	4	5	15	
	Facilidade de interpretação	5	4	4	5	5	4	4	5	4	-	3	4	5	4	3	4	4	5	5	5	5	5	2	3	3	4	4	4	20
	Sensibilidade	5	3	3	4	4	3	2	5	3	-	3	5	3	3	2	4	3	5	4	5	3	5	3	3	4	3	5	3	27
Conformidade das análises de esgoto tratado para temperatura (OP1.2)	Importância	4	3	3	3	5	2	4	2	5	-	4	4	4	3	3	4	3	5	4	2	5	4	5	2	4	5	5	4	27
	Mensurabilidade	5	3	5	5	5	3	3	5	5	-	4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	4	5	17
	Facilidade de interpretação	5	3	5	3	5	4	4	5	4	-	4	3	5	3	3	4	5	5	5	5	5	5	2	4	3	4	4	4	22
	Sensibilidade	5	3	2	3	4	3	2	5	3	-	4	3	3	3	2	4	4	5	4	2	3	5	2	2	4	3	5	3	30
Conformidade das análises de esgoto tratado para sulfeto (OP1.3)	Importância	4	2	4	4	5	3	5	3	5	-	4	5	4	5	3	4	3	3	4	5	5	3	5	3	5	5	5	4	23
	Mensurabilidade	4	2	4	3	5	3	5	5	5	-	4	5	5	4	3	4	4	-	4	3	5	5	4	3	4	5	4	5	21
	Facilidade de interpretação	4	2	2	3	5	4	5	5	4	-	4	4	5	4	4	4	4	-	5	4	5	5	3	3	4	5	5	4	22
	Sensibilidade	4	2	3	4	4	3	5	5	3	-	5	5	4	4	2	4	4	-	4	3	3	5	3	3	4	5	5	3	25
Conformidade das análises de esgoto tratado para materiais sedimentáveis (OP1.4)	Importância	5	3	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	4	4	3	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	14
	Mensurabilidade	5	3	4	5	5	3	4	5	5	-	5	4	5	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	3	5	4	5	17
	Facilidade de interpretação	5	3	3	5	5	4	4	5	5	-	4	4	5	4	5	5	5	5	5	3	5	5	4	4	4	5	4	4	16
	Sensibilidade	5	3	3	5	4	4	2	5	5	-	4	5	4	4	3	5	4	5	4	5	3	5	4	5	4	4	5	3	21
Conformidade das análises de esgoto tratado para DBO (OP1.5)	Importância	5	4	5	5	5	4	5	5	5	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	7
	Mensurabilidade	5	3	4	5	5	3	5	5	3	-	5	4	5	4	3	5	4	5	5	2	5	5	5	5	3	5	5	5	21
	Facilidade de interpretação	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	9	
	Sensibilidade	5	3	3	4	4	4	2	5	4	-	5	5	4	4	5	5	4	5	4	4	3	5	5	5	4	5	5	3	20
Conformidade das análises de esgoto tratado para óleos e graxas (OP1.6)	Importância	4	3	4	5	5	3	5	3	5	-	4	5	4	4	4	5	3	5	5	4	5	4	5	3	5	5	5	4	18
	Mensurabilidade	4	5	4	4	5	3	5	5	4	-	5	4	5	4	3	5	4	5	4	2	5	5	5	3	4	5	5	5	19
	Facilidade de interpretação	4	3	3	4	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	3	5	4	5	5	2	5	5	3	3	3	4	4	4	21
	Sensibilidade	4	4	3	4	4	3	2	5	5	-	5	5	4	4	3	5	4	5	4	2	3	4	3	2	4	5	5	3	26
Conformidade das análises de esgoto	Importância	5	5	3	4	5	3	5	3	5	-	4	5	4	4	3	4	3	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	4	20
	Mensurabilidade	5	4	4	5	5	3	5	5	5	-	4	4	5	4	2	3	3	-	5	1	5	5	5	4	4	5	4	5	25

tratado para materiais flutuantes (OP1.7)	Facilidade de interpretação	5	4	4	4	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	2	4	3	-	5	1	5	4	4	3	4	4	5	4	24	
	Sensibilidade	5	4	3	5	4	3	2	5	5	-	5	5	4	4	3	4	2	4	4	1	3	4	4	4	5	5	5	3	28	
Conformidade das análises de esgoto tratado para sólidos suspensos totais (OP1.8)	Importância	5	5	5	4	5	4	5	5	5	-	5	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	11	
	Mensurabilidade	5	5	4	5	5	3	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	12
Conformidade das análises de esgoto tratado para coliformes termotolerantes (OP1.9)	Facilidade de interpretação	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	5	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	12
	Sensibilidade	5	5	3	5	4	4	2	5	5	-	5	5	3	3	3	5	4	5	4	5	3	5	5	5	5	5	4	5	3	22
Estado de conservação da ETE (OP2)	Importância	5	5	5	5	5	4	5	5	5	-	5	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	3	5	4	5	5	4	4	14	
	Mensurabilidade	5	5	4	4	5	3	5	5	5	-	5	5	5	5	2	5	4	5	4	3	5	5	4	3	4	5	4	5	19	
Existência de plano de ações de emergências e contingências no caso de paralisação da ETE (OP3)	Facilidade de interpretação	5	5	4	5	5	4	4	5	5	-	5	4	5	4	3	5	3	5	5	3	5	5	5	4	4	5	4	4	16	
	Sensibilidade	5	5	5	5	4	4	5	5	5	-	5	4	5	5	3	5	3	5	4	5	5	4	3	4	5	5	5	3	17	
Existência de programa de manutenção preventiva (OP4)	Importância	5	4	4	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	5	5	4	4	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5	4	14	
	Mensurabilidade	2	4	3	5	3	2	4	5	5	5	4	3	3	5	2	4	4	1	3	2	2	5	4	4	4	5	4	3	33	
	Facilidade de interpretação	2	4	4	5	2	2	2	5	4	5	4	3	3	5	2	4	3	2	3	5	2	5	5	4	4	5	5	3	33	
	Sensibilidade	2	4	3	5	3	3	2	5	3	5	4	4	3	5	4	4	4	5	3	2	2	5	5	3	5	5	5	2	30	
Comparação pareada	Importância	5	4	4	5	5	3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	1	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	20	
	Mensurabilidade	4	4	5	3	3	4	5	5	5	5	4	4	3	4	3	4	5	1	5	5	5	4	5	5	4	5	4	4	23	
	Facilidade de interpretação	4	4	5	2	3	4	5	5	5	5	4	4	3	5	3	4	5	1	3	5	5	4	4	2	4	4	5	4	27	
	Sensibilidade	4	4	5	3	3	3	1	5	5	5	4	5	3	4	4	4	4	1	3	5	4	5	4	2	5	4	5	3	30	
Especialistas	Importância	5	4	5	5	5	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	11	
	Mensurabilidade	5	4	5	5	3	4	4	5	5	5	4	4	3	4	3	4	5	1	5	3	5	4	4	5	3	5	5	4	23	
	Facilidade de interpretação	5	4	5	4	3	4	4	5	5	5	4	3	3	4	3	4	5	1	3	3	5	4	4	2	2	4	5	4	28	
	Sensibilidade	5	4	5	4	3	3	1	5	5	5	4	4	4	4	4	4	5	1	3	5	4	4	5	2	2	4	5	3	31	

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela D-2 – Respostas dos especialistas para a comparação pareada entre os critérios de avaliação

Comparação pareada	Especialistas	CV
--------------------	---------------	----

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	(%)
Importância/Mensurabilidade	5	5	3	1	1/3	3	7	9	1	9	1	1	1	7	1/9	9	5	5	1/9	1/5	5	1	5	5	5	1	7	7	62
Importância/Facilidade de interpretação	7	5	9	5	1/3	5	1/3	5	1/3	1	1	1	9	9	9	5	1	9	1	1/5	5	5	5	9	5	3	1	5	59
Importância/Sensibilidade	5	7	5	5	1/5	3	1/3	5	1	9	9	1	9	5	7	1	1/5	7	1	1/7	1/7	9	5	5	5	1	5	9	55
Mensurabilidade/Facilidade de interpretação	5	7	7	5	1/5	3	1/3	1	1	1	9	3	1	9	3	1	1	5	1	1	7	5	1/3	5	1/3	3	1/5	7	70
Mensurabilidade/Sensibilidade	5	9	7	1	1/5	1	1/3	5	9	9	1/3	3	1	9	5	1	1/3	5	1	5	1/5	9	1	1	1/5	9	5	9	66
Facilidade de interpretação/Sensibilidade	5	9	1/5	1	1/5	1/3	1/3	1	1	9	1/5	3	1/9	7	5	1	1/3	9	1	1	1/5	9	3	1/5	1/5	7	5	7	69

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

APÊNDICE E – RESULTADOS DO MÉTODO AHP COM RATINGS E DA AGREGAÇÃO INDIVIDUAL DE PRIORIDADES

Tabela E-1 – Prioridades normalizadas das alternativas (IDs) por especialista

Indicador	Peso individual dos especialistas										0,03571					
	Prioridades por especialista															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
AM1	0,0543	0,1018	0,0461	0,0419	0,0387	0,0388	0,0777	0,0259	0,0000	0,1250	0,0414	0,0706	0,0645	0,0622	0,0801	0,0308
AM2	0,0543	0,0727	0,0419	0,0716	0,0577	0,0388	0,0943	0,0451	0,0000	0,1250	0,0644	0,0799	0,0389	0,0528	0,0963	0,0610
AM3	0,0572	0,0519	0,0696	0,0612	0,0979	0,0770	0,0481	0,0815	0,0641	0,1250	0,0563	0,0799	0,0766	0,0720	0,0503	0,0780
AM4	0,0289	0,0256	0,0555	0,0384	0,0269	0,0262	0,0202	0,0313	0,0698	0,1250	0,0563	0,0501	0,0834	0,0720	0,0458	0,0780
AM5	0,0289	0,0680	0,0369	0,0482	0,0308	0,0380	0,0943	0,0496	0,0698	0,1250	0,0644	0,0698	0,0766	0,0490	0,0458	0,0196
AM6	0,0516	0,0519	0,0869	0,0557	0,0387	0,0568	0,0605	0,0553	0,0698	0,0000	0,0563	0,0501	0,0210	0,0622	0,0963	0,0662
OP1.1	0,0712	0,0281	0,0785	0,0527	0,0689	0,0477	0,0470	0,0345	0,0540	0,0000	0,0327	0,0462	0,0474	0,0382	0,0748	0,0398
OP1.2	0,0504	0,0256	0,0431	0,0349	0,0689	0,0360	0,0316	0,0345	0,0540	0,0000	0,0370	0,0325	0,0474	0,0253	0,0748	0,0398
OP1.3	0,0363	0,0126	0,0407	0,0309	0,0689	0,0477	0,0943	0,0414	0,0540	0,0000	0,0414	0,0698	0,0510	0,0605	0,0261	0,0398
OP1.4	0,0712	0,0256	0,0411	0,0754	0,0689	0,0805	0,0332	0,0815	0,0698	0,0000	0,0644	0,0462	0,0510	0,0331	0,0801	0,0780
OP1.5	0,0712	0,0469	0,0656	0,0700	0,0689	0,0805	0,0470	0,0815	0,0426	0,0000	0,0726	0,0555	0,0766	0,0605	0,0503	0,0780
OP1.6	0,0363	0,0514	0,0411	0,0557	0,0689	0,0477	0,0470	0,0414	0,0544	0,0000	0,0533	0,0555	0,0510	0,0391	0,0309	0,0780
OP1.7	0,0712	0,0788	0,0296	0,0543	0,0689	0,0477	0,0470	0,0414	0,0698	0,0000	0,0453	0,0555	0,0510	0,0391	0,0159	0,0377
OP1.8	0,0712	0,1018	0,0656	0,0581	0,0689	0,0805	0,0439	0,0815	0,0698	0,0000	0,0726	0,0555	0,0474	0,0596	0,0963	0,0780
OP1.9	0,0712	0,1018	0,0723	0,0649	0,0689	0,0805	0,0808	0,0815	0,0698	0,0000	0,0726	0,0643	0,0834	0,0736	0,0167	0,0780
OP2	0,0461	0,0519	0,0352	0,0754	0,0279	0,0617	0,0333	0,0553	0,0490	0,1250	0,0563	0,0279	0,0345	0,0767	0,0336	0,0398
OP3	0,0572	0,0519	0,0634	0,0444	0,0308	0,0568	0,0582	0,0553	0,0698	0,1250	0,0563	0,0555	0,0345	0,0636	0,0430	0,0398
OP4	0,0712	0,0519	0,0869	0,0662	0,0308	0,0568	0,0417	0,0815	0,0698	0,1250	0,0563	0,0354	0,0636	0,0605	0,0430	0,0398

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela E-2 – Prioridades das alternativas (IDs) por especialista (continuação) e a agregação individual de prioridades

Indicador	Peso individual dos especialistas										0,03571				Prioridade AIP
	Prioridades por especialista														
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
AM1	0,0602	0,0140	0,0593	0,0736	0,0863	0,0629	0,0336	0,0469	0,0448	0,0566	0,0497	0,0463	0,0548		
AM2	0,0748	0,0488	0,0365	0,0273	0,0863	0,0629	0,0487	0,0761	0,0933	0,0618	0,0334	0,0463	0,0604		
AM3	0,0482	0,0735	0,0664	0,0638	0,0580	0,0640	0,0675	0,0719	0,0915	0,0829	0,0656	0,0432	0,0694		

AM4	0,0340	0,0465	0,0232	0,0953	0,0350	0,0497	0,0499	0,0532	0,0520	0,0508	0,0497	0,0658	0,0514
AM5	0,0459	0,0735	0,0208	0,0509	0,0461	0,0508	0,0479	0,0226	0,0638	0,0928	0,0497	0,0574	0,0549
AM6	0,1025	0,0735	0,0826	0,0953	0,0863	0,0640	0,0600	0,0881	0,0446	0,0282	0,0515	0,0658	0,0615
OP1.1	0,0372	0,0735	0,0673	0,0914	0,0461	0,0508	0,0506	0,0212	0,0523	0,0423	0,0506	0,0543	0,0500
OP1.2	0,0587	0,0735	0,0673	0,0730	0,0461	0,0508	0,0499	0,0203	0,0523	0,0310	0,0506	0,0614	0,0454
OP1.3	0,0467	0,0110	0,0495	0,0341	0,0461	0,0439	0,0495	0,0252	0,0523	0,0587	0,0656	0,0574	0,0448
OP1.4	0,0748	0,0735	0,0720	0,0520	0,0461	0,0640	0,0576	0,0902	0,0523	0,0476	0,0639	0,0543	0,0589
OP1.5	0,0697	0,0735	0,0720	0,0470	0,0461	0,0640	0,0675	0,1002	0,0523	0,0476	0,0656	0,0658	0,0621
OP1.6	0,0467	0,0735	0,0542	0,0135	0,0461	0,0497	0,0524	0,0231	0,0523	0,0534	0,0532	0,0627	0,0476
OP1.7	0,0185	0,0451	0,0720	0,0070	0,0461	0,0590	0,0576	0,0335	0,0523	0,0618	0,0532	0,0574	0,0470
OP1.8	0,0431	0,0735	0,0720	0,0611	0,0461	0,0640	0,0675	0,1002	0,0523	0,0618	0,0639	0,0463	0,0644
OP1.9	0,0340	0,0735	0,0542	0,0408	0,0863	0,0428	0,0600	0,0469	0,0523	0,0618	0,0656	0,0348	0,0619
OP2	0,0486	0,0488	0,0208	0,0356	0,0270	0,0640	0,0645	0,0782	0,0409	0,0618	0,0656	0,0574	0,0515
OP3	0,0643	0,0048	0,0551	0,0953	0,0600	0,0469	0,0576	0,0511	0,0490	0,0618	0,0515	0,0574	0,0557
OP4	0,0920	0,0456	0,0551	0,0430	0,0600	0,0458	0,0576	0,0511	0,0490	0,0372	0,0515	0,0658	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

APÊNDICE F – DESEMPENHO INDIVIDUAL DAS ETES

ETEs	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Centro de Eventos	0,375	0,875	34,4	0,875	0,875	0,875	100	100	100	50	100	100	100	100	80	0,875	0,875	0,125
01 de março	0,375	0,125	3,11	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	67	0,875	0,875	0,875
João Paulo II	0,375	0,875	50	0,875	0,875	0,125	100	100	50	100	67	100	100	18	0	0,375	0,875	0,125
Lago Azul	0,375	0,875	56,57	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	82	83	0,875	0,875	0,125
Sítio Estrela	0,375	0,125	0	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Sítio Santana	0,375	0,875	72,24	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	73	36	0,875	0,875	0,125
Tancredo Neves (Lagamar)	0,375	0,875	50,79	0,875	0,875	0,125	100	100	0	100	0	100	100	9	0	0,875	0,875	0,125
Zeza Tijolo	0,375	0,875	28,89	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	36	36	0,875	0,875	0,125
Aldemir Martins	0,375	0,875	79,75	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	83	50	0,875	0,875	0,125
Almirante Tamandaré I	0,375	0,875	16,03	0,875	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	33	0	0,375	0,875	0,125
Cj. Palmeiras	0,375	0,875	74,34	0,875	0,875	0,125	92	100	50	100	100	100	100	83	0	0,875	0,875	0,125
Dom Lorscheider	0,375	0,125	63,11	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
José Euclides	0,375	0,875	79,55	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	50	100	100	50	83	0,375	0,875	0,125
São Cristóvão	0,375	0,875	45,36	0,875	0,875	0,125	100	100	50	0	50	0	100	0	0	0,375	0,875	0,125
São Domingos	0,375	0,875	54,84	0,875	0,875	0,125	100	100	0	0	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,125
8 de setembro	0,375	0,125	58,55	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	67	0,875	0,875	0,875
24 de março	0,375	0,125	14,16	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875
Barroso II	0,375	0,125	89,32	0,375	0,875	0,125	100	100	50	50	0	100	100	50	0	0,875	0,875	0,875
Castelão	0,375	0,875	50,11	0,875	0,875	0,875	100	100	100	100	100	100	100	100	73	0,875	0,875	0,125
Novo Barroso	0,375	0,875	68,69	0,375	0,875	0,125	100	100	50	100	0	100	100	67	42	0,375	0,875	0,125
Unidos Venceremos	0,375	0,125	0	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875
Itaperussu	0,375	0,875	62,58	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	50	100	100	42	42	0,375	0,875	0,125
Passaré I	0,375	0,125	66,65	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Passaré II	0,375	0,125	15,94	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Soares Moreno	0,375	0,125	36,03	0,375	0,375	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Jardim União I	0,375	0,125	44,08	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	33	67	0,875	0,875	0,875
Jardim União II - 01	0,375	0,125	42,92	0,375	0,375	0,125	100	100	100	0	100	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Jardim União II - 02	0,375	0,125	68,32	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	33	0,875	0,875	0,875
Riacho Doce	0,375	0,875	50,91	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	50	100	100	33	25	0,375	0,875	0,125
Rosalina	0,375	0,875	57,84	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	58	50	0,375	0,875	0,125
Campo dos Ingleses 1	0,375	0,875	46,54	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 2	0,375	0,875	68,92	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	67	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 3	0,375	0,875	34,99	0,875	0,875	0,125	100	100	100	33	0	100	100	33	67	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 4	0,375	0,875	61,05	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	100	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 5	0,375	0,875	42,66	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	67	0,875	0,125	0,875

Campo dos Ingleses 6	0,375	0,875	33,29	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	33	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 7	0,375	0,875	28,67	0,875	0,875	0,125	100	100	50	50	0	100	100	0	100	0,875	0,125	0,875
Itaperi	0,375	0,875	34,28	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	17	33	0,375	0,875	0,125
Tupã Mirim	0,375	0,875	69,99	0,875	0,375	0,125	100	100	100	100	50	100	100	100	0	0,875	0,875	0,125
Aracapé I	0,375	0,125	56,97	0,375	0,375	0,125	100	100	100	0	0	100	100	67	100	0,875	0,875	0,875
Aracapé II	0,375	0,125	75,22	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Aracapé III	0,375	0,875	84,42	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	75	100	0,875	0,875	0,125
Conj. PM II – Aracapé	0,375	0,125	39,48	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
Ipaumirim	0,375	0,125	43,19	0,375	0,875	0,125	100	100	100	67	0	100	100	0	33	0,875	0,875	0,875
Marcos Freire	0,375	0,125	10,38	0,375	0,375	0,125	100	100	100	100	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875
Monte Líbano	0,375	0,875	48,21	0,875	0,875	0,125	100	100	0	0	0	100	100	0	0	0,375	0,875	0,125
Novo Renascer	0,375	0,125	48,2	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Pequeno Mondubim	0,375	0,875	42,85	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,875	0,875	0,125
Sítio Córrego I	0,375	0,125	44,33	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
Sítio Córrego II	0,375	0,125	1,07	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
José Walter	0,375	0,875	82,98	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0,375	0,875	0,125
Média	0,38	0,57	47,70	0,64	0,83	0,15	99,84	100,00	88,24	59,80	25,82	98,04	100,00	45,92	47,73	0,77	0,77	0,54
Desvio Padrão	0,00	0,37	23,12	0,25	0,15	0,15	1,12	0,00	27,55	43,74	40,74	14,00	0,00	36,36	35,32	0,21	0,26	0,38
Coefficiente de variação	0,00	65,84	48,47	39,40	18,18	95,22	1,12	0,00	31,22	73,15	157,76	14,28	0,00	79,17	74,01	27,07	33,76	70,22

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

APÊNDICE G – MATRIZES DE DECISÃO DO MÉTODO TOPSIS-SORT

Tabela G-1 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia UASB/FSA

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Centro de Eventos	0,375	0,875	34,4	0,875	0,875	0,875	100	100	100	50	100	100	100	100	80	0,875	0,875	0,125
Rosalina	0,375	0,875	57,84	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	58	50	0,375	0,875	0,125
P ₁	0,5	0,5	80	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₂	0,25	0,25	75	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
P ₃	0,375	0,875	34,4	0,875	0,875	0,875	100	100	100	50	100	100	100	100	80	0,875	0,875	0,125
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-2 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia UASB

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Lago Azul	0,375	0,875	56,57	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	82	83	0,875	0,875	0,125
Sítio Santana	0,375	0,875	72,24	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	73	36	0,875	0,875	0,125
Zeza Tijolo	0,375	0,875	28,89	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	36	36	0,875	0,875	0,125
Novo Barroso	0,375	0,875	68,69	0,375	0,875	0,125	100	100	50	100	0	100	100	67	42	0,375	0,875	0,125
Riacho Doce	0,375	0,875	50,91	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	50	100	100	33	25	0,375	0,875	0,125
Itaperi	0,375	0,875	34,28	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	17	33	0,375	0,875	0,125
Aracapé III	0,375	0,875	84,42	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	75	100	0,875	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	80	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	68	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	50	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-3 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia LFA/LFsec/LMsérie

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Tupã Mirim	0,375	0,875	69,99	0,875	0,375	0,125	100	100	100	100	50	100	100	100	0	0,875	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	90	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	85	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	80	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25

w_j 0,0548 0,0604 0,0694 0,0514 0,0549 0,0615 0,0500 0,0454 0,0448 0,0589 0,0621 0,0476 0,0470 0,0644 0,0619 0,0515 0,0557 0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-4 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia LF/LMsérie

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
José Walter	0,375	0,875	82,98	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0,375	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	90	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	80	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	60	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w_j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-5 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia LF

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
João Paulo II	0,375	0,875	50	0,875	0,875	0,125	100	100	50	100	67	100	100	18	0	0,375	0,875	0,125
Tancredo																		
Neves	0,375	0,875	50,79	0,875	0,875	0,125	100	100	0	100	0	100	100	9	0	0,875	0,875	0,125
(Lagamar)																		
P ₁	0,75	0,75	96	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	78	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	60	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w_j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-6 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia LAN/LF/LMsérie

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Cj. Palmeiras	0,375	0,875	74,34	0,875	0,875	0,125	92	100	50	100	100	100	100	83	0	0,875	0,875	0,125
São Cristóvão	0,375	0,875	45,36	0,875	0,875	0,125	100	100	50	0	50	0	100	0	0	0,375	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	95	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	85	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	75	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w_j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-7 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia LA

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Itaperussu	0,375	0,875	62,58	0,875	0,875	0,125	100	100	100	50	50	100	100	42	42	0,375	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	95	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	90	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	82	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-8 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia UASB/FSA/DECANTADOR

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
Aldemir Martins	0,375	0,875	79,75	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	83	50	0,875	0,875	0,125
José Euclides Castelão	0,375	0,875	79,55	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	50	100	100	50	83	0,375	0,875	0,125
P ₁	0,75	0,75	95	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	85	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	75	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Tabela G-9 – Matriz de decisão das ETEs com tipologia DD/FA

Alternativas	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	OP1.1	OP1.2	OP1.3	OP1.4	OP1.5	OP1.6	OP1.7	OP1.8	OP1.9	OP2	OP3	OP4
01 de março	0,375	0,125	3,11	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	67	0,875	0,875	0,875
Sítio Estrela	0,375	0,125	0	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Almirante Tamandaré I Dom Lorscheider	0,375	0,875	16,03	0,875	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	33	0	0,375	0,875	0,125
São Domingos	0,375	0,125	63,11	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
8 de setembro	0,375	0,125	58,55	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	67	0,875	0,875	0,875
24 de março	0,375	0,125	14,16	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875
Barroso II	0,375	0,125	89,32	0,375	0,875	0,125	100	100	50	50	0	100	100	50	0	0,875	0,875	0,875
Unidos Venceremos	0,375	0,125	0	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875

Passaré I	0,375	0,125	66,65	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Passaré II	0,375	0,125	15,94	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Soares Moreno	0,375	0,125	36,03	0,375	0,375	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Jardim União I	0,375	0,125	44,08	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	33	67	0,875	0,875	0,875
Jardim União II - 01	0,375	0,125	42,92	0,375	0,375	0,125	100	100	100	0	100	100	100	0	50	0,875	0,875	0,875
Jardim União II - 02	0,375	0,125	68,32	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	33	0,875	0,875	0,875
Campo dos Ingleses 1	0,375	0,875	46,54	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 2	0,375	0,875	68,92	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	67	67	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 3	0,375	0,875	34,99	0,875	0,875	0,125	100	100	100	33	0	100	100	33	67	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 4	0,375	0,875	61,05	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	100	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 5	0,375	0,875	42,66	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	67	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 6	0,375	0,875	33,29	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	33	33	0,875	0,125	0,875
Campo dos Ingleses 7	0,375	0,875	28,67	0,875	0,875	0,125	100	100	50	50	0	100	100	0	100	0,875	0,125	0,875
Aracapé I	0,375	0,125	56,97	0,375	0,375	0,125	100	100	100	0	0	100	100	67	100	0,875	0,875	0,875
Aracapé II	0,375	0,125	75,22	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Conj. PM II – Aracapé	0,375	0,125	39,48	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
Ipaumirim	0,375	0,125	43,19	0,375	0,875	0,125	100	100	100	67	0	100	100	0	33	0,875	0,875	0,875
Marcos Freire	0,375	0,125	10,38	0,375	0,375	0,125	100	100	100	100	0	100	100	0	0	0,875	0,875	0,875
Monte Líbano	0,375	0,875	48,21	0,875	0,875	0,125	100	100	0	0	0	100	100	0	0	0,375	0,875	0,125
Novo Renacer	0,375	0,125	48,2	0,375	0,875	0,125	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0,875	0,875	0,875
Pequeno Mondubim	0,375	0,875	42,85	0,875	0,875	0,125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,875	0,875	0,125

Sítio Córrego I	0,375	0,125	44,33	0,375	0,875	0,125	100	100	100	0	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
Sítio Córrego II	0,375	0,125	1,07	0,375	0,875	0,125	100	100	100	50	0	100	100	50	50	0,875	0,875	0,875
P ₁	0,75	0,75	85	0,75	0,75	0,75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,75	0,75	0,75
P ₂	0,5	0,5	70	0,5	0,5	0,5	95	95	95	95	95	95	95	95	95	0,5	0,5	0,5
P ₃	0,25	0,25	55	0,25	0,25	0,25	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0,25	0,25	0,25
w _j	0,0548	0,0604	0,0694	0,0514	0,0549	0,0615	0,0500	0,0454	0,0448	0,0589	0,0621	0,0476	0,0470	0,0644	0,0619	0,0515	0,0557	0,0584

Fonte: Elaborada pela autora (2023).