



**INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

**FERNANDA CLÁUDIA BARBOZA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL 6 - ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO - NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE, PERNAMBUCO**

**Recife, 2022**

**FERNANDA CLÁUDIA BARBOZA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL 6 - ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO - NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE, PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa  
Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Tereza Duarte Dutra  
Coorientadora

**Recife, 2022**

S586a     Silva, Fernanda Cláudia Barboza da.

Avaliação de desempenho do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 – água potável e saneamento – na Região Metropolitana do Recife, Pernambuco. / Fernanda Cláudia Barboza da Silva . – Recife, PE: A autora, 2022.

102 f.: color. ; il. ; 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ioná M. Beltrão Rameh Barbosa.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Tereza Duarte Dutra.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2022.

Inclui referências.

1. Agenda 2030. 2. Meio Ambiente. 3. Indicadores - ODS. 4. Recursos Hídricos. I. Barbosa, Ioná M. Beltrão Rameh. (Orientadora). II. Dutra, Maria Tereza Duarte. (Coorientadora). III. Título.

333.91              CDD (22 Ed.)

Catalogação na fonte

Bibliotecária Amanda Tavares CRB4-1751

**FERNANDA CLÁUDIA BARBOZA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO OBJETIVO DE DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL 6 (ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO) NA REGIÃO  
METROPOLITANA DO RECIFE, PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da aprovação: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa  
Orientadora – IFPE Campus Recife

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Tereza Duarte Dutra  
Coorientadora – IFPE Campus Recife

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Regina Costa Castro Lyra  
Examinadora Interna – IFPE Campus Recife

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Soares de Carvalho  
Examinadora Interna – IFPE Campus Recife

---

Prof. Dr. Henrique Fernandes da Paz  
Examinador Externo – IFPE Campus Cabo de Santo Agostinho

## **APRESENTAÇÃO**

A autora é Engenheira Civil, apaixonada por saneamento e pela área acadêmica. Possui formação técnica (Saneamento Ambiental) e superior pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), *Campus Recife*. Escolheu ser Mestre em Gestão Ambiental por acreditar que é impossível progredir sem ser sustentável.

Entre os anos de 2011 e 2012, atuou como estagiária da Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) da Prefeitura da Cidade do Recife (PCR) onde desenvolveu atividades voltadas ao gerenciamento de resíduos sólidos.

De 2013 a 2015, realizou atividades voltadas à Saúde Ambiental no Distrito Sanitário IV da Secretaria de Saúde da cidade do Recife.

Em 2015, trabalhou no Setor de Tratamento de Águas e Efluentes do Laboratório Farmacêutico do Estado de Pernambuco Miguel Arraes (LAFEPE), atuando no monitoramento da produção de água purificada.

Em 2016, participou de Programa de Incentivo a Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) quando desenvolvi projetos de pesquisas envolvendo Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Recursos Hídricos no Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente (LABGEO) do IFPE *Campus Recife*.

Desde 2017, atua como Técnica em Saneamento na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Entre os anos de 2017 e 2019, cooperou com as fiscalizações do contrato da Parceria Público Privada (PPP) entre a COMPESA e a BRK Ambiental, realizando vistorias técnicas para diagnósticos de qualidade na operação dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES), nas unidades operacionais e na execução de serviços de manutenção nas redes coletoras.

Atualmente, presta assistência técnica na elaboração de projetos e orçamentos, no acompanhamento e fiscalização de obras e serviços de ampliação e adequação dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) para municípios da Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco.

**Ofereço**

*À Deus, meu amigo fiel.*

**Dedico**

*Aos meus pais, por todo incentivo e amor.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelas bênçãos e provações que tem me proporcionado nesta vida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco *Campus Recife* pela oportunidade de cursar uma Pós-graduação.

A Companhia Pernambucana de Saneamento pelo fornecimento de dados por meio do programa Conecta.

A Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) pela presteza na disponibilização das informações.

A minha querida orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ioná Rameh, por toda compreensão e conhecimentos compartilhados.

A minha coorientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Tereza Dutra, por toda disponibilidade e sugestões.

À banca examinadora pelas brilhantes considerações.

A Bernardo Melo, mestrando do MPGA, pelo auxílio na elaboração do painel interativo (*Dashboards*).

Ao corpo docente do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental por toda dedicação ao ensino e pesquisa.

Aos meus pais, Maria José e José Marculino, pelos ensinamentos de vida e por apoiar meu crescimento acadêmico.

A minha família por acreditar em mim.

Ao meu namorado, Paulo César da Silva, por todo companheirismo e por me ajudar a ressignificar a vida.

A minha amiga Jamille Gonçalves de Araújo, por compartilhar a vida acadêmica comigo desde o curso técnico.

Ao meu amigo Joás Tomaz de Aquino, por todo auxílio na trajetória acadêmica.

A todas as amigas que apoiaram essa conquista e de alguma forma torceram por mim.

Aos colegas de trabalho compesianos por todo incentivo.

Aos colegas do mestrado pela parceria.

Ó profundidade da riqueza, da sabedoria e do conhecimento de Deus!  
Quão insondáveis são os seus juízos, e inescrutáveis os seus caminhos!  
Quem conheceu a mente do Senhor? Ou quem foi seu conselheiro?  
Quem primeiro lhe deu, para que ele o recompense?  
Porque dele, por ele e para ele são todas as coisas.  
A ele seja a glória para sempre! Amém”.

(Romanos 11:33-36)

## **RESUMO**

A universalização dos serviços de saneamento, a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos têm impactos diretos sobre a saúde pública, o meio ambiente, o desenvolvimento econômico e sustentável. Visando discutir essas e outras questões, na Conferência Rio +20, as negociações da Agenda 2030 culminaram em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) criando um objetivo exclusivo para tratar a questão da água e do saneamento, o ODS 6. Dada a urgência do atendimento das metas de tal objetivo, é necessário monitorar também os seus indicadores a nível local. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar os 14 municípios e 8 reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana do Recife (RMR) à luz do ODS 6, entre os anos de 2010 e 2020. Buscando atingir esse fim, os indicadores de proporção da população que utiliza serviços de água potável geridos de forma segura (6.1.1); proporção da população que utiliza serviços de esgotamento sanitário geridos de forma segura (6.2.1); proporção de águas residuais tratadas de forma segura (6.3.1); proporção de corpos hídricos com boa qualidade de água (6.3.2) e nível do stress hídrico (6.4.2) foram calculados conforme metodologia adaptada da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o alcance das metas do ODS 6 avaliadas de acordo com as terminologias do Relatório Luz (2021). O indicador 6.1.1 apresentou os melhores resultados dentre os estudados, entretanto, nenhum município da RMR apresentou progresso satisfatório para os indicadores relacionados à coleta e tratamento de esgotos (indicador 6.2.1 e 6.3.1). De acordo com o indicador 6.3.2, foi observado o não atendimento frequente à Resolução CONAMA 357/2005 e na maioria dos reservatórios o stress hídrico representado pelo indicador 6.4.2 se apresentou bastante elevado em todos os anos do estudo, confirmando o nível de insegurança hídrica da região. Os três primeiros indicadores (6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1), nos quais se utilizou como base territorial os municípios da RMR, foram submetidos à Análise Hierárquica de Processo de Saaty (1980), Combinação Linear Ponderada (CLP) e álgebra de mapas no software ArcGIS Pro 2.6, resultando em um mapa síntese onde foi possível identificar 97% do território da RMR com progresso insuficiente para o alcance das metas do ODS 6. Já para os dois últimos indicadores (6.3.2 e 6.4.2), nos quais se utilizou como base territorial os reservatórios da RMR, foi realizada apenas a Combinação Linear Ponderada (CLP) e obteve-se o reservatório de Tapacurá como o que apresentou o pior desempenho para o alcance das metas do ODS 6. Como produto da pesquisa, foram elaborados painéis interativos (*Dashboards*), que ofereceram uma visualização efetiva do desempenho de cada um dos indicadores do ODS 6 estudados na RMR.

**Palavras-chave:** Indicadores. Recursos hídricos. Sustentabilidade. *Dashboards*.

## ABSTRACT

The universalization of sanitation services, the quality and quantity of water resources have direct impacts on public health, the environment, economic and sustainable development. In order to discuss these and other issues, at the Rio +20 Conference, the 2030 Agenda negotiations culminated in 17 Sustainable Development Goals (SDGs) creating an exclusive objective to address the issue of water and sanitation, SDG 6. Given the urgency of the meeting the goals of this objective, it is also necessary to monitor its indicators at the local level. Thus, this study aimed to evaluate the 14 municipalities and 8 supply reservoirs of the Metropolitan Region of Recife (RMR) in light of SDG 6, between 2010 and 2020. Seeking to achieve this end, the indicators of population proportion that uses safely managed drinking water services (6.1.1); proportion of population using safely managed sewage services (6.2.1); proportion of wastewater treated safely (6.3.1); proportion of water bodies with good water quality (6.3.2) and level of water stress (6.4.2) were calculated according to the methodology adapted from the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA) and the achievement of SDG 6 targets evaluated according to the terminology of the Luz Report (2021). Indicator 6.1.1 presented the best results among those studied, however, no municipality in the RMR showed satisfactory progress for indicators related to sewage collection and treatment (indicator 6.2.1 and 6.3.1). According to indicator 6.3.2, frequent non-compliance with CONAMA Resolution 357/2005 was observed and in most reservoirs the water stress represented by indicator 6.4.2 was very high in all years of the study, confirming the level of water insecurity in the region. The first three indicators (6.1.1, 6.2.1 and 6.3.1), in which the municipalities of the RMR were used as a territorial base, were submitted to Saaty's Hierarchical Process Analysis (1980), Weighted Linear Combination (CLP) and map algebra in ArcGIS Pro 2.6 software, resulting in a synthesis map where it was possible to identify 97% of the RMR territory with insufficient progress to reach the goals of SDG 6. As for the last two indicators (6.3.2 and 6.4.2), in which the RMR reservoirs were used as a territorial base, only the Weighted Linear Combination (CLP) was carried out and the Tapacurá reservoir was obtained as the one that presented the worst performance to achieve the goals of SDG 6. From the research, interactive panels (Dashboards) were created, which offered an effective visualization of the performance of each of the SDG 6 indicators studied in the RMR.

**Keywords:** Indicators. Water resources. Sustainability. Dashboards.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do ciclo do saneamento .....	25
Figura 2 – Pirâmide da informação para obtenção de indicadores.....	31
Figura 3 – Disseminação de informações geográficas através da internet .....	33
Figura 4 – <i>Dashboard</i> da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) com os resultados dos indicadores do ODS 6 .....	34
Figura 5 – <i>Dashboard</i> da Prefeitura de Belo Horizonte com os resultados do município para os 17 ODS .....	35
Figura 6 – Estrutura hierárquica básica do método AHP .....	37
Figura 7 – Realização do GIS-MCDA .....	38
Figura 8 – Caminho metodológico da pesquisa .....	40
Figura 9 – Mapa de localização da Região Metropolitana do Recife.....	41
Figura 10 – Estruturação hierárquica para avaliar o Objetivo de Desenvolvimento.....	54
Figura 11 – Elementos de uma matriz de decisão .....	55
Figura 12 – Banco de dados para a pesquisa no ArcGIS Pro .....	64
Figura 13 – Mapa da parcela da população que utilizou serviços de água potável de forma segura nos municípios da RMR entre anos de 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021) .....	67
Figura 14 – Mapa da parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura os municípios da RMR nos anos de 2010 à 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021) .....	70
Figura 15 – Mapa do indicador 6.2.1 para os municípios da RMR nos anos de 2010 a 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021) .....	73
Figura 16 – Mapa de atendimento às metas do ODS 6 nos municípios da RMR entre os anos 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021).....	77
Figura 17 – Condutividade elétrica (mS/cm <sup>2</sup> ) nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019 .....	79
Figura 18 – Potencial hidrogeniônico nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019 .....	80
Figura 19 – Oxigênio dissolvido (mg O <sub>2</sub> /L) nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019 .....	82
Figura 20 – Fósforo total nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019.....	83

Figura 21 – Mapa da qualidade da água dos reservatórios da RMR entre os anos de 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021) .....	85
Figura 22 – Nível de stress hídrico nos Reservatórios da RMR de 2010 a 2020 .....	87
Figura 23 – Mapa do nível de stress hídrico dos reservatórios da RMR, entre os anos de 2010 e 2020, segundo metodologia do Relatório Luz (2021) .....	88
Figura 24 – Mapa de atendimento às metas do ODS 6 nos reservatórios da RMR entre os anos 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021).....	90
Figura 25 – Tela inicial do painel interativo ( <i>Dashboard</i> ) “De olho no ODS 6 – RMR”.....	91
Figura 26 – Tela do indicador 6.1.1 para o município de Araçoiaba .....	91
Figura 27 – Tela do indicador 6.2.1 para o município de Moreno .....	92
Figura 28 – Tela do indicador 6.3.1 para o município de Recife .....	92
Figura 29 – Tela do indicador 6.3.2 para o Reservatório Tapacurá .....	93
Figura 30 – Tela do indicador 6.4.2 para o Reservatório Pirapama .....	93
Figura 31 – QR Code para acesso do painel interativo ( <i>Dashboard</i> ) “De olho no ODS 6 – RMR” .....	94

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Doenças relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) .....	24
Quadro 2 – Lista de indicadores por meta do ODS 6 .....	29
Quadro 3 – Fontes dos dados utilizados na pesquisa .....	43
Quadro 4 – Relação entre os indicadores do SNIS e do ODS 6 utilizados na pesquisa.....	44
Quadro 5 – Reservatórios que abastecem a RMR e suas características.....	48
Quadro 6 – Limites das classes da Resolução CONAMA nº 357/2005 .....	50
Quadro 7 – Terminologias do Relatório Luz para avaliação dos ODS .....	53
Quadro 8 – Escala da Análise Hierárquica de Processo (AHP) .....	55
Quadro 9 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6 para a álgebra de mapas.....	59
Quadro 10 – Proposta de representação gráfica para o atendimento do ODS 6 pelos municípios na RMR .....	60
Quadro 11 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6.....	61
Quadro 12 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6.....	61
Quadro 13 – Proposta de representação gráfica para o atendimento do ODS 6 na RMR.....	62
Quadro 14 – Unidades de Sistema de Esgotamento sanitário (SES) recuperadas pela Parceria Público Privada (PPP) na RMR.....	72
Quadro 15 – Atendimento dos municípios da RMR aos indicadores 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 do ODS 6 nos anos de 2010 a 2020.....	74

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Matriz de decisão para obtenção dos pesos dos indicadores do ODS 6 .....	56
Tabela 2 – Somatório das colunas da matriz de decisão .....	56
Tabela 3 – Matriz de normalização e Auto Vetor de Eigen .....	57
Tabela 4 – Obtenção do $\lambda_{\max}$ .....	57
Tabela 5 – Índices de consistência randômica (IR).....	57
Tabela 6 – Parcada da população que utilizou serviços de água potável de forma segura nos municípios da RMR entre os anos de 2010 e 2020 .....	65
Tabela 7 – Parcada da população que utilizou os serviços de esgotamento sanitário de forma .....	68
Tabela 8 – Parcada dos esgotos gerados que foram tratados nos municípios da RMR entre os anos de 2010 e 2020 .....	71
Tabela 9 – Pesos obtidos para os indicadores do ODS 6.....	76
Tabela 10 – Percentual das análises dentro dos limites de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 – Classe 2 .....	84

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 – Parcela da população que utiliza os serviços de água potável de forma segura ..	46
Equação 2 – Parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura.....	47
Equação 3 – Parcela dos esgotos gerados que são tratados.....	47
Equação 4 – Porcentagem de corpos d’água com boa qualidade de água.....	50
Equação 5 – Nível de stress hídrico .....	51
Equação 6 – Razão de consistência .....	57
Equação 7 – Índice de consistência .....	58
Equação 8 – Índice de atendimento ao ODS 6 pelos municípios.....	59
Equação 9 – Índice de atendimento ao ODS 6 pelos reservatórios .....	61

## LISTA DE SIGLAS

ADM	Análise de Decisão Multicritério
ANA	Agência Nacional e Águas
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BDG	Banco de Dados Geográficos
CE	Condutividade Elétrica
CLP	Combinação Linear Ponderada
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
EEE	Estações Elevatórias de Esgotos
ERSI	Environmental Systems Research Institute
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
ISH-U	Índice de Segurança Hídrica – Urbano
LABGEO	Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente
OD	Oxigênio Dissolvido
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PDUI	Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PPP	Parceria Público Privada
RMR	Região Metropolitana do Recife
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geodésico para as Américas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
3.1 SANEAMENTO.....	23
3.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	25
3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	26
3.4 SISTEMA DE INDICADORES.....	30
3.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	32
3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	35
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	39
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PERÍODO DA PESQUISA .....	40
4.3 COLETA DE DADOS .....	42
4.4 SOFTWARES UTILIZADOS.....	45
4.5 CÁLCULO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	45
<b>4.5.1 Abastecimento de água e esgotamento sanitário .....</b>	<b>45</b>
4.5.1.1 Indicador 6.1.1 - Parcada da população que utiliza serviços de água potável de forma segura.....	45
4.5.1.2 Indicador 6.2.1 - Parcada da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura .....	46
4.5.1.3 Indicador 6.3.1 - Parcada dos esgotos gerados que são tratados .....	47
<b>4.5.2 Qualidade e quantidade de água .....</b>	<b>48</b>
4.5.2.1 Indicador 6.3.2 - Porcentagem de corpos d'água com boa qualidade da água.....	49
4.5.2.2 Indicador 6.4.1 - Nível de stress hídrico.....	51
4.6 ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	52
4.7 TERMINOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO ALCANCE DAS METAS DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	52
4.8 REALIZAÇÃO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSO (AHP).....	54

4.9 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) E ÁLGEBRA DE MAPAS DOS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 .....	58
4.10 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) DOS INDICADORES 6.3.2 e 6.4.2.60	60
4.11 CONSTRUÇÃO DOS PAINÉIS INTERATIVOS ( <i>DASHBOARDS</i> ) .....	62
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
5.1 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS .....	64
5.2 INDICADOR 6.1.1 - PARCELA DA POPULAÇÃO QUE UTILIZA SERVIÇOS DE ÁGUA POTÁVEL DE FORMA SEGURA.....	64
5.3 INDICADOR 6.2.1 - PARCELA DA POPULAÇÃO QUE UTILIZA OS SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE FORMA SEGURA .....	68
5.4 INDICADOR 6.3.1 - PARCELA DOS ESGOTOS GERADOS QUE SÃO TRATADOS .....	71
5.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MUNICÍPIOS DA RMR COM RELAÇÃO AO ATENDIMENTO DAS METAS DO ODS 6.....	74
5.6 PESO PARA OS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 DO ODS 6 .....	76
5.7 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (clp) E ÁLGEBRA DE MAPAS DOS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 DO ODS 6 .....	76
5.8 INDICADOR 6.3.2 – PORCENTAGEM DE CORPOS D’ÁGUA COM BOA QUALIDADE DA ÁGUA .....	78
5.9 INDICADOR 6.4.2 – NÍVEL DE STRESS HÍDRICO .....	86
5.10 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (clp) COM OS INDICADORES 6.3.2 e 6.4.2 DO ODS 6 .....	89
5.11 PAINÉIS INTERATIVOS ( <i>DASHBOARDS</i> ) .....	91
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>103</b>
APÊNDICE A – PANFLETO PARA DIVULGAÇÃO DOS PAINÉIS INTERATIVOS ( <i>DASHBOARDS</i> ) COM O DESEMPENHO DOS MUNICÍPIOS E RESERVATÓRIOS DA RMR NO ALCANCE DAS METAS DO ODS 6 ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2020 .....	103

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida como saúde e bem-estar se constitui em um dos objetivos a ser alcançado no atual estágio de desenvolvimento da humanidade, porém, a falta de infraestrutura urbana nas nossas cidades representa sérios entraves a este objetivo. Seja qual for o país, a eficiência, a qualidade e a universalidade dos serviços de saneamento básico têm impactos diretos sobre sua saúde pública, seu meio ambiente e seu desenvolvimento econômico.

A nível global, dados do relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (2021) divulgado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) revelam que 892 milhões de pessoas em todo o mundo praticam a defecação a céu aberto; 829 mil pessoas por ano morrem de diarreia como resultado de consumo de água, saneamento e higiene inadequada das mãos, representando 60% de todas as mortes relacionadas à diarreia no mundo; 2,1 bilhões de pessoas no mundo vivem sem água própria para o consumo humano e o mundo provavelmente vai enfrentar um déficit hídrico global de 40% até 2030.

Conforme relatado no Atlas Águas (ANA, 2021), o desequilíbrio do balanço hídrico é um dos causadores da insegurança hídrica que, somado à gestão dos recursos hídricos, à operação do saneamento e a variabilidades e mudanças do clima, favorece a instalação de crises hídricas, como as que afetaram o Brasil nos últimos anos. Embora o empenho no gerenciamento dos recursos hídricos, a escassez hídrica vem aumentado significativamente no Brasil, principalmente na Região Nordeste. A escassez hídrica e a redução na disponibilidade de água acarretam a maior procura por esse recurso, ocasionando um *stress* hídrico na região.

Nas últimas décadas os corpos de água que cortam as cidades brasileiras vêm apresentando um quadro preocupante na questão da qualidade de suas águas, tendo em vista que a maioria dos municípios não conta com uma infraestrutura urbana para coleta, tratamento e destinação final dos seus resíduos e efluentes. E, segundo Almeida (2014), um dos resultados desse cenário é a escassez de água com qualidade adequada, visto que as pressões antrópicas exercidas nesses meios acarretam maior comprometimento das características desejáveis à demanda hídrica para fins de atendimento aos usos múltiplos da água.

No Brasil, a Lei do Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) já está em vigor há quase duas décadas, mas, apesar de o serviço de abastecimento de água ter sido praticamente universalizado nas zonas urbanas nos últimos anos, os serviços de esgotamento sanitário apresentam resultados muito incipientes para o país atingir o patamar de ser considerado sustentavelmente desenvolvido.

Segundo dados do Instituto Trata Brasil (2021), cerca de 35 milhões de brasileiros ainda não possuem acesso à água tratada e cerca da metade da população, 100 milhões de pessoas, não tem coleta de esgotos. Apenas 51% dos esgotos coletados são tratados, os outros 49% são lançados sem tratamentos nos corpos hídricos.

Pode haver uma grande disparidade dentro de um mesmo estado com relação ao saneamento. Cidades com índices de tratamento de esgoto muito elevados e outras com índices muito baixos, cidades atendidas por empresas privadas e outras por órgãos públicos. A própria estrutura das cidades, que em sua maioria crescem sem o devido planejamento, suas dimensões e as desigualdades ambientais e sociais do Brasil representam desafios a serem superados quando se fala em saneamento e sustentabilidade.

Visando discutir essa e outras questões, líderes mundiais se reuniram na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) nos anos 2000 para adotar a Declaração do Milênio da ONU, conhecida como os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). O ODM 7 tratava da qualidade de vida e respeito ao meio ambiente, e trazia, entre suas metas, a meta 7C – reduzir pela metade, até 2015, a proporção de pessoas sem acesso sustentável à água potável e saneamento básico.

Em 2012, na Conferência Rio+20, realizada no Brasil, foi proposta a Agenda 2030, um conjunto de programas, ações e diretrizes para orientar os trabalhos das Nações Unidas e de seus Estados-membros rumo ao desenvolvimento sustentável. Com o fim do prazo para os ODM em 2015, as negociações da Agenda 2030 culminaram em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são mais globais e desafiadores que os ODM, focalizando enfaticamente as questões ambientais. Segundo a ANA (2019), houve um grande avanço dos ODS em relação aos ODM, no sentido de trazer a questão da água e do saneamento para o centro da discussão, tendo sido criado um objetivo exclusivo para tratar detalhadamente da universalização desses serviços.

Em 2020, o advento da pandemia do SARs-COV-2, causador da COVID-19, trouxe novamente à discussão o quanto é urgente o atendimento ao ODS 6 – Água Potável e Saneamento –, reafirmando a necessidade de universalização do saneamento, pois uma das estratégias mais recomendadas para controlar a disseminação do vírus foi o distanciamento social e a lavagem frequente das mãos, esta última medida, entretanto, é inviável para os milhões de indivíduos que vivem em comunidades altamente densas ou moradias precárias com falta de saneamento e de acesso à água potável, uma realidade que caminha na contramão da Agenda 2030.

Aliado a isso, o setor de saneamento vivencia, desde os últimos anos, grandes desafios. O novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil traz grandes desafios para o setor com objetivo semelhante ao do ODS 6: acelerar a expansão dos serviços de água e esgotos pelo país. A Lei Federal 14.026/2020 (BRASIL, 2020) coloca para 2033 o prazo para cumprimento das metas: acesso à água tratada para 99% da população brasileira e coleta e tratamento dos esgotos para 90%.

Diante de tais acontecimentos, faz-se necessário calcular e monitorar os indicadores que controlam tais metas e acompanhar a melhoria do acesso ao saneamento não só em âmbito nacional e estadual, mas também municipal, com vistas a atender as proposições expostas na Agenda 2030. Com grandes potencialidades, que decorrem da sua base econômica e logística, dos recursos humanos disponíveis e diversidade cultural, a Região Metropolitana do Recife (RMR) padece, contudo, de graves e intensos problemas comuns a todas as metrópoles brasileiras: pobreza e desigualdades sociais, concentração populacional em moradias precárias e degradação dos recursos naturais. Segundo dados da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2022), a cobertura dos SES atende apenas 40% da RMR.

A relevância de tal monitoramento a nível local consiste no fato de que os produtos obtidos podem ser apresentados e utilizados pela gestão pública para auxiliar nas tomada de decisões, na determinação de áreas prioritárias e no planejamento e criação de programas, projetos e ações para atingir a universalização da oferta de água e coleta e tratamento de esgotos nos municípios.

Portanto, com a Agenda 2030, tem-se o desafio de garantir acesso à água potável e esgotamento sanitário em menos de duas décadas para toda população. Esse é o grande objetivo preconizado e declarado pelo ODS 6 e que o presente estudo se presta a avaliar nos municípios e reservatórios de abastecimento da RMR, na última década.

A presente dissertação está organizada da seguinte forma: o capítulo 1 apresenta a introdução, abordando a temática, contexto mundial, nacional e local assim como a justificativa do trabalho. Os objetivos geral e específicos do trabalho são apresentados no capítulo 2. O capítulo 3 promove a revisão de literatura sobre saneamento, recursos hídricos, sustentabilidade, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Métodos de Análise Decisão Multicritério (MCDA), temas relacionados diretamente ao objeto de estudo e produto da pesquisa. No capítulo 4 são apresentadas a classificação da pesquisa, a caracterização da área de estudo, as fontes dos dados, os softwares utilizados e a descrição da metodologia utilizada para o alcance dos objetivos propostos. No capítulo 5, apresentam-se os resultados obtidos e são tecidas

discussões sobre eles, trazendo também o produto do trabalho. Já o capítulo 6 traz as considerações finais sobre o estudo apresentado. Por fim, têm-se as referências e o apêndice.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho dos municípios e reservatórios da RMR à luz do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 da Agenda 2030 da ONU, entre os anos de 2010 a 2020.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar dados referentes à oferta de água potável, coleta/tratamento de esgotos e recursos hídricos dos municípios da RMR para os anos de 2010 a 2020;
- Calcular indicadores para os municípios da RMR segundo os parâmetros estabelecidos no ODS 6 para os anos de 2010 a 2020;
- Estruturar um Banco de Dados Geográficos (BDG) para a pesquisa;
- Avaliar os resultados dos indicadores dos ODS 6 obtidos para os municípios e reservatórios nos anos de 2010 a 2020;
- Realizar Análise Hierárquica de Processo (AHP), Combinação Linear Ponderada (CLP) e álgebra de mapas para os indicadores 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1;
- Realizar Combinação Linear Ponderada (CLP) para os indicadores 6.3.2 e, 6.4.1;
- Compartilhar os resultados da pesquisa através de painéis interativos (*Dashboard*) de acesso público.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

Nesta revisão de literatura as categorias elencadas foram sistematizadas de forma indutiva, convergindo para o tema central, de forma a possibilitar a construção do conhecimento necessário para o entendimento da pesquisa.

#### **3.1 SANEAMENTO**

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define Saneamento como sendo o controle de todos os fatores, do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre a sua saúde, aqui entendida como bem-estar físico, mental e social (FUNASA, 2007).

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pelo artigo 3º da Lei 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Esta Lei ainda define que o saneamento básico deve ser de acesso universal. Os conjuntos de serviços do saneamento são definidos por tal instrumento jurídico da seguinte maneira:

- a) abastecimento de água potável: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. (BRASIL, 2007, p. 1).

A relação intrínseca entre saneamento e saúde foi gradativamente sendo comprovada através do tempo. A pesquisa do médico britânico John Snow é considerada, segundo Arouca (2017), como um dos primeiros exemplos de análise espacial em saúde. Esse clássico estudo analisou uma epidemia de cólera ocorrida em Londres, no ano de 1854, e demonstrou, através do mapeamento, a associação entre mortes por cólera e suprimento de água por meio de diferentes bombas públicas de abastecimento. Tal relação tem sido discutida e reiterada por diversos estudos, e é evidente o benefício que as políticas de saneamento exercem sobre as condições de saúde e qualidade de vida da população.

Nos anos de 2001 e 2002 foi realizada uma pesquisa financiada pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) que definiu as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) como aquelas que podem estar associadas ao abastecimento de água deficiente, ao esgotamento sanitário inadequado, à contaminação por resíduos sólidos ou às condições precárias de moradia conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 – Doenças relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)

Categorias	Doenças
I – Doenças de transmissão fecal-oral	1. Diarreias
	1.1 Cólica
	1.2 Infecções por salmonela
	1.3 Shigelose
	1.4 Outras infecções intestinais bacterianas
	1.5 Amebiasis
	1.6 Outras infecções intestinais por protozoários
	1.7 Isosporíase e outras
	1.8 Doenças intestinais por vírus
	2. Febres Entéricas
II – Doenças causadas por inseto vetor	2.1 Febre tifoide
	2.2 Febre paratifoide
	3. Hepatite A
	-
	4. Dengue
	-
	5. Febre amarela
	-
	6. Leishmaniose
III – Doenças transmitidas através do contato com a água	6.1 Leishmaniose tegumentar
	6.2 Leishmaniose visceral
	7. Filariose linfática
	-
	8. Malária
IV – Doenças relacionadas com higiene	9. Doença de Chagas
	-
	10. Esquistossomose
V – Geo-helmintos e teníases	11. Leptospirose
	-
	12. Doença dos olhos
	12.1 Tracoma
	12.2 Conjuntivites
	13. Doença da pele
	13.1 Dermatofitoses
	13.2 Outras micoses superficiais
	14.1 Equinococose
	14.2 Ancilostomíase
	14.3 Ascaridíase
	14.4 Estrongiloidíase
	14.5 Tricuríase
	14.6 Oxiuríase
	15.1 Teníase
	15.2 Cisticercose

Fonte: Adaptado de FUNASA (2004).

Com o objetivo sanitário e de promoção da saúde são projetados os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) e os Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES). Dentre os componentes dos SES estão as Estações Elevatórias de Esgotos (EEE) e as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). A EEE contempla um conjunto de instalações que objetivam

bombar os esgotos de um ponto baixo para outro de cota mais elevada, permitindo que a partir desse ponto, os esgotos possam fluir por gravidade (ANBT, 1992). Já a ETE é um conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes do seu lançamento nos cursos d'água (ABNT, 2011).

Tais elementos dos SES têm fundamental importância para que o efluente complete seu ciclo e seja novamente introduzido na natureza com carga poluidora suficiente para que o recurso hídrico possa se autodepurar e servir como afluente mais a jusante conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Esquema do ciclo do saneamento



Fonte: Folha do estado de Santa Catarina (2022).

Conforme relatam Lobato e Jardim (2014), as DRSAI são relevantes para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a presença de tais doenças permite constatar a precariedade nos SAA e SES e na coleta e destino final dos resíduos sólidos e drenagem urbana.

### 3.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Quando se fala em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), o monitoramento da qualidade da água dos mananciais é de fundamental importância, pois vai além do ponto de vista da preservação e também atinge a esfera econômica, conforme pontua Braga et al. (2005), visto que a utilização do corpo de água como manancial de abastecimento fica prejudicada. Por ocasião de a água ser um ótimo solvente, as suas características são alteradas por meio de interferências naturais ou antrópicas, introduzindo poluentes de forma pontual ou difusa e, por

este motivo, são necessários indicadores físicos, químicos e biológicos para caracterizar a sua qualidade.

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos constituintes mais importante dos recursos hídricos e indicadores de qualidade da água mais utilizado. Braga et al. (2005) explica que a presença de gases dissolvidos na água, como o oxigênio, viabiliza a realização da fotossíntese e respiração aeróbia no meio. Se houver oxigênio dissolvido na água, a decomposição da matéria orgânica biodegradável será feita por bactérias aeróbias que consomem este elemento. Caso o consumo de oxigênio seja maior que a capacidade de reposição do meio, o oxigênio será esgotado e a existência de peixes e outros organismos será inviável, cooperando para a existência de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspecto indesejáveis à água. O principal impacto do lançamento de esgotos domésticos nos recursos hídricos decorre da diminuição da concentração de OD disponível na água.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) é a medida da acidez ou alcalinidade de uma determinada solução. No caso da água, muitas substâncias decorrentes das atividades humanas alteram o valor deste parâmetro, desequilibrando muitas reações químicas e sistemas biológicos.

A partir da medida de condutividade elétrica (CE), pode-se estimar a salinidade, definida como a quantidade total de sais dissolvidos na água. Outra informação importante que pode ser estimada a partir da medida da CE é a quantidade de sólidos dissolvidos totais. Um excesso de sólidos dissolvidos pode ser prejudicial para a sobrevivência de seres aquáticos que, quando expostos a valores de sólidos dissolvidos elevados, têm suas chances de sobrevivência e procriação (sobrevivência de ovas) reduzidas.

Ainda conforme Braga et al. (2005), os nutrientes em excesso nos corpos d'água, notadamente sais de nitrogênio e fósforo, podem levar ao crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos (eutrofização acelerada), principalmente quando se fala de ambientes lênticos como os reservatórios, acarretando prejuízo na utilização de alguns recursos hídricos como mananciais de abastecimento.

O monitoramento da qualidade da água dos reservatórios em uma localidade é essencial para o alcance do desenvolvimento sustentável.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Sob a ótica de Arouca (2017), a relação entre saneamento e desenvolvimento é bastante clara, uma vez que países com maior grau de desenvolvimento apresentam menores déficits de atendimento de suas populações por serviços de saneamento. Antagonicamente, países com

piores coberturas de saneamento têm populações menos saudáveis, o que por si só constitui um indicador de nível de desenvolvimento.

O termo Sustentabilidade ou Desenvolvimento Sustentável foi amplamente divulgado na publicação do livro *Nosso Futuro Comum* (1988), conhecido como Relatório *Brundtland*, da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD – 1998) da ONU, em que ele foi definido como sendo aquele que atende às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades.

Ao redigir a obra “Saber Ambiental”, Leff (2001) discorre que a racionalidade econômica baniu a natureza da esfera econômica da produção. Ele afirma que para atingir a sustentabilidade é necessário desfazer as irracionalidades ecológicas e internalizar as externalidades socioambientais ao sistema econômico, reconhecendo a função superior da natureza nos processos produtivos.

Essa busca de um conceito capaz de ecologizar a economia e eliminar a contradição entre crescimento econômico e preservação da natureza culminou no que ele denominou de “racionalidade ambiental”: o crescimento econômico sustentável, que estabelece limites e condições à apropriação capitalista da natureza, dos recursos naturais e da perda da diversidade biológica e étnica. Leff (2001) enxerga a sustentabilidade como a construção de uma nova racionalidade produtiva de reapropriação da natureza e dos recursos em sua esfera econômica, ecológica e global.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável surge em oposição ao modo de vida insustentável das sociedades no que diz respeito ao uso do meio natural. Para Cavalcanti (2003), o meio ambiente é visto sob o sistema econômico como suporte por excelência de fonte de recurso, mas crescendo a economia, os recursos naturais tendem a desaparecer. Tal conceito deve ser visto como condição primária das atividades humanas, devendo, portanto, existir uma proposta de desenvolvimento viável, que concilie o desejável crescimento econômico com a imprescindível observância da capacidade de suporte dos recursos e os limites dos ecossistemas, chegando ao tão desejado desenvolvimento sustentável.

Para Dutra (2017), o desenvolvimento sustentável é o caminho para se alcançar o objetivo final que é a sustentabilidade, esta conquistada no longo prazo. Bacha et al. (2010) em sua revisão de literatura sobre os conceitos de sustentabilidade concluem que, de maneira geral, as definições convergem quanto à complexidade e integram noções de viabilidade social, ambiental e econômica, o famoso tripé da sustentabilidade.

O conceito de desenvolvimento sustentável proposto pelo Relatório *Brundtland* não implicou responsabilidades específicas a respeito das dimensões do desenvolvimento, nem em

relação às gerações futuras, por isso, atualmente, a definição mais difundida é a apresentada pela Agenda 2030. A Agenda 2030 é constituída de 17 ODS e sua implementação ocorrerá no período de 2016 a 2030. Os ODS fornecem uma visão holística e multidimensional do desenvolvimento ao longo de todas as suas 169 metas, monitoradas por 232 indicadores, para que seja possível comparar sua evolução histórica, oferecendo um panorama global para o acompanhamento da Agenda 2030 em todo o mundo. Os ODS estão alicerçados em 5 pilares: Pessoas, Planetas, Prosperidade, Paz e Parcerias; e se distribuem da seguinte maneira:

- Objetivo 1: Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
- Objetivo 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- Objetivo 3: Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- Objetivo 4: Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- Objetivo 5: Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
- Objetivo 6: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- Objetivo 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos;
- Objetivo 8: Promover o crescimento econômico, sustentável e inclusivo, o emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
- Objetivo 9: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- Objetivo 10: Reduzir a desigualdade entre os países e dentro deles;
- Objetivo 11: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- Objetivo 12: Assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis;
- Objetivo 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos;
- Objetivo 14: Conservação e uso sustentável dos oceanos, mares e dos recursos marinhos, para o desenvolvimento sustentável;
- Objetivo 15: Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra, e estancar a perda da biodiversidade;
- Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
- Objetivo 17: Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015, p.15).

O ODS 6 visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todas e todos, tratando de saneamento e recursos hídricos em uma perspectiva integrada. Ele é composto por 8 metas, que são monitoradas por 11 indicadores, conforme indicado no Quadro 2.

Quadro 2 – Lista de indicadores por meta do ODS 6

<b>Eixos temáticos</b>	<b>Metas</b>	<b>Indicadores</b>
1 – Abastecimento de água e esgotamento sanitário	<p>6.1. Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos.</p> <p>6.2. Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.</p>	<p>6.1.1 Proporção da população que utiliza serviços de água potável geridos de forma segura.</p> <p>6.2.1 Proporção da população que utiliza serviços de Esgotamento sanitário geridos de forma segura, incluindo instalações para lavar as mãos com água e sabão.</p>
2 – Qualidade e quantidade de água	<p>6.3. Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.</p> <p>6.4. Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.</p>	<p>6.3.1 Proporção de águas residuais tratadas de forma segura</p> <p>6.3.2 Proporção de corpos hídricos com boa qualidade de água.</p> <p>6.4.1 Alterações na eficiência do uso da água (em USD/m<sup>3</sup>).</p> <p>6.4.2 Nível do stress hídrico: proporção entre a retirada de água doce e o total dos recursos de água doce disponíveis no país.</p>
3 – Gestão: Saneamento e Recursos Hídricos	<p>6.5. Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado.</p> <p>6.6. Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.</p> <p>6.a. Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso.</p> <p>6.b. Apoiar e fortalecer a participação das comunidades</p>	<p>6.5.1 Grau de implementação da gestão integrada de recursos hídricos.</p> <p>6.5.2 Proporção de bacias hidrográficas e aquíferos transfronteiriços abrangidos por um acordo operacional de cooperação em matéria de recursos hídricos.</p> <p>6.6.1 Alteração dos ecossistemas aquáticos ao longo do tempo.</p> <p>6.a.1 Montante de ajuda oficial ao desenvolvimento na área de água e saneamento, inserida num plano governamental de despesa.</p> <p>6.b.1 Proporção de unidades administrativas locais com</p>

Eixos temáticos	Metas	Indicadores
	locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.	políticas e procedimentos estabelecidos visando à participação local na gestão da água e Saneamento.

Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Sob a ótica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), a preocupação com o fornecimento de água potável para todos é o foco do ODS 6 (metas 6.1 e 6.3). Inseparável da sustentabilidade também é o acesso ao esgotamento sanitário (meta 6.2), visto que a sua falta pode levar à contaminação do solo, de rios, mares e fontes de água para abastecimento, prejudicando a saúde e, por conseguinte, a qualidade de vida. O uso racional da água pelas atividades econômicas é incorporado pelo ODS 6 (meta 6.4), assim como a gestão eficiente e integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, nacionais e transfronteiriços (meta 6.5). Aliado a isso, são necessários marcos institucionais para favorecer a participação social, para controle do uso da água e monitoramento da proteção dos ecossistemas aquáticos (metas 6.6, 6.a e 6.b).

Considerando o caráter multidisciplinar da água, o ODS 6 está integrado aos demais objetivos, uma vez que a água é essencial para que haja desenvolvimento e bem-estar influenciando na qualidade de vida da população. A diminuição da pobreza, a progressão econômica e o desenvolvimento sustentável estão ligados aos recursos hídricos e aos serviços de abastecimento de água.

### 3.4 SISTEMA DE INDICADORES

Uma das formas de se avaliar como questões relacionadas ao saneamento influenciam no desenvolvimento sustentável é por meio de indicadores, ferramenta essa utilizada pela ONU para acompanhamento, comparação e verificação de evolução dos resultados de cada país no atendimento da Agenda 2030.

Para Lobato e Jardim (2014), indicadores são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis, que, associadas de diversas formas, podem ajudar a simplificar um arranjo complexo de informações sobre saúde pública, meio ambiente, qualidade de vida, desenvolvimento e outros fatores, possibilitando uma visão integrada das condições e tendências existentes.

De acordo com Lopes (2016), os indicadores de sustentabilidade, obtiveram destaque na Agenda 21, com a proposta de definir aqueles que considerassem aspectos ambientais, econômicos, políticos, sociais e culturais, pois um único indicador não é capaz de medir todos

os aspectos do desenvolvimento sustentável, sendo necessário um sistema de indicadores. No tocante aos Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS), é primordial diferenciar os seguintes conceitos:

Parâmetro: corresponde a uma grandeza que pode ser medida com precisão ou avaliada qualitativamente/quantitativamente, e que se considera relevante para a avaliação dos sistemas ambientais, econômicos, sociais e institucionais;

Indicadores: parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si, sendo de especial pertinência para refletir determinadas condições dos sistemas em análise (normalmente são utilizados com pré-tratamento, isto é, são efetuados tratamentos aos dados originais, tais como médias aritméticas simples, percentuais, medianas, entre outros);

Índice: corresponde a um nível superior de agregação, pelo qual, após aplicado um método de agregação aos indicadores e/ou aos subíndices, é obtido um valor final; os métodos de agregação podem ser aritméticos ou heurísticos e comparáveis com padrões. (DGA, 2000 apud DUTRA, 2017, p. 38-39).

Ainda segundo Lopes (2016), a combinação de indicadores gera uma equação expressa que, uma vez calculada, revela um valor, o índice, que é também um indicador e define uma condição que se quer medir. Os índices nos proporcionam respostas quantitativas, já os indicadores podem ser qualitativos ou quantitativos. A Figura 2 mostra como as informações devem ser agregadas para a obtenção de indicadores e, posteriormente, de índices.

Figura 2 – Pirâmide da informação para obtenção de indicadores



Fonte: Adaptado de Ferreira (2011) apud Lopes (2016).

A fim de diagnosticar a situação da disponibilidade do saneamento básico e seus impactos na qualidade de vida da população, Lima (2016) discute que se torna necessária a utilização de ferramentas, que associadas a indicadores, possibilitem inferir sobre seus elementos e gerar

resultados utilizáveis para a gestão pública, a exemplo dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

### 3.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

Análises feitas, baseando-se em dados espaciais, permitem ao gestor examinar não apenas quantitativamente os dados como também a relação entre os dados ambientais, socioeconômicos e com a posição que o evento ocupa na superfície terrestre, acompanhando as mudanças que ocorrem no espaço geográfico e perceber possíveis populações sujeitas a agravos de saúde (SANTOS; BARCELLOS, 2006).

As geotecnologias representam um instrumento relevante para subsidiar a definição de política pública, à medida que permitem analisar, produzir e integrar dados diversos na mesma base territorial. Nesse sentido, um SIG é uma ferramenta do geoprocessamento que permite o armazenamento, a manipulação e o compartilhamento de dados de um determinado local, tendo como base a escala ou o nível de detalhamento geográfico.

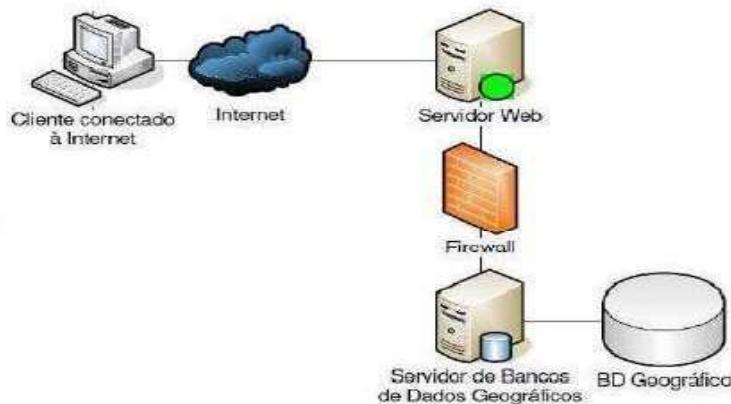
O SIG está atrelado a um Banco de Dados Geográficos (BDG) cujo conteúdo reúne um conjunto de informações que possibilita consultas, modelagem e análises para tomada de decisão (LONGLEY et al., 2013).

Paralelamente ao crescimento da internet, algumas ciências foram se modificando e evoluindo para acompanhar tal tendência, a exemplo dos SIG. Com o avanço tecnológico, e a transição de mapas analógicos para digitais, a era de *WebMap*, *WebGIS* e *Dashboards*, a criação de *Web Services* gerou possibilidades para a aplicação no campo das informações geográficas.

Por meio dos *Web Services* podem ser atribuídas diversas funções, desde a localização da informação geográfica, até a adição de características dessa informação. Esse sistema também pode oferecer a oportunidade de criar repositórios que permitam operações de consulta e de atualização da informação geográfica (ARAÚJO, 2005 apud SOUZA, 2021).

Abarcando o conceito de Gavlak e Gavlak (2009), num Web Service o navegador interage com o servidor de *web*, que requisita os dados do servidor de mapas, que interpreta os dados que foram solicitados, buscando as informações requeridas no BDG e produzindo uma saída que é retornada ao usuário, conforme ilustrado na Figura 3, não dependendo da plataforma utilizada para o desenvolvimento dos softwares.

Figura 3 – Disseminação de informações geográficas através da internet



Fonte: Adaptado de Gavlak e Gavlak (2009).

Segundo Bombarda, Santos e Oliveira (2020), um *Dashboard* pode ser definido como uma distribuição de informações em um painel de controle de forma concentrada, podendo ser elaborado por meio de várias ferramentas distintas. Sua constituição é dada por meio de relatórios, gráficos e tabelas dispostos de modo a colaborar com a gestão à vista, não só auxiliando a visualização desses dados oriundos de um banco de dados, mas também com a análise deles, uma vez que permite certa interatividade.

Sendo o *Dashboard* uma excelente ferramenta de gestão, muitas empresas e instituições vêm aderindo a esse sistema. Por se tratar de uma análise visual, esses painéis proporcionam a visualização compacta de diversas informações em um único local e servem como auxílio na tomada de decisão. Isso se dá porque o recurso permite a criação de um painel interativo de acordo com a necessidade de cada organização, podendo assim ser um grande aliado na administração de recursos e ações.

Como exemplo de um produto semelhante ao que foi desenvolvido a partir deste trabalho, tem-se o painel interativo com os dados do relatório ODS 6 no Brasil – visão da ANA sobre os indicadores (2<sup>a</sup> edição). Nele é mostrado o acompanhamento do ODS 6, permitindo ver a série histórica, o resultado por estado ou região hidrográfica e gerar comparações como ilustrado na Figura 4.

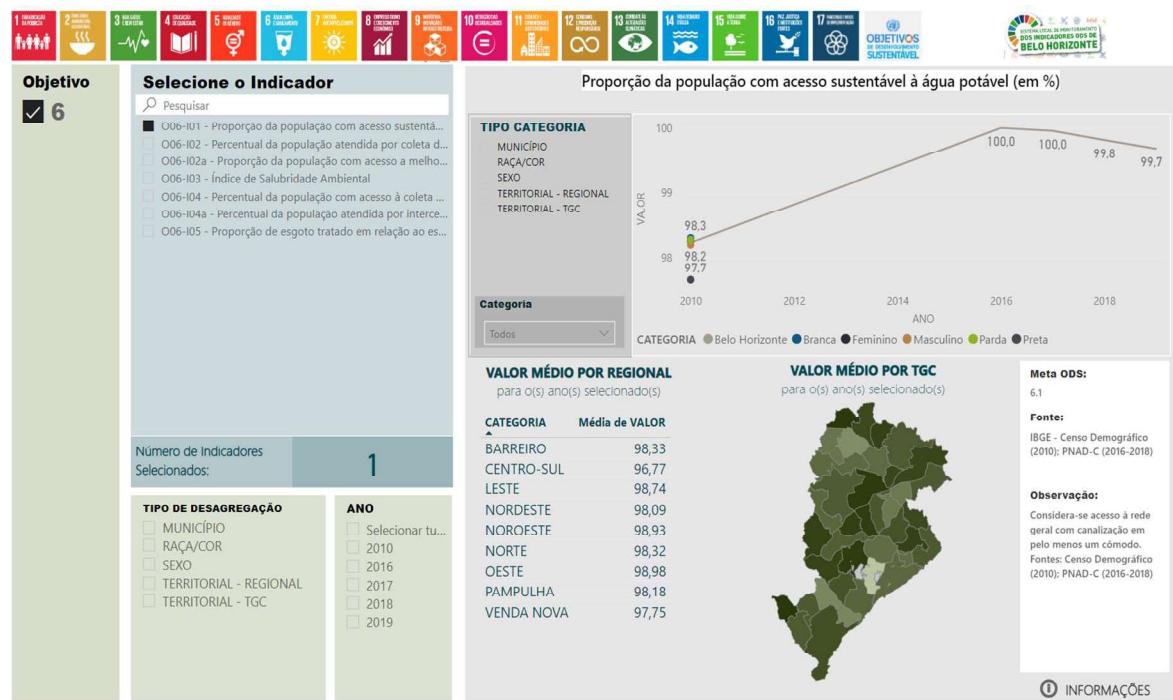
Figura 4 – Dashboard da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) com os resultados dos indicadores do ODS 6



Fonte: ANA (2022).

De modo análogo, em âmbito municipal, a Prefeitura de Belo Horizonte (MG) desenvolveu um sistema local para realizar o monitoramento de todos os 17 ODS estabelecidos pela ONU. São produzidos e disseminados dados e informações relativos à situação do município em relação às metas estabelecidas através de um painel como mostrado na Figura 5. Tal *Dashboard* é composto por um conjunto de 162 indicadores que foram desagregados, pelos critérios de sexo, raça/cor, região administrativa e território de gestão compartilhada.

Figura 5 – Dashboard da Prefeitura de Belo Horizonte com os resultados do município para os 17 ODS



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2022).

A criação de produtos como estes é de fundamental importância para nortear a gestão pública na tomada de decisão.

### 3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A utilização da análise multicritério está diretamente relacionada ao fato de que certas análises não podem ser realizadas considerando um único aspecto, como é o caso do presente estudo.

Existem várias formas de se organizar e ponderar cada camada de informação a ser analisada dentro do SIG/GIS: o MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*; o ELECTRE – *Elimination and choice translating algorithm*, o PROMETHEE – *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*; o MABETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*; e o AHP – *Analytic Hierarchy Process*.

Dentre as metodologias consolidadas para apoiar decisões, o AHP, ou *Fuzzy AHP*, é o principal meio de decisão multicritério. Tal método foi criado por Thomas Saaty, em 1978, na Universidade da Pensilvânia. Na literatura são encontrados inúmeros estudos que aplicaram o método AHP apoiando problemas de tomada de decisão com contextos econômicos, políticos,

ambientais e sociais. O AHP auxilia o especialista na tomada de decisão e estabelece a influência de cada variável dentro do foco de estudo (MOURA, 2007).

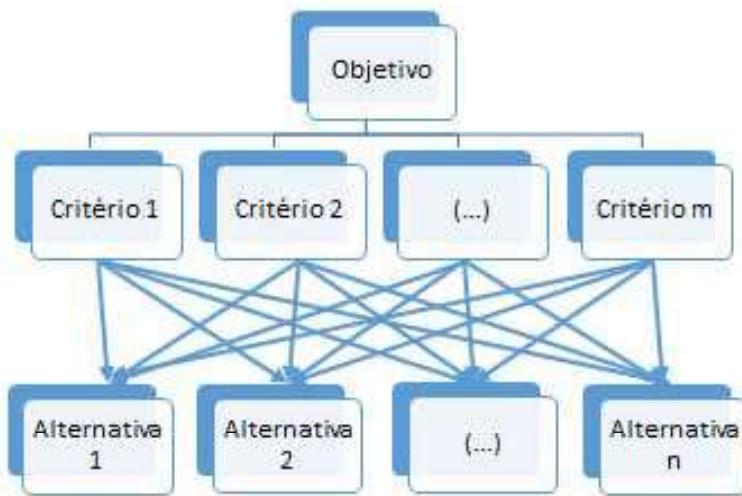
Na literatura são encontrados inúmeros estudos que aplicaram o método AHP apoiando problemas de tomada de decisão com contextos econômicos, políticos, ambientais e sociais. Lima (2018) realizou análise de decisão multicritério com indicadores socioambientais, por meio da técnica AHP dentro de um SIG, e chegou a um resultado de qualidade ambiental regular para a cidade de Nova Andradina/MS de acordo com os critérios utilizados. Leal (2019) desenvolveu um mapa de vulnerabilidade à inundação da Bacia hidrográfica do Rio Una com auxílio da metodologia proposta por Saaty aliada à álgebra de mapas realizada num sistema de informações geográficas e obteve áreas de maior vulnerabilidade à inundação compreendidas nas faixas de menor altitude (no exutório da bacia) e próximas à margem do rio. Javarini et al. (2020) utilizaram esse mesmo método para hierarquizar os critérios e indicadores que influenciam na implantação de parques eólicos, e obtiveram o critério vento como sendo aquele que exerce uma maior influência.

O método de Saaty foi identificado em 51,8% da revisão de literatura sobre GIS-MCDA realizada por Silva et al. (2019) entre os anos de 1994 e 2018 e permanece se destacando até este momento. Diante do exposto, o método da AHP será utilizado neste trabalho, por ser um dos métodos mais difundidos e utilizados e por ter uma abordagem considerada simples.

No AHP os critérios (indicadores) são organizados em uma estrutura hierárquica na qual cada elemento representa um fator diferente do problema e estes são pareados em graus de importância relativa e elencados (SAATY, 1980) de forma a gerar os valores de ponderação para cada camada inserida no SIG/GIS.

Com base nas informações de Júnior et al. (2015), o método AHP tem como premissas básicas a construção de hierarquias, a definição de prioridades e a consistência lógica. Inicialmente, o objetivo principal, os critérios (indicadores), os subcritérios e as alternativas são dispostos de modo a formar uma estrutura hierárquica. A função desta árvore de decisão é tornar explícita a relação de subordinação dos critérios e subcritérios em relação ao objetivo principal (topo da árvore) e a contribuição de cada alternativa (base da árvore) para atingir o objetivo, como é possível analisar na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura hierárquica básica do método AHP



Fonte: Adaptado de Júnior et al. (2015).

Nas etapas para a realização do método, a aquisição de dados consiste na coleta dos julgamentos paritários emitidos pelos envolvidos no processo decisório. Na síntese dos dados, calcula-se as prioridades de cada alternativa em relação ao foco principal. E, por fim, na análise de consistência, identifica-se o quanto o sistema de priorização é consistente na avaliação das alternativas.

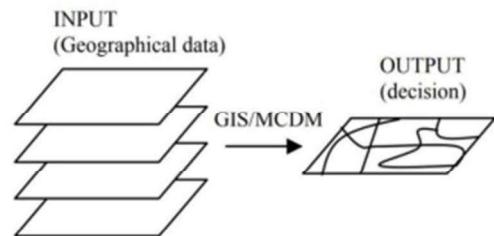
No decorrer dos últimos anos, constata-se que os problemas de decisão espacial aumentaram consideravelmente devido ao grande número de variáveis e à complexidade dos dados envolvidos. E, considerando o fato de que certas análises não podem ser realizadas considerando um único aspecto, surge então a união de duas áreas que podem se favorecer mutuamente: a Análise de Decisão Multicritério (ADM) e os SIG – *MultiCriteria Decision Analysis in Geographic Information Systems* (GIS-MCDA, sigla em inglês).

Os métodos MCDA baseados em SIG estão principalmente preocupados em combinar as informações de vários critérios (indicadores) para formar um único índice de avaliação. Esse método combina dados geográficos (critérios de mapas) e juízos de valor (preferências de tomadores de decisão) para fornecer diferentes visões dos elementos de um problema de decisão complexo e organizá-los em uma estrutura hierárquica, bem como estudar as relações entre os componentes do sistema. Esses procedimentos incluem dividir os problemas de decisão em partes menores e mais compreensíveis, analisando e integrando cada parte de maneira lógica para uma solução significativa. (SILVA et al., 2019, p. 1).

Segundo Fernandes et al. (2019), esses sistemas computacionais baseados em modelos matemáticos, desenvolvidos para auxiliar os tomadores de decisão, permitem combinar todas

as informações coletadas sobre um determinado local e combiná-las para gerar um mapa que espelha uma resposta segundo os critérios analisados. O processo do GIS-MCDA é representado na Figura 7.

Figura 7 – Realização do GIS-MCDA



Fonte: Adaptado de Silva (2021).

## 4 METODOLOGIA

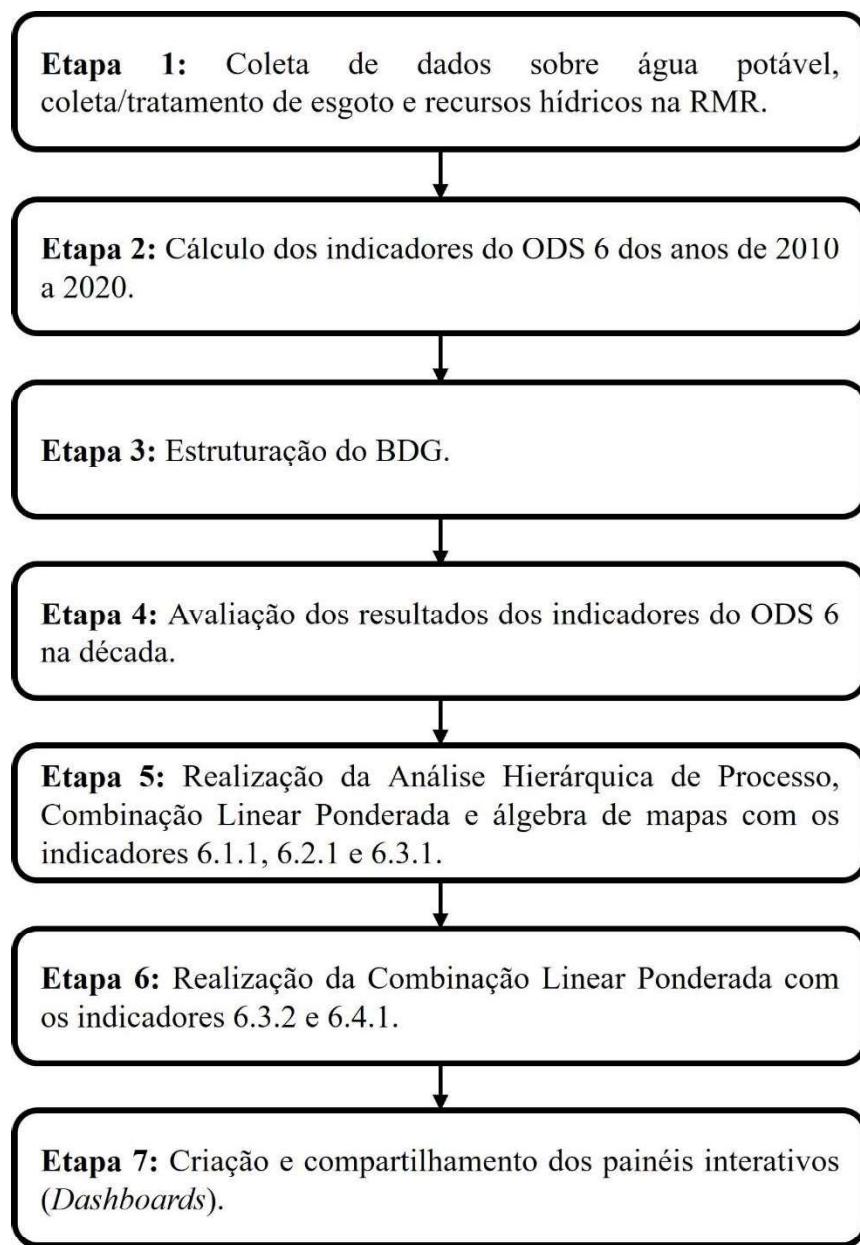
O presente tópico traz informações sobre a classificação, a área de estudo e o período da pesquisa. Descreve também a fonte em que os dados foram coletados, os softwares utilizados e como o Banco de Dados Geográficos da pesquisa foi estruturado. Logo após, são detalhados os cálculos utilizados para os indicadores do ODS 6, os métodos empregados na pesquisa – Análise Hierárquica de Processo (AHP), Combinação Linear Ponderada (CLP) e Álgebra de mapas – e a construção dos painéis interativos (*Dashboards*).

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com os fundamentos de Gil (2007), com relação ao objetivo, a pesquisa se apresenta como descritiva por buscar aprofundar o conhecimento do desempenho do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6) na RMR. Quanto à natureza, ela se caracteriza como aplicada, uma vez que busca aferir o alcance das metas do ODS 6 pelos municípios da RMR. Ademais, a abordagem é quali-quantitativa, pois traduz informações em números através de indicadores.

Buscando atingir os objetivos elencados, este trabalho foi estruturado em um conjunto de etapas conforme elencado na Figura 8.

Figura 8 – Caminho metodológico da pesquisa

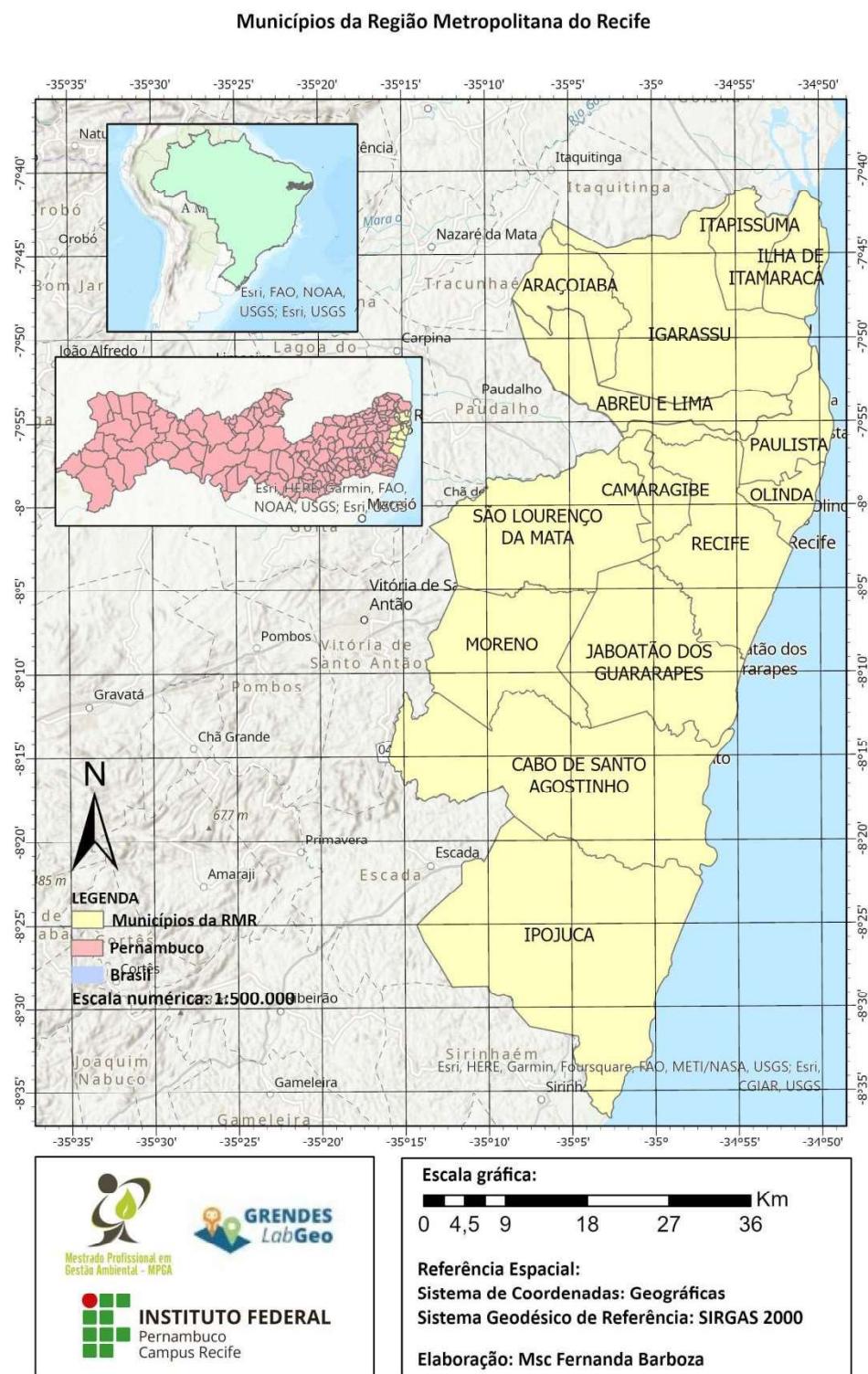


Fonte: Elaboração da autora (2022).

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PERÍODO DA PESQUISA

Para atender a proposta aqui assumida, o recorte espacial escolhido foi a Região Metropolitana do Recife (RMR). Composta por 14 municípios: Abreu e Lima, Araçoiaba, Cabo de Santo Agostinho, Camaragibe, Igarassu, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Itapissuma, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Olinda, Paulista, Recife e São Lourenço da Mata, totalizando uma área de 3.207,54 km<sup>2</sup>, cerca de 3,3% da área do estado de Pernambuco, conforme disposto na Figura 9, a seguir.

Figura 9 – Mapa de localização da Região Metropolitana do Recife



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Dados do Banco Mundial (2022) informam que, com uma população de 4,1 milhões de habitantes, a RMR é a sexta maior região metropolitana do Brasil. Localizada em uma área costeira da região Nordeste, no estado de Pernambuco, constitui um dos mais importantes centros urbanos da região, gerando cerca de 76% do PIB do estado. A capital Recife é a maior cidade da RMR, com 1,65 milhões de pessoas.

A escolha da região de estudo está, portanto, relacionada a esta contradição entre as possibilidades econômicas, sociais e culturais e suas fragilidades ambientais e de infraestrutura, que expressam o grande desafio da RMR em um país e em um mundo em rápidas e fortes mudanças com relação à sustentabilidade. Esse cenário exige um esforço envolvendo todas as esferas de governo e a sociedade civil, para o planejamento, a gestão e a execução das ações públicas na área de saneamento, propiciando melhorias nas condições de vida e, consequentemente, na sustentabilidade urbana.

A data de análise do estudo se deu entre os anos de 2010 até a última data que se tem referência, 2020, compreendendo o período de transição dos ODM para os ODS. Dentro desse período, em 2013, ocorreu a celebração da Parceria Público Privada (PPP) entre a COMPESA e, inicialmente, o grupo Odebrecht Ambiental, e, depois, a empresa canadense BRK Ambiental, denominado Programa Cidade Saneada, marco importante para o alcance das metas do ODS 6.

Tal parceria tem como objetivo recuperar os sistemas existentes, operar e implantar novos sistemas de esgotamento sanitário na RMR pelo período de 35 anos. Pelas regras contratuais da PPP pactuadas entre o poder público e o parceiro privado, a cobertura de esgotamento sanitário prevista será de 53% em 2025, 70% em 2030 e chegará a 90% em 2037. De acordo com a COMPESA (2022), o percentual de 100% de cobertura não será atingido porque existem áreas de ocupação irregular nos municípios, como as palafitas e as áreas de morro, inviáveis para a execução de obras sanitárias. O programa também visa garantir 100% de tratamento para todo o volume coletado nos municípios da RMR até 2037.

Vale salientar que neste trabalho foi utilizada a meta da Agenda 2030 (100% de abastecimento de água e coleta/tratamento de esgotos até 2030) para a avaliação de desempenho dos municípios da RMR em relação ao atendimento das metas do ODS 6.

#### 4.3 COLETA DE DADOS

Para a execução desta etapa, realizou-se uma coleta de dados de forma secundária em instituições governamentais, conforme consta no Quadro 3.

A principal base de dados utilizada foi o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O SNIS é um banco de dados mantido pelo atual Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) e atualizado anualmente com informação sobre serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos nos municípios brasileiros. A escolha pelo SNIS se justifica por ele ser considerado o banco de dados brasileiro oficial mais robusto sobre saneamento. As informações fornecidas pelos prestadores e titulares foram coletados por meio do download do banco de dados do SNIS referentes ao diagnóstico de água e esgotos dos anos estudados, que é disponibilizado em arquivos formato “xls”.

Quadro 3 – Fontes dos dados utilizados na pesquisa

Dado	Tipo de dado	Fonte	Período
Delimitação geográfica dos municípios da RMR	Vetorial (polígono)	IBGE	2010
Delimitação geográfica do estado de Pernambuco			
População total atendida por rede de abastecimento de água População residente total Volume de esgoto coletado Volume de esgoto tratado População total atendida por coleta de esgoto Volume de água consumido	Tabular	SNIS	2010 a 2020
Volumes de captação nos reservatórios da RMR	Tabular	COMPESA	2010 a 2020
Volume acumulado nos reservatórios da RMR	Tabular	APAC/CPR H	2011-2013; 2016; 2018-2019;2020
Resultados de análises físico-químicas			

Fonte: Elaboração da autora (2022).

A ANA (2022), em seu relatório sobre o ODS 6 no Brasil, indica que para nível municipal, podem ser utilizados os indicadores do SNIS para expressar alguns dos seus indicadores, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Relação entre os indicadores do SNIS e do ODS 6 utilizados na pesquisa

<b>Indicador ODS 6</b>	<b>Descrição</b>	<b>Indicador SNIS</b>	<b>Descrição</b>
6.1.1	Parcela da população que utiliza serviços de água potável de forma segura	IN055	Índice de atendimento total de água
6.2.1	Parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura	IN016	Índice de tratamento de esgoto
6.2.2	Parcela dos esgotos gerados que são tratados	IN046	Índice de esgoto tratado referido à água consumida

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Utilizaram-se os dados de volume de captação nos reservatórios obtidos da COMPESA. Esta Companhia é uma sociedade anônima de economia mista, com fins de utilidade pública, fundada em 1971, vinculada ao governo do estado de Pernambuco por meio da Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos. É uma organização dotada de personalidade jurídica de direito privado, tendo o estado de Pernambuco como seu maior acionista. Sua missão é levar água e esgotamento sanitário a 175 municípios do estado (COMPESA, 2022).

A outra fonte de dados utilizadas foi a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Ela foi criada em 2010 com o objetivo de fortalecer o planejamento e a regulação dos usos múltiplos dos recursos hídricos do estado e o Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIGRH). A APAC tem como missão executar a Política Estadual de Recursos Hídricos, planejar e disciplinar o uso da água no âmbito do estado de Pernambuco, gerenciar o monitoramento hidrometeorológico dos rios e reservatórios e realizar previsões de tempo e temperatura no estado (APAC, 2017).

A APAC realiza o monitoramento de qualidade das águas dos 54 reservatórios pernambucanos mais relevantes dos pontos de vista econômico, social e ambiental. Destes reservatórios, 16 estão localizados na RMR e Zona da Mata, 15 na região do Agreste e 21 na região do Sertão, dos quais são coletadas amostras e as análises são feitas pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). Esse monitoramento qualitativo opera no âmbito do Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (QUALIÁGUA), uma iniciativa da ANA e que foi utilizado na presente pesquisa.

#### 4.4 SOFTWARES UTILIZADOS

Os dados coletados e resultados da pesquisa, foram manipulados nos seguintes softwares:

- Microsoft Excel – para organização dos dados, tratamento estatístico, cálculo dos indicadores do ODS 6 e da Análise Hierárquica de Processo;
- Google Earth Pro – para localização espacial dos reservatórios;
- ArcGIS Pro – para manipulação e tratamento dos dados vetoriais;
- ArcGIS Enterprise – para o compartilhamento dos resultados da pesquisa;
- Ferramenta ArcGIS Operations *Dashboards* – para construção do painel interativo dos resultados da pesquisa.

As três últimas ferramentas foram disponibilizadas através da licença educacional do Laboratório de Geotecnologias e Meio Ambiente do IFPE Campus Recife (LABGEO).

#### 4.5 CÁLCULO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 6

Como contribuição ao ODS 6, em 2019, a ANA desenvolveu um documento com a metodologia para cálculo dos indicadores visando facilitar a análise do monitoramento das suas metas no território brasileiro, em sua primeira edição. Em 2022, esse documento foi atualizado com melhorias metodológicas devido a aprimoramentos em seu cálculo e novos dados disponibilizados. Tal documento foi utilizado como base para a realização deste trabalho. Os indicadores calculados são apresentados nos itens que seguem.

##### **4.5.1 Abastecimento de água e esgotamento sanitário**

Para este eixo temático, a unidade territorial para análise foi o município.

4.5.1.1 Indicador 6.1.1 - Parcada da população que utiliza serviços de água potável de forma segura

Com base nas informações da ANA (2022), o indicador 6.1.1 visa quantificar a parcela da população de uma região que utiliza serviços de água potável geridos de forma segura, que

estão disponíveis sempre que necessário e com qualidade (livre de contaminação fecal e de substâncias químicas perigosas prioritárias). A “segurança” denominada pela ONU no uso da água se refere à água canalizada para uso nas habitações ou terrenos; torneiras públicas; poços rasos ou tubulares; nascentes protegidas e águas da chuva.

Para o cálculo do indicador 6.1.1 foram feitas adaptações e considerados apenas os domicílios com canalização interna, abastecidos pela rede pública de distribuição. As informações de outras formas alternativas de abastecimento, como poço profundo ou artesiano, poço raso, freático ou cacimba, fonte ou nascente, não foram passíveis de serem obtidas, visto que os dados utilizados foram do SNIS e por município, e se tem dados dessas outras formas alternativas de abastecimento na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) por estado, e no censo demográfico que é decenal. Para o cálculo do indicador 6.1.1 anualmente foi adotada a Equação 1.

$$\text{Indicador 6.1.1} = \frac{\text{AG026}}{\text{GE12a}}$$

Equação 1 – Parcela da população que utiliza os serviços de água potável de forma segura

Em que:

AG026 = População total atendida por água; e

GE12a = População residente total, segundo o IBGE.

#### 4.5.1.2 Indicador 6.2.1 - Parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura

O indicador 6.2.1 mensura a parcela da população que utiliza serviços de esgotamento sanitário e de instalações sanitárias com critérios adequados de segurança quanto aos hábitos de higiene. A “segurança” é entendida pela ONU como canalizações internas para condução de águas residuárias de banheiros a redes públicas de coleta de esgotos e fossas sépticas ou rudimentares, todos com tratamento; e a proporção da população que possui instalações para lavagem das mãos no seu próprio domicílio (ANA, 2022).

Para o cálculo do indicador 6.2.1 foram feitas adaptações e considerados apenas os domicílios com canalizações internas para condução de águas residuárias de banheiros a redes públicas de coleta de esgotos. As outras soluções individuais de destinação de esgoto doméstico, como fossas sépticas ou rudimentares com tratamento, não foram passíveis de serem obtidas, visto que os dados utilizados foram do SNIS e por município, e se tem dados dessas outras

formas alternativas de abastecimento na PNAD por estado, e no censo demográfico que é decenal. Para o cálculo do indicador 6.2.1 anualmente foi adotada a Equação 2.

$$\text{Indicador 6.2.1} = \frac{\text{ES006}}{\text{ES005}} \times \text{ES026}$$

Equação 2 – Parcada da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma

Em que:

ES005 = Volume de esgoto coletado;

ES006 = Volume de esgoto tratado;

ES026 = População total atendida por rede de esgoto.

#### 4.5.1.3 Indicador 6.3.1 - Parcada dos esgotos gerados que são tratados

O indicador 6.3.1 visa quantificar a parcada em volume dos esgotos gerados que são tratados, evitando seu lançamento *in natura* nos corpos hídricos. É mensurado pela porcentagem de efluentes domésticos e de outras fontes geradoras de efluentes, existentes nas áreas urbanas da região.

As informações sobre população atendida por soluções individuais de tratamento de esgoto, como fossas sépticas não ligadas à rede coletora, não foram passíveis de serem obtidas, visto que os dados utilizados foram do SNIS e por município, e se tem dados dessas outras formas alternativas de abastecimento na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) por estado, e no censo demográfico que é decenal. Para o cálculo do indicador 6.3.1 anualmente foi adotada a Equação 3.

$$\text{Indicador 6.3.1} = \frac{\text{ES006}}{\text{AG010}}$$

Equação 3 – Parcada dos esgotos gerados que são tratados

Em que:

ES006 = Volume de esgoto tratado, em mil m<sup>3</sup>/ano; e

AG010 = Volume de água consumido, em mil m<sup>3</sup>/ano.

#### 4.5.2 Qualidade e quantidade de água

Para este eixo temático, a unidade territorial para análise foi o reservatório de acumulação. Segundo Lopes e Santos (2002), as barragens implantadas nos cursos d'água têm por finalidade acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem.

Os reservatórios de maior impacto na RMR a serem utilizados neste trabalho e suas características estão dispostos no Quadro 5.

Quadro 5 – Reservatórios que abastecem a RMR e suas características

Reservatórios	Capacidade de acumulação (m <sup>3</sup> )	Estação de monitoramento	Municípios atendidos
Bita	2.799.849	MA-06	Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho
Utinga	9.407.969	MA-02	
Botafogo	9.407.969	BF-05	Olinda, Paulista, Igarassu e Abreu e Lima
Duas Unas	De nível	-	Jaboatão dos Guararapes
Gurjaú	1.043.029	PP-06	Jaboatão dos Guararapes e Cabo de Santo Agostinho
Pirapama	60.880.246	PP-53	Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Recife
Tapacurá	94.200.000	CB-65	Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes e Recife
Várzea do Una	11.568.010	CB-67	São Lourenço da Mata

Fonte: Adaptado de COMPESA e APAC (2022).

Segundo descrito no livro *Compesa 50 anos* (2022), o sistema Tapacurá foi o primeiro SAA da RMR, concebido com o objetivo de minimizar o desconforto hídrico da população. Ele foi projetado para operar com duas barragens, uma linha adutora, uma ETA e um grande reservatório. A construção da obra foi dividida em duas etapas. A primeira etapa, com capacidade de produzir 2.000 l/s, foi concluída em 1975, começando sua operação em 1977. A segunda fase foi concluída em 1982 e injetou mais 2.000 l/s, totalizando assim a produção de 4.000 l/s (COMPESA, 2022).

Com o objetivo de reforçar o abastecimento de água da RMR, o Sistema Adutor de Duas Unas funciona como uma linha auxiliar do sistema Tapacurá, proporcionando um reforço no

abastecimento da RMR. A barragem foi construída no limite entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Moreno e tem o rio Duas Unas como o seu principal afluente.

Segundo dados da COMPESA (2022), o sistema Botafogo foi a segunda grande obra de abastecimento de água da RMR e foi fundamental para levar água aos municípios que integram a nucleação norte da RMR. Apenas a primeira etapa projetada do Sistema Botafogo foi implantada, com a construção da barragem do rio Catucá, chamado de Rio Botafogo.

Ainda conforme dados da COMPESA (2022), o sistema Pirapama, por sua vez, é o maior parque de água tratada da RMR. A obra foi construída em três etapas, tendo sido a primeira delas inaugurada em 2010; a segunda, em 2011; e a terceira em 2012, injetando mais de 5.000 l/s por segundo no abastecimento da RMR. A barragem de Pirapama fica localizada no município do Cabo de Santo Agostinho, sendo considerada o maior SAA de Pernambuco e um dos maiores do Brasil.

#### 4.5.2.1 Indicador 6.3.2 - Porcentagem de corpos d'água com boa qualidade da água

O indicador 6.3.2 visa quantificar a porcentagem de corpos d'água de uma região, incluindo rios, reservatórios e águas subterrâneas, com boa qualidade da água. Segundo a ANA (2022), a designação “boa” indica qualidade que não prejudica a função do ecossistema e a saúde humana. Os 5 parâmetros a serem considerados no indicador 6.3.2 são: Oxigênio dissolvido na água, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, fósforo total e nitrogênio amoniacal total.

De acordo com as orientações da ANA (2022), para fins do cálculo do indicador 6.3.2, são considerados como de boa qualidade os pontos de monitoramento que atenderam aos limites da Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005. A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, apresenta limites de concentração para tais parâmetros baseando-se nos usos pretendidos para a água, conforme as Classes:

Classe 1: águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; à proteção das comunidades aquáticas.

Classe 2: águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

Classe 3: águas que podem ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

Classe 4: águas que podem ser destinadas: à navegação; e à harmonia paisagística.

Vale ressaltar que em relação ao enquadramento dos corpos hídricos em classes de usos preponderantes, nenhuma bacia hidrográfica dentro do Estado de Pernambuco está enquadrada conforme preconiza a Resolução nº 357/05 do CONAMA. Sendo assim, segundo esta Resolução, enquanto não houver enquadramento dos corpos de água, as águas doces serão consideradas Classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores. Destaca-se que todos os 8 reservatórios analisados dentro da RMR são de água doce.

Os limites estabelecidos para os parâmetros são dispostos no Quadro 6.

Quadro 6 – Limites das classes da Resolução CONAMA nº 357/2005

Parâmetro	Limites Classe 2
Oxigênio dissolvido (mg O <sub>2</sub> /L)	>5
Fósforo total (mg P/L)	lêntico ≤0,03 Intermediário e tributário de lêntico≤0,05 Lótico e tributário de intermediário≤0,1
PH	6 a 9
Nitrogênio amoniacal total (mg NH <sub>3</sub> /L)	4,5(pH≤7,5) 2,4(7,5<pH≥8,0) 1,2(8,0<pH≥8,5) 0,6(pH>8,5)

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Para a condutividade elétrica (CE), que não possui padrão na Resolução nº 357/2005, a ANA (2022) adotou referência internacional, que recomenda a adoção de valores mediante uma correlação com os padrões de sólidos dissolvidos totais, obtendo-se como limite para a CE o valor de 782 µS/cm.

Com base no monitoramento sistemático da qualidade da água realizado pelas APAC e CPRH, foram verificados os registros dos parâmetros elencados pela ANA. Se 80% ou mais dos pontos de monitoramento atenderem aos padrões de qualidade estabelecidos, é atribuída qualidade da água “boa” ao corpo hídrico monitorado. Para o cálculo do indicador 6.3.2 anualmente foi adotada a Equação 4.

Equação 4 – Porcentagem de corpos d’água com boa qualidade de água

*Indicador 6.3.2 = N° análises físico-química do reservatório que atendem Classe 2 CONAMA 357/2005*

*N° total de análises físico-química do reservatório*

Para o presente estudo foram utilizadas as coletas de amostras de água realizadas no período de janeiro de 2011 a fevereiro de 2019 no âmbito do Programa QUALIÁGUA-ANA, fazendo uso de 4 dos 20 parâmetros analisados (Oxigênio dissolvido na água, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica e fósforo total), com frequência trimestral, totalizando 4 coletas em cada reservatório anualmente, sendo possível contemplar a variabilidade sazonal da qualidade da água. É importante salientar que em alguns anos não foram realizadas coletas e análises devido à falta de reserva orçamentária.

Não foi possível realizar a análise do Nitrogênio Amoniacal devido a ausência de parâmetro correspondente nos dados coletados. Também não foi possível incluir o diagnóstico da qualidade dos mananciais de abastecimento humano de Itapissuma e Itamaracá por ser constituídos por poços profundos e o monitoramento do QUALIÁGUA não contemplar água subterrânea.

#### 4.5.2.2 Indicador 6.4.1 - Nível de stress hídrico

Conforme relatado no Atlas Águas (ANA, 2021), o desequilíbrio do balanço hídrico é um dos causadores da insegurança hídrica, que, somado à gestão dos recursos hídricos, à operação do saneamento e a variabilidades e mudanças do clima, favorece a instalação de crises hídricas, como as que afetaram o Brasil nos últimos anos.

Nesse contexto, o indicador 6.4.2 fornece uma estimativa da pressão pelos recursos de água doce renováveis exercida pelo total de demandas para todas as finalidades de uso. Conforme dispõe a ANA (2022), o indicador é calculado mediante a relação entre o total de demandas de retirada de água doce para abastecimento da população e suprimento hídrico a todas as atividades econômicas e o total de recursos de água doce renováveis disponíveis na região. Trata-se, em síntese, de um balanço hídrico entre demandas e disponibilidades hídricas, informando o percentual de comprometimento da oferta de água.

Para o cálculo do indicador 6.4.2 anualmente foi adotada a Equação 5.

$$Sh = \frac{Dt}{Erh}$$

Equação 5 – Nível de stress hídrico

Em que:

Sh = Nível de stress hídrico, dado em %;

Dt = Demandas hídricas de retiradas totais, em m<sup>3</sup>/ano; e

Erh = Estoque total do reservatório, em m<sup>3</sup>/ano; (volume acumulado no reservatório no último dia do ano).

Para o cálculo desse indicador, não foram consideradas as vazões ecológicas dos mananciais.

#### 4.6 ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

No ArcGIS Pro, para estruturar o BDG os dados selecionados foram organizados em classes de feições (*feature class*) que compartilhavam o mesmo tipo de geometria (ponto, linha ou polígono) e agrupadas por conjuntos de dados de feições (*feature dataset*) que apresentavam alguma relação entre si.

Todas as classes de feição de um determinado conjunto de dados de feições devem compartilhar a mesma referência espacial, ou seja, elas devem estar no mesmo sistema de referência e de coordenadas, e suas feições devem estar dentro de uma área geográfica comum. Desta forma, os dados geográficos do BDG da pesquisa foram obtidos adotando-se o Sistema de Referência Geodésico para as Américas (SIRGAS 2000) e o Sistema de Coordenadas Geográficas.

#### 4.7 TERMINOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO ALCANCE DAS METAS DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A classificação de metas a ser utilizada neste trabalho é adaptada do Relatório Luz (GT AGENDA, 2021). Tal relatório é um documento elaborado pelo Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030 (GT Agenda 2030/GTSC A2030) que analisa a implementação dos ODS no Brasil e mostra o que o país precisa fazer para cumprir o compromisso que assumiu junto a ONU de alcançar as metas globais até 2030.

O GT Agenda 2030 foi formalizado em 2014 e é resultado do constante encontro entre organizações não governamentais, movimentos sociais, fóruns e fundações brasileiras durante o seguimento das negociações da Agenda Pós-2015 e seus desdobramentos. Desde então, atua na difusão, promoção e monitoramento da Agenda 2030 e busca divulgar os ODS, mobilizar a sociedade civil e incidir politicamente junto ao governo brasileiro e sistema das Nações Unidas para a sua implementação, além de reunir, analisar e produzir conteúdos que informam sua incidência e ações de controle social, o que inclui a produção, a cada ano, do Relatório Luz.

Segundo o GT Agenda 2030 (2021), as terminologias utilizadas no Relatório Luz são inspiradas do Relatório do Desenvolvimento Sustentável da Fundação *Bertelsmann* em parceria com a Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável. Ele estabelece 6 categorias conforme mostra o Quadro 7.

Quadro 7 – Terminologias do Relatório Luz para avaliação dos ODS

Simbologia	Terminologia	Descrição
	Retrocesso	As políticas ou ações correspondentes foram interrompidas, mudadas ou sofreram esvaziamento orçamentário
	Ameaçada	Ainda que não haja retrocesso, a meta está em risco, por ações ou inações cujas repercussões comprometem seu alcance
	Estagnada	Não houve nenhuma indicação de avanço ou retrocesso estatisticamente significativos
	Progresso insuficiente	A meta apresenta desenvolvimento lento, aquém do necessário para sua implementação efetiva
	Progresso satisfatório	A meta está em implementação com chances de ser atingida ao final da Agenda 2030.
	Universalização	A meta já foi atingida.

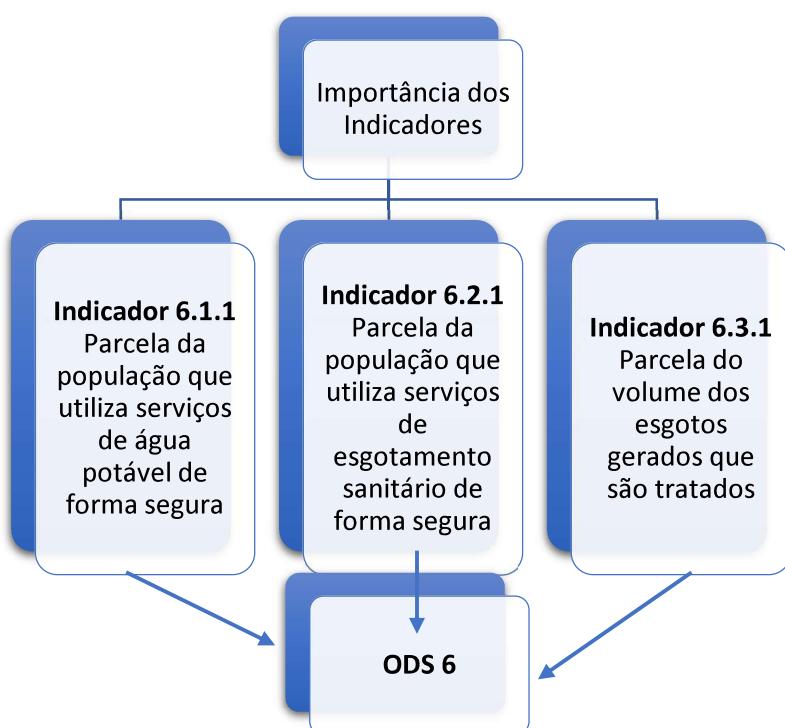
Fonte: Adaptado de Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

A atribuição da terminologia para alcance das metas do ODS 6 dada a cada município neste trabalho, utilizando a metodologia do Relatório Luz, se deu pela análise dos valores dos indicadores do ODS 6 no início e no fim da década estudada.

#### 4.8 REALIZAÇÃO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSO (AHP)

A Figura 10 apresenta a estrutura hierárquica do método AHP aplicada ao estudo dos indicadores 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 do ODS 6.

Figura 10 – Estruturação hierárquica para avaliar o Objetivo de Desenvolvimento



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Conforme argumentado anteriormente, o método da AHP é aplicado por meio de comparação de duas a duas variáveis conforme a escala apresentada no Quadro 8. Saaty (1980) emprega uma escala subjetiva, denominada “escala fundamental de números absolutos”. Essa é aplicada para se obter a intensidade da importância que o decisor tem, quando este faz a comparação nos pares de critérios de 1, 3, 5, 7 e 9 – que vão desde 1, que significa importância igual ou indiferença, até 9, demonstrando extrema importância ou preferência – números, como 2, 4, 6 e 8, são considerados moderados e traduzem a dúvida do decisor em determinar uma resposta.

Quadro 8 – Escala da Análise Hierárquica de Processo (AHP)

Pesos	Definição
1	Importância igual: Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada: Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial: Um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada: Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema: A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos: Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Para realização desta comparação são utilizadas matrizes quadradas de elementos ( $n \times n$ ), como demonstrado na Figura 11, nas quais as linhas e as colunas correspondem às  $n$  variáveis (indicadores) analisadas. Assim, o valor  $a_{ij}$  é a importância relativa obtida pela comparação da variável na linha  $i$  com relação à variável na coluna  $j$ .

Figura 11 – Elementos de uma matriz de decisão

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} a_{ij} > 0 \rightarrow \text{positiva} \\ a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1 \\ a_{ij} = 1/a_{ji} \rightarrow \text{recíproca} \end{array}$$

Fonte: Saaty (1980).

Na matriz de comparação, as posições da diagonal serão sempre iguais a 1, tendo em vista que um elemento é igualmente importante com relação a si próprio. Para preencher os demais elementos da matriz, faz-se os julgamentos ao especialista da temática em estudo e determina-se a intensidade de importância de acordo com a escala fundamental adaptada de Saaty (1980) para o método AHP (Tabela 1). Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, são utilizados os valores recíprocos da parte superior direita da mesma, pois Saaty (1980) parte do pressuposto de que as comparações estabelecidas obedecem ao princípio da reciprocidade, isto é, se A é 3 vezes mais importante do que B, B será 1/3 mais importante do que A. Construída a matriz de decisão, a obtenção dos pesos de cada variável é baseada no autovetor Eigen (SAATY, 1980).

Devido ao caráter multidisciplinar do ODS 6, a matriz para obtenção dos pesos dos indicadores foi construída junto a um especialista em Engenharia Sanitária, com ênfase em

Saneamento Básico, pertencente ao quadro da COMPESA, com formação técnica e vasta experiência na área. No processo de obtenção dos pesos dos indicadores foi solicitado ao especialista realizar comparação pareada respondendo à seguinte pergunta: “Qual o grau de importância do indicador 6.1.1 sobre o indicador 6.2.1? E em qual proporção (usando a escala da Tabela 1)?” e assim obteve-se a Tabela 2.

Tabela 1 – Matriz de decisão para obtenção dos pesos dos indicadores do ODS 6

<b>Indicadores</b>	<b>Indicador 6.1.1</b>	<b>Indicador 6.2.1</b>	<b>Indicador 6.3.1</b>
<b>Indicador 6.1.1</b>	1	1/3	1/5
<b>Indicador 6.2.1</b>	3	1	1/3
<b>Indicador 6.3.1</b>	5	3	1

Fonte: Elaboração da autora (2022).

O entendimento do especialista se baseou no ciclo do saneamento, no qual o esgoto é devolvido à natureza com carga poluidora suficiente para que o recurso hídrico possa se autodepurar e servir como afluente mais a jusante. De forma que o tratamento e coleta de efluentes possibilitam menores gastos com tratamento da água dos mananciais.

Construída a matriz de decisão, a obtenção dos pesos de cada variável é baseada no autovetor de Eigen (Saaty, 1980), calculado através do somatório de cada coluna da matriz de decisão (Tabela 2).

Tabela 2 – Somatório das colunas da matriz de decisão

<b>Indicadores</b>	<b>Indicador 6.1.1</b>	<b>Indicador 6.2.1</b>	<b>Indicador 6.3.1</b>
Indicador 6.1.1	1	0,3333333333	0,2
Indicador 6.2.1	3	1	0,3333333333
Indicador 6.3.1	5	3	1
<b>Soma</b>	<b>9</b>	<b>4,3333333333</b>	<b>1,5333333333</b>

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Para a obtenção do autovetor de Eigen, construiu-se uma nova matriz chamada Matriz de normalização, que é a divisão de cada elemento da matriz de comparação pelo somatório de sua coluna. Logo após, calculou-se a média de cada linha da matriz normalizada, formando o vetor, contendo a prioridade relativa de cada indicador analisado (Tabela 3).

Tabela 3 – Matriz de normalização e Auto Vetor de Eigen

Indicadores	Indicador 6.1.1	Indicador 6.2.1	Indicador 6.3.1	Auto Vetor de Eigen
Indicador 6.1.1	0,1111111111	0,07692307692	0,1304347826	0,1061563235
Indicador 6.2.1	0,3333333333	0,2307692308	0,2173913043	0,2604979562
Indicador 6.3.1	0,5555555556	0,6923076923	0,652173913	0,6333457203

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Para o cálculo do índice de consistências das comparações, fez-se necessário multiplicar cada somatório das colunas da matriz de decisão pelo vetor de prioridade relativa, formando um novo vetor ou matriz 1x3. O somatório dos valores deste novo vetor resultou no maior valor de autovetor da matriz de decisão ( $\lambda_{\max}$ ), que fará parte do cálculo da Índice de Consistência das comparações (Tabela 4).

Tabela 4 – Obtenção do  $\lambda_{\max}$ 

Auto Vetor de Eigen	Soma	Auto Vetor x S
0,1061563235	9	0,9554069119
0,2604979562	4,333333333	1,128824477
0,6333457203	1,533333333	0,9711301045
Total		3,055361493

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Por fim, o método AHP se utiliza da análise de consistência lógica que verifica a consistência ou validade da coerência nas comparações elaboradas pelo especialista. A inconsistência pode surgir quando algumas comparações se contradizem. Desta forma, o método AHP se propõe a calcular a taxa ou razão de consistência (RC) dos julgamentos, que é representada pela Equação 6.

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Equação 6 – Razão de consistência

Em que:

IR = índice de consistência randômico, obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não negativos, este fator é gerado randomicamente e está apresentado na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Índices de consistência randômica (IR)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Fonte: Saaty (1980).

E, o índice de consistência (IC) é dado pela Equação 7:

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

Equação 7 – Índice de consistência

Em que:

$\lambda_{\max}$  = maior valor de autovetor da matriz de julgamentos; e

n = número de ordem da matriz.

De acordo com Saaty (1980), caso o RC obtido seja menor ou igual a 10%, os julgamos consistentes, caso contrário, não. Nesse último caso, pode-se refazer os julgamentos junto ao especialista ou utilizar algoritmos para criação de matrizes filhas, semelhantes à matriz mãe, por meio de interações até que elas apresentem grau de consistência menor ou igual a 10%.

#### 4.9 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) E ÁLGEBRA DE MAPAS DOS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1

O método da Combinação Linear Ponderada (CLP) é um método secundário, ou seja, primeiro é necessário utilizar do método AHP, para posteriormente aplicar o CLP. Segundo Veríssimo Bisneto (2018), o CLP baseia-se no conceito de que os indicadores são padronizados para um intervalo numérico comum, o decisor atribui os pesos de importância relativa diretamente para cada camada de informação representada pelo indicador e depois combinados por meio de uma média ponderada. O índice é obtido multiplicando o peso atribuído pelo valor do indicador, em seguida, soma os produtos ao longo de todos os indicadores.

De acordo com Veríssimo Bisneto (2018), o método pode ser executado usando qualquer sistema SIG com capacidades de sobreposição, e permite que as camadas sejam combinadas, de modo a determinar o mapa composto com a sobreposição de camadas, a chamada álgebra de mapas. Esse processo consiste em uma operação matemática de média ponderada, na qual se consideram os valores de influência de cada variável (MOURA, 2007).

Para que a álgebra de mapas seja realizada, foi necessária uma atribuição de valores à cada classe das variáveis. A metodologia utilizada para a reclassificação das variáveis foi adaptada da proposta por Ross (1994), de forma que quanto maior o valor atribuído à categoria , maior o atendimento ao ODS 6, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6 para a álgebra de mapas

Simbologia	Terminologia	Valor atribuído
	Retrocesso	-1
	Estagnação	0
	Ameaça	1
	Progresso insuficiente	2
	Progresso satisfatório	3
	Universalização	4

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

A elaboração dos mapas temáticos se deu por meio da associação das camadas de informações, representando os indicadores, realizada pelo SIG, conforme exposto na Equação 8, a seguir.

$$\text{Equação 8} - \text{Índice de atendimento ao ODS 6 pelos municípios}$$

$$I_{ODS6M} = (Ind\ 6.1.1 \times P_1) + (Ind\ 6.2.1 \times P_2) + (Ind\ 6.3.1 \times P_3)$$

Em que:

$I_{ODS6M}$  = Índice de atendimento ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 pelos municípios ;

$Ind\ 6.1.1$  = Valor atribuído ao município em relação ao atendimento do indicador 6.1.1;

$Ind\ 6.2.1$  = Valor atribuído ao município em relação ao atendimento do indicador 6.2.1;

$Ind\ 6.3.1$  = Valor atribuído ao município em relação ao atendimento do indicador 6.3.1; e

$P_1, P_2, P_3$  = pesos relativos a cada indicador.

O nível de atendimento do ODS 6 de 2010 a 2020 na RMR será avaliado ao final através de uma representação gráfica em cores, onde o índice varia de -1 a 4, conforme Quadro 10.

Quadro 10 – Proposta de representação gráfica para o atendimento do ODS 6 pelos municípios na RMR

<b>Índice ODS6 municípios</b>	<b>Coloração</b>	<b>Terminologia</b>
<0		Retrocesso
0		Estagnado
0,1 – 0,9		Ameaçado
1,0 – 2,9		Progresso insuficiente
3,0, – 3,9		Progresso satisfatório
4		Universalização

Fonte: Adaptado de Martins e Cândido (2008) e Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

Foi realizada álgebra de mapas apenas com os indicadores 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1, visto que eles estão sendo estudados para a mesma base territorial, neste caso o município, e para o AHP se admite no mínimo 3 indicadores, não sendo possível então a realização da AHP para os reservatórios, visto só terem sidos estudados os indicadores 6.3.2 e 6.4.2.

#### 4.10 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) DOS INDICADORES 6.3.2 e 6.4.2

Com o intuito de integrar qualidade e quantidade da água numa mesma análise, foi realizada a CLP com os indicadores 6.3.2 e 6.4.2. Para realizar a análise da década em cada reservatório, utilizou-se a frequência do percentual de análises que atenderam aos limites da resolução CONAMA 357/2005 – Classe 2 que foram iguais ou superiores a 80% ( $f > 80\%$ ) e o stress hídrico médio ( $Sh_m$ ) no período de 10 anos do estudo.

Para que a CLP fosse realizada, os resultados dos indicadores 6.3.2 e 6.4.2 foram agrupados por faixas conforme a Quadro 11 e atribuídos valores de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994), de forma que quanto maior o valor atribuído à faixa, maior o desempenho do indicador.

Quadro 11 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6

$f > 80\%$	$Sh_m$	Valor atribuído
0	$> 5$	-1
$n-f$ (com $f$ variando de 2 a $n-1$ )	$2 \leq Sh_m < 5$	1
$n-1$	$\geq 1$	2
$n$	$< 1$	3

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Manual metodológico do ISH (2019).

Em que:  $n$ = número de anos do estudo.  $f$ : frequência de atendimento à Resolução CONAMA 357/2055 Classe 2.  $Sh$ : Nível de stress hídrico.

A metodologia utilizada para a classificação das categorias de atendimento das metas do ODS 6 também foi adaptada da proposta por Ross (1994), de forma que quanto maior o valor atribuído à categoria, maior o alcance da meta, conforme Quadro 12.

Quadro 12 – Atribuição de valores às categorias de atendimento ao ODS 6

Valor atribuído	Simbologia	Terminologia
-1		Retrocesso
1		Ameaça
2		Progresso insuficiente
3		Progresso satisfatório

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

A ponderação de pesos para a CLP foi obtida junto a um especialista em Engenharia Sanitária, com ênfase em Saneamento Básico, da COMPESA, com formação técnica e vasta experiência na área. O especialista considerou que a boa qualidade destes proporciona a garantia de quantidade de água suficiente para produzir água potável à população. Desta forma, os indicadores foram associados conforme exposto na Equação 9 a seguir.

$$\text{Equação 9} - \text{Índice de atendimento ao ODS 6} \\ \text{pelos reservatórios}$$

$$I_{ODS6R} = (\text{Ind } 6.3.2 \times 0,75) + (\text{Ind } 6.4.1 \times 0,25)$$

Em que:

$I_{ODS6R}$  = Índice de atendimento ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 pelos reservatórios;

Ind 6.3.2 = Valor atribuído ao reservatório para o indicador 6.3.2

Ind 6.4.1 = Valor atribuído ao reservatório para o indicador 6.4.1

O nível de atendimento às metas 6.3 e 6.4 do ODS de 2010 a 2020 nos reservatórios da RMR será avaliado ao final através de uma representação gráfica em cores adaptada de Martins e Cândido (2008), onde o índice varia de -1 a 3, conforme Quadro 13.

Quadro 13 – Proposta de representação gráfica para o atendimento do ODS 6 na RMR

Índice <i>ODS6</i>	Coloração	Terminologia
$\leq 0$		Retrocesso
$0,1 - 0,9$		Ameaçado
$1,0 - 1,9$		Progresso insuficiente
$2,0 - 3,0$		Progresso satisfatório

Fonte: Adaptado de Relatório Luz (GT AGENDA, 2021) e Martins e Cândido (2008).

#### 4.11 CONSTRUÇÃO DOS PAINÉIS INTERATIVOS (*DASHBOARDS*)

Com todas as informações e dados devidamente organizados, tratados e processados no BDG, deu-se início à etapa de publicação das camadas de informações no ArcGIS *Enterprise* através dos respectivos *Web Feature Service*.

Como ferramenta para construção do painel interativo (*Dashboard*), foi utilizado o *Operations Dashboard* do ArGIS *Enterprise*. Segundo a ESRI (2022), essa ferramenta se utiliza de mapas, gráficos e outros elementos visuais para exibir dados e executar filtros. Primeiramente foram definidas as cores das fontes, fundo e elementos que seriam utilizados no painel, para que assim fossem acrescentados os componentes visuais - os *widgets*.

Esses componentes do painel têm como função a representação visual das informações de gerenciamento que se pretende utilizar, simplificando o entendimento do dado e possibilitando uma gestão à vista, a qual vem sendo abundantemente empregada em instituições como forma de engajamento. Tais elementos podem ser de vários tipos e formatos dependendo

da necessidade e do dado que se deseja expor. Para compartilhar os dados deste trabalho foram utilizados *Widgets* em formato de mapa, lista, gráfico de barra, rich text, painel lateral, conteúdo embutido, dentre outros.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos passos metodológicos supracitados, foi possível obter os resultados detalhados a seguir.

### 5.1 BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

O BDG foi estruturado no *ArcCatalog* e adicionadas os 5 indicadores do ODS 6 em forma de camadas (*features class*) de pontos e polígonos, como mostra Figura 12.

Figura 12 – Banco de dados para a pesquisa no ArcGIS Pro



Fonte: Elaboração da autora (2022).

### 5.2 INDICADOR 6.1.1 - PARCELA DA POPULAÇÃO QUE UTILIZA SERVIÇOS DE ÁGUA POTÁVEL DE FORMA SEGURA

O resultado do indicador 6.1.1 por município pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Parcela da população que utilizou serviços de água potável de forma segura nos municípios da RMR entre os anos de 2010 e 2020

MUNICÍPIOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Abreu e Lima	73,84%	73,93%	74,57%	73,24%	87,51%	87,75%	84,66%	85,37%	86,69%	86,84%	86,87%
Araçoiaba	31,42%	30,67%	29,55%	29,34%	28,10%	28,03%	28,50%	28,19%	29,85%	29,27%	29,06%
Cabo de santo Agostinho	70,55%	76,37%	82,20%	81,25%	82,67%	83,49%	79,12%	85,22%	86,84%	87,88%	90,68%
Camaragibe	80,55%	80,11%	80,75%	79,49%	78,94%	78,43%	76,63%	76,82%	79,26%	78,99%	79,24%
Igarassu	63,03%	65,96%	66,87%	64,72%	65,59%	68,77%	71,39%	72,30%	73,80%	73,89%	73,97%
Ilha de Itamaracá	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Ipojuca	48,66%	52,56%	52,49%	53,90%	57,56%	57,78%	58,46%	61,73%	63,31%	64,19%	65,65%
Itapissuma	65,03%	64,91%	61,14%	60,80%	57,49%	57,30%	56,69%	57,57%	57,71%	59,16%	59,27%
Jaboatão dos Guararapes	54,44%	55,33%	55,29%	53,96%	73,19%	74,05%	74,17%	76,47%	78,77%	79,47%	79,76%
Moreno	73,41%	74,62%	75,27%	77,61%	78,53%	78,50%	80,54%	80,42%	81,16%	80,58%	80,10%
Olinda	83,25%	84,67%	84,51%	85,15%	84,64%	87,78%	94,99%	96,74%	98,03%	98,03%	98,03%
Paulista	82,12%	85,25%	86,39%	85,43%	84,71%	84,04%	97,43%	98,89%	100,00%	100,00%	100,00%
Recife	82,94%	82,29%	83,58%	82,98%	83,27%	84,71%	83,81%	85,85%	88,12%	89,33%	89,45%
São Lourenço da Mata	62,81%	63,90%	62,67%	62,52%	66,90%	67,35%	70,77%	73,21%	76,17%	77,77%	79,45%

Fonte: Elaboração da autora (2022).

De acordo com a Tabela 6, até o ano de 2016 as redes de abastecimento de água de Recife não acompanhavam o ritmo do crescimento populacional, porém a partir desse ano esta tendência muda e os investimentos aplicados nesse setor representaram um incremento crescente de 5,52% no indicador em 4 anos. Percebe-se também que o município de Recife ainda não alcançou a tão sonhada universalização do abastecimento de água, mas apresenta um progresso satisfatório, visto que, se mantido o mesmo ritmo, pode conquistar até 2030 os 10,67% que faltam para a universalização.

Interpreta-se que até o ano de 2015 os investimentos aplicados em Paulista não conseguiram ter seu impacto claramente percebidos no indicador. Porém, após este ano, Paulista alavancou as ações e os investimentos e suas redes de abastecimento de água estão, desde 2018, acompanhando o ritmo de crescimento do município, universalizando o acesso à água. Igualmente, a Ilha de Itamaracá alcançou a meta estabelecida pelo ODS 6, pois desde 2010 seu indicador marca 100%.

Após 2014, os investimentos aplicados no município de Abreu e Lima, Igarassu, e Olinda fizeram o atendimento de água potável à população crescer 14,27%, 9,25% e 13,39% na década estudada, respectivamente, proporcionando aos municípios apresentarem progresso, porém insuficiente de acordo com a metodologia do Relatório Luz (GT AGENDA, 2021), visto que obtiveram desenvolvimento lento nos três últimos anos do estudo.

Os municípios de Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e São Lourenço da Mata apresentaram valores do referido indicador em tendência crescente. Tais municípios avançaram 20,13%, 25,0% e 16,96% na década estudada, respectivamente, apresentando

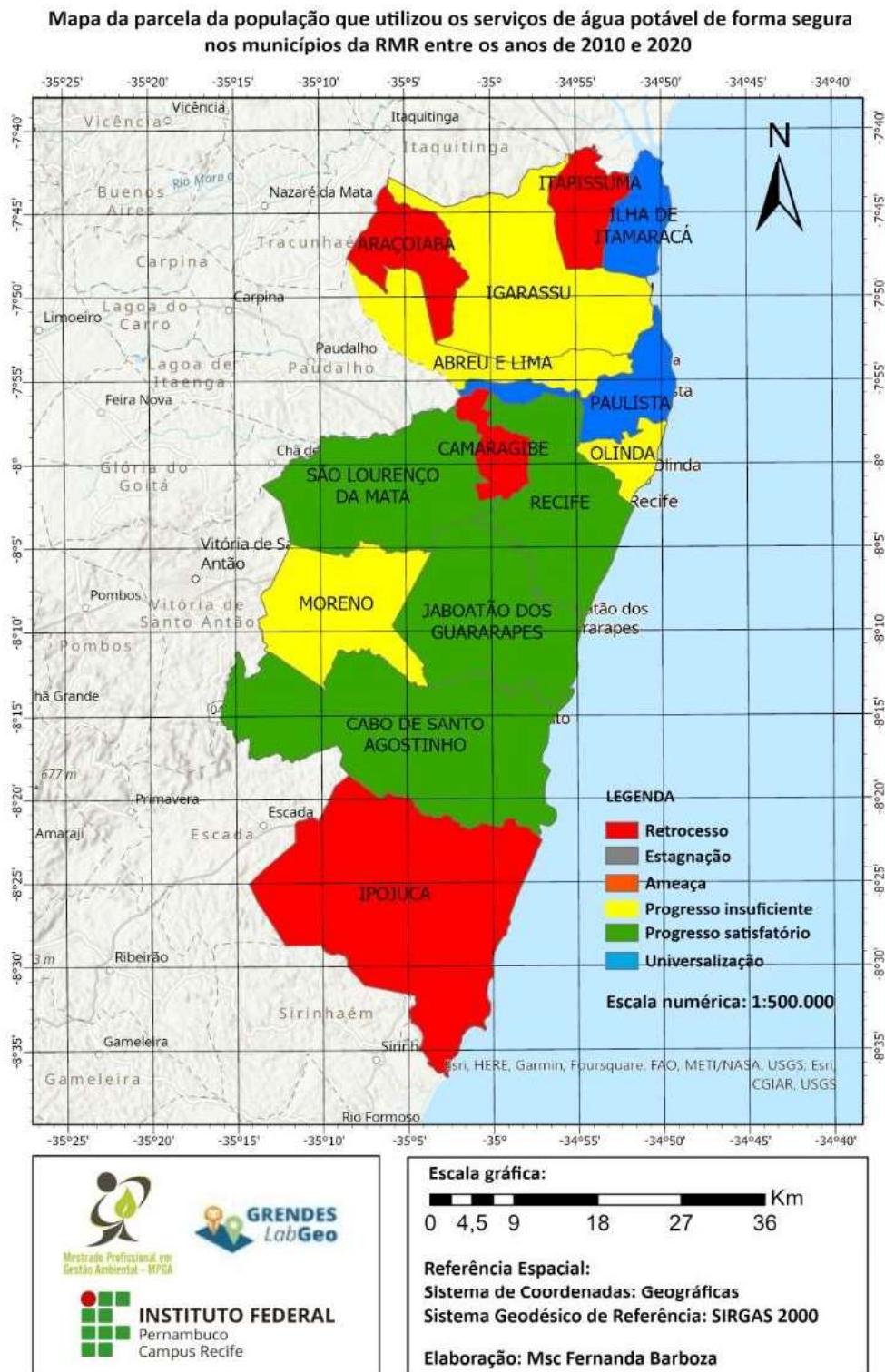
progresso satisfatório, pois, se mantido o ritmo de progresso, a meta têm chances de ser satisfatoriamente atendidos até 2030.

Os municípios de Ipojuca e Moreno apresentaram tendência crescente para o indicador em questão, apresentando incremento de 17% e 6,7 %, na década estudada, respectivamente, porém, se considerado esse mesmo ritmo de crescimento, a meta está em risco, pois será preciso alcançar mais que o dobro do incremento conseguido nos 10 anos do estudo.

Por outro lado, os municípios de Araçoiaba, Camaragibe e Itapissuma apresentaram o referido indicador em tendência decrescente. Esses municípios retrocederam 2,36%, 1,31% e 5,76% na década estudada, respectivamente, com relação ao abastecimento de água, visto que não foram identificadas ações e investimentos que pudessem alavancar o indicador no período estudado.

Os resultados do indicador 6.1.1 foram espacializados na Figura 13, conforme metodologia do Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

Figura 13 – Mapa da parcela da população que utilizou serviços de água potável de forma segura nos municípios da RMR entre anos de 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Apesar de a RMR ter apresentado cerca de 58% do seu território com progresso suficiente para universalizar o acesso à água potável até 2030, o acesso ao abastecimento de água nos municípios não é suficiente para garantir a disponibilidade de água de forma contínua. A esse respeito, Nascimento (2003) justifica a intermitência observada na distribuição de água na RMR, mesmo com todos os reservatórios de água da RMR cheios, como insuficiência do sistema de adução.

### 5.3 INDICADOR 6.2.1 - PARCELA DA POPULAÇÃO QUE UTILIZA OS SERVIÇOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE FORMA SEGURA

O resultado do indicador 6.2.1 por município pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Parcela da população que utilizou os serviços de esgotamento sanitário de forma segura nos municípios da RMR entre os anos de 2010 e 2020

MUNICÍPIOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Abreu e Lima	30,06%	21,89%	21,81%	22,11%	21,94%	22,31%	23,16%	23,05%	22,83%	22,80%	22,65%
Araçoiaba	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cabo de santo Agostinho	11,09%	7,99%	8,73%	11,08%	11,15%	11,96%	10,54%	10,63%	10,65%	11,63%	11,57%
Camaragibe	1,71%	1,36%	1,36%	1,61%	1,61%	1,77%	1,53%	1,45%	1,43%	1,33%	1,32%
Igarassu	2,34%	1,45%	1,45%	1,39%	1,43%	2,18%	3,15%	3,03%	2,99%	2,94%	3,86%
Ilha de Itamaracá	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ipojuca	0,00%	0,00%	0,00%	11,12%	11,02%	11,95%	13,89%	14,43%	14,52%	14,60%	13,56%
Itapissuma	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Jaboatão dos Guararapes	12,56%	6,75%	6,54%	6,93%	6,59%	6,66%	18,95%	19,11%	19,22%	18,94%	21,78%
Moreno	23,73%	21,00%	21,12%	23,82%	24,59%	29,50%	30,45%	30,13%	29,79%	29,39%	29,15%
Olinda	38,85%	32,77%	33,14%	33,21%	33,69%	36,17%	44,40%	45,13%	45,17%	45,25%	45,31%
Paulista	43,61%	36,39%	36,93%	37,55%	44,66%	41,75%	54,44%	51,81%	52,90%	52,69%	52,88%
Recife	35,16%	35,85%	37,45%	37,04%	38,69%	40,08%	41,80%	42,72%	43,65%	44,07%	44,12%
São Lourenço da Mata	13,46%	8,37%	8,44%	8,18%	8,59%	9,62%	9,65%	9,74%	15,17%	19,51%	27,12%

Fonte: Elaboração da autora (2022).

A coleta e tratamento de esgotos em Recife apresentou tendência crescente, com aumento de 8,17% na década estudada. Esse avanço pode ser explicado pelas obras e recuperações de SES implementadas pela PPP, conforme também relata Vasconcelos Júnior et al. (2019). Segundo dados da COMPESA (2021), já foram concluídas obras de esgoto nos bairros da Imbiribeira (1ª etapa concluída em 2013), Torrões e Jardim São Paulo (1ª etapa concluída em 2020).

Ainda conforme dados da COMPESA (2022), o município de Ipojuca foi contemplado pela obra do SES Nossa Senhora do Ó, com a 1ª etapa concluída em 2014, que colocou o

indicador em um patamar nunca antes observado. Em Jaboatão dos Guararapes, a obra do SES Prazeres, que abrangeu os bairros de Candeias e Piedade, fez o indicador alavancar 9,22% no período avaliado. Em Olinda houve incremento de 6,46%. Em Moreno, as obras do SES Bonança e Moreno 1, pela PPP, fez o indicador alavancar 5,42%. No município de São Lourenço da Mata houve incremento de 13,65%, devido à execução do SES São Lourenço da Mata. Dentre estes, o município de Paulista foi o que apresentou o melhor cenário, com mais da metade de sua população, no último ano do estudo, atendida por rede coletora de esgotos.

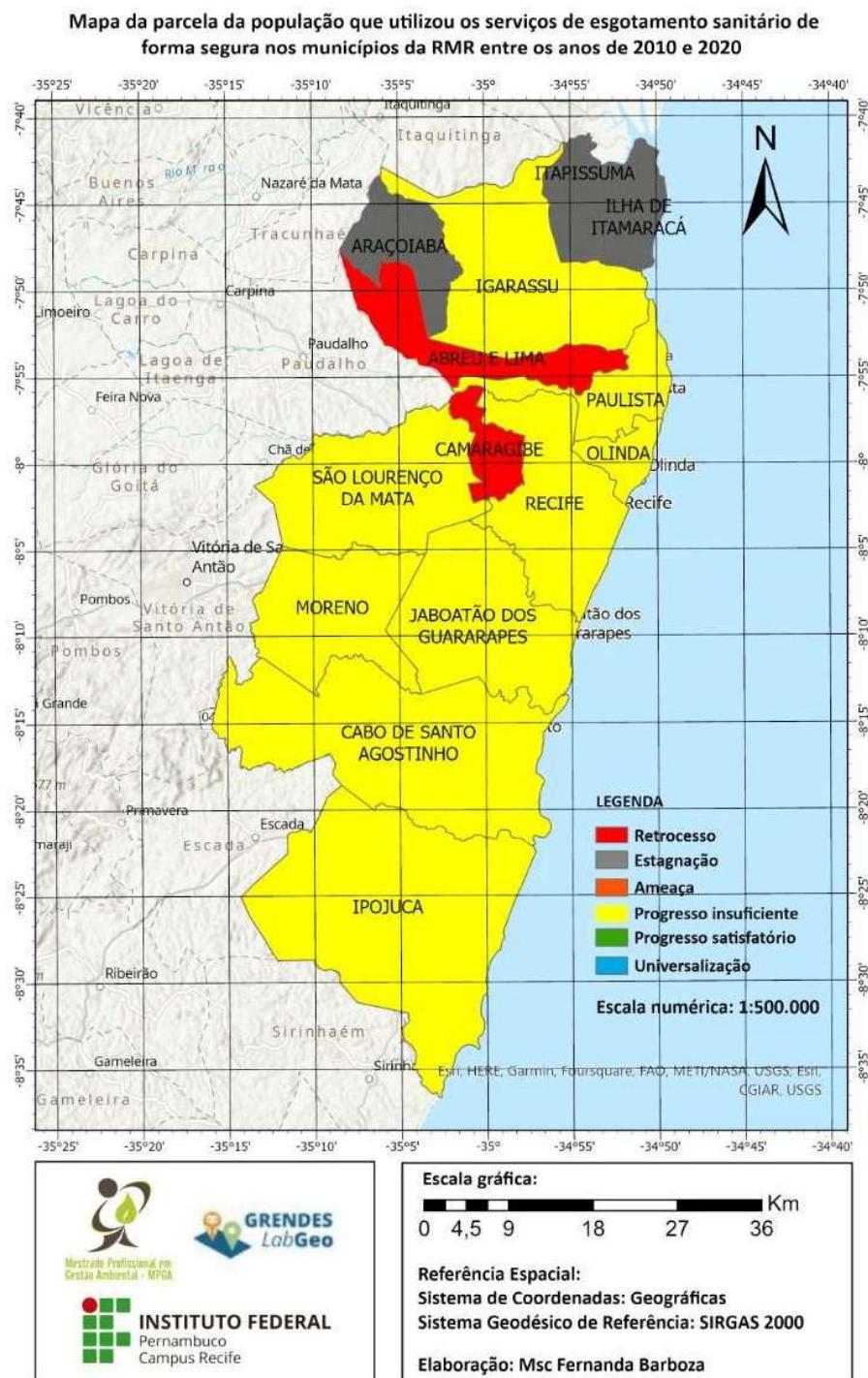
Todavia, por mais que esses municípios tenham obtido avanço para o indicador na década estudada, o mesmo não foi suficiente para atingir a meta do indicador, se considerado o mesmo ritmo de desenvolvimento, não será possível atender à meta até 2030, sendo o progresso então considerado insuficiente.

Nos municípios de Abreu e Lima e Camaragibe, foi possível observar um retrocesso, visto que o indicador marcou valores inferiores ao início da década. Em Igarassu e Cabo de Santo Agostinho, o indicador permaneceu praticamente estagnado. Araçoiaba, Ilha de Itamaracá e Itapissuma ainda não foram contemplados com SES em suas localidades, por esse motivo, seu indicador marca 0%.

Segundo informações da COMPESA (2022), nos 9 primeiros anos de existência da PPP do Saneamento, foram investidos recursos da ordem de R\$ 1,7 bilhão na melhoria e ampliação da rede de esgotos dos 15 municípios metropolitanos, sendo R\$ 1,5 bilhão de responsabilidade do parceiro privado e R\$ 210 milhões foram alocados pelo parceiro público (da própria COMPESA, do governo do estado de Pernambuco e das prefeituras municipais).

Entretanto, apesar de alguns municípios que compõem a RMR já terem sido contemplados com alguma obra nova ou com a ampliação dos atuais SES, o indicador se encontra muito abaixo do desejado para o alcance da meta até 2030, sendo crucial a execução de obras de SES de forma célere. Os municípios da RMR apresentaram retrocesso, estagnação e progresso insuficiente para o indicador 6.2.1 na década estudada, conforme foi espacializado na Figura 14.

Figura 14 – Mapa da parcela da população que utilizou os serviços de esgotamento sanitário de forma segura nos municípios da RMR nos anos de 2010 à 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Nessa linha de raciocínio, Miranda (2014) enfatiza que, na própria capital da RMR, a precariedade na oferta dos serviços de saneamento básico é clara, sobretudo do esgotamento sanitário. Tal resultado do indicador 6.2.1 também condiz com o discurso de Tomaz et al. (2020) ao constatar que os valores do indicador de população atendida por coleta de esgoto (PACE) do SNIS revelam os baixos investimentos em projetos de esgotamento sanitários nas últimas décadas no estado de Pernambuco e que projetos de SES precisam de maiores níveis de investimento quando comparados aos de distribuição de água.

#### 5.4 INDICADOR 6.3.1 - PARCELA DOS ESGOTOS GERADOS QUE SÃO TRATADOS

O resultado do indicador 6.3.1 por município pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 – Parcela dos esgotos gerados que foram tratados nos municípios da RMR entre os anos de 2010 e 2020

MUNICÍPIOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Abreu e Lima	19,88%	20,56%	19,85%	21,90%	24,84%	27,33%	36,39%	36,74%	36,40%	34,79%	34,86%
Araçoiaba	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cabo de santo Agostinho	2,99%	1,95%	1,08%	1,38%	1,08%	1,71%	3,59%	3,83%	3,82%	3,89%	4,01%
Camaragibe	1,56%	1,71%	1,71%	1,74%	1,74%	1,81%	2,13%	3,56%	3,69%	4,21%	4,34%
Igarassu	1,83%	2,34%	2,07%	1,87%	1,86%	2,15%	3,76%	6,54%	6,25%	6,81%	6,75%
Ilha de Itamaracá	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Ipojuca	0,00%	0,00%	0,00%	11,08%	14,18%	14,71%	18,36%	19,71%	20,04%	20,27%	20,59%
Itapissuma	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Jaboatão dos Guararapes	10,36%	9,30%	9,02%	8,87%	6,29%	6,24%	13,62%	14,92%	14,94%	15,31%	16,15%
Moreno	14,78%	18,20%	18,60%	17,40%	16,25%	21,65%	32,38%	33,85%	33,56%	33,68%	33,83%
Olinda	44,27%	43,97%	43,42%	45,63%	45,82%	48,15%	51,55%	52,53%	52,68%	52,69%	52,77%
Paulista	62,55%	60,35%	60,04%	61,82%	63,90%	65,58%	73,75%	74,41%	74,50%	74,69%	75,02%
Recife	37,40%	36,18%	35,13%	41,98%	37,53%	39,42%	41,05%	45,41%	45,64%	45,66%	45,76%
São Lourenço da Mata	11,99%	11,78%	11,09%	13,27%	12,37%	13,84%	16,23%	17,16%	23,99%	24,41%	28,64%

Fonte: Elaboração da autora (2022).

De modo semelhante ao indicador anterior, Araçoiaba, Ilha de Itamaracá e Itapissuma ainda não foram contemplados com SES em suas localidades, por esse motivo, seu indicador também marca 0%. Exceto esses três, todos os outros municípios apresentaram progresso, porém insuficiente para o indicador em questão, com destaque para os municípios de Paulista, Abreu e Lima, São Lourenço da Mata e Moreno que conseguiram incrementar 12,47%, 14,98%, 16,65% e 19,05% no volume de esgotos tratados, respectivamente, o que condiz com os dados da COMPESA (2022), ao relatar que desde 2013 houve a ampliação em 5 vezes o volume de esgotos tratados na RMR como um todo.

O incremento do volume de esgoto tratado nos municípios da RMR pode ser atribuído não apenas à implantação de rede coletora, construção de novas EEE e ETE pela PPP, mas também à recuperação das unidades dos SES existentes, conforme mostrado no Quadro 14, visto que todo o sistema deve estar em perfeito funcionamento para que o efluente seja devolvido ao manancial com a qualidade estabelecida pela legislação.

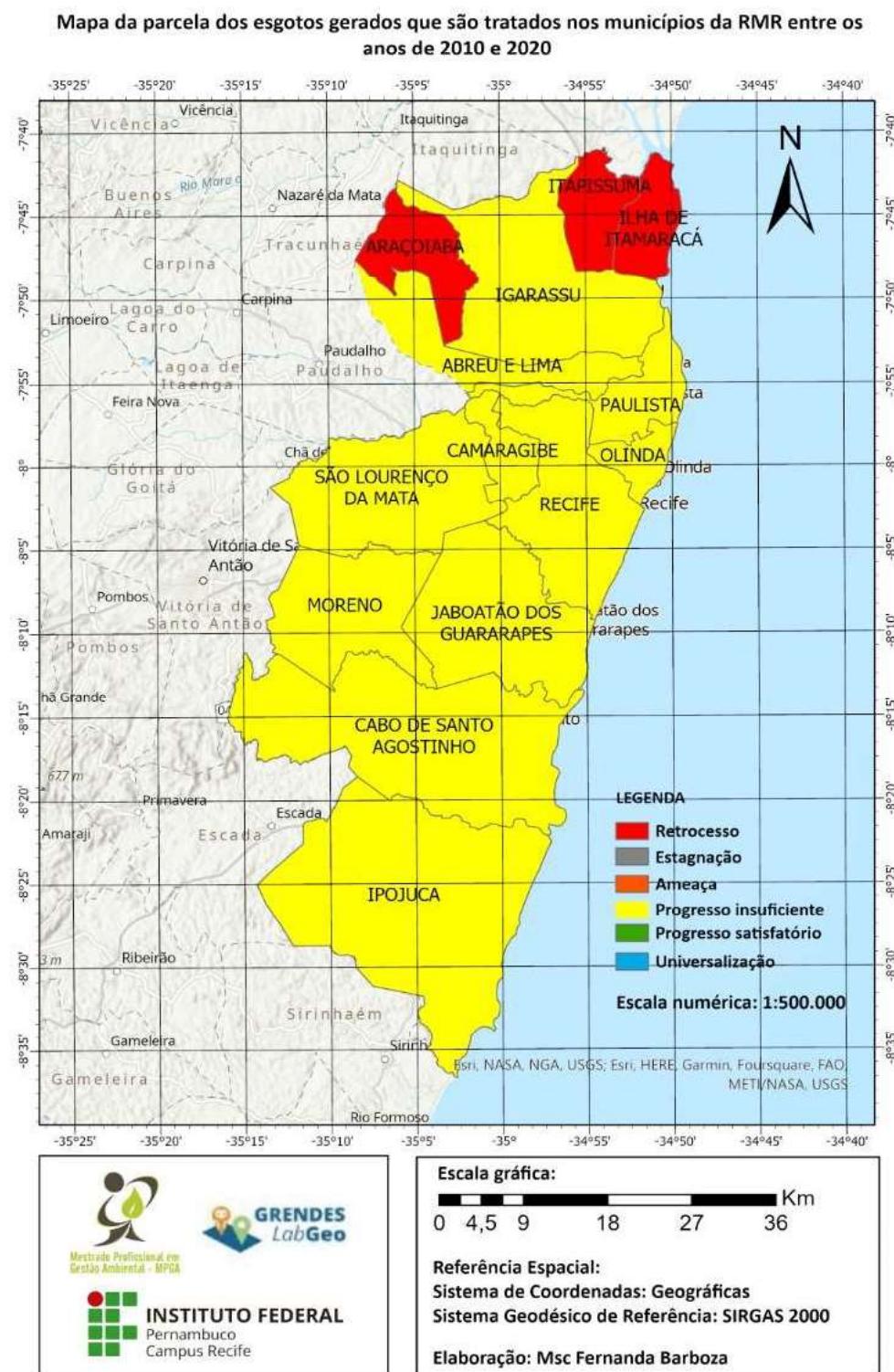
Quadro 14 – Unidades de Sistema de Esgotamento sanitário (SES) recuperadas pela Parceria Público Privada (PPP) na RMR

Municípios	EEE	ETE	Total
Paulista	16	2	18
Jaboatão dos Guararapes	11	6	17
Olinda	14	1	15
Moreno	7	4	11
Cabo de Santo Agostinho	5	2	7
São Lourenço da Mata	3	1	4
Igarassu	-	1	1
<b>Total</b>	<b>56</b>	<b>17</b>	-

Fonte: Adaptado de COMPESA (2022).

Entretanto, apesar da recuperação das EEE e das ETE, em face de suas condições originais desde 2013, nos municípios de Jaboatão e Olinda, por exemplo, o indicador se encontra muito abaixo do esperado para o alcance da meta até 2030, uma vez que a maioria das obras de recuperação das unidades já foi realizada. Tal fato só reforça a necessidade da realização de novas obras estruturais de forma urgente para que as áreas ainda não contempladas por SES possam ter seus esgotos tratados. A Figura 15 espacializa o retrocesso e progresso insuficiente com relação ao indicador 6.3.2 para os municípios da RMR no período estudado.

Figura 15 – Mapa do indicador 6.2.1 para os municípios da RMR nos anos de 2010 a 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Com relação a tal insuficiência dos serviços de esgotamento sanitário na RMR, Teixeira et al. (2021) retratam que os municípios de Paulista, Olinda e Recife atenderam, em 2018, mais de 40% da população com esgotamento sanitário. No entanto, esses valores são baixos, se for considerada a densidade populacional desses municípios. Esses dados também demonstram a escassez de esgotamento sanitário da região, deixando a parcela da população que não é atendida com esgotamento sanitário vulnerável quanto às enfermidades, quando os efluentes são lançados in natura ou sem o tratamento adequado.

Visto que já foram realizadas pela PPP a maioria das recuperações das unidades dos SES existentes (COMPESA, 2022), o fato de o indicador 6.3.1 estar abaixo do esperado reforça a necessidade da realização de novas obras de forma urgente para que as áreas ainda não contempladas por SES possam ter seus esgotos tratados.

## 5.5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS MUNICÍPIOS DA RMR COM RELAÇÃO AO ATENDIMENTO DAS METAS DO ODS 6

O Quadro 15 sintetiza o desempenho dos municípios da RMR no atendimento das metas do ODS 6 para o período estudado, conforme metodologia empregada no Relatório Luz (GT AGENDA, 2021).

Quadro 15 – Atendimento dos municípios da RMR aos indicadores 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 do ODS 6 nos anos de 2010 a 2020

Municípios	Ind. 6.1.1	Ind. 6.2.1	Ind. 6.3.1
Abreu e Lima	→	↖	→
Araçoiaba	↖		↖
Cabo de Santo Agostinho	↗	→	→
Camaragibe	↖	↖	→

Igarassu			
Ilha de Itamaracá			
Ipojuca			
Itapissuma			
Moreno			
Jaboatão dos Guararapes			
Olinda			
Paulista			
Recife			
São Lourenço da Mata			

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Legenda: – retrocesso; – estagnação; - ameaça; – progresso insuficiente; – progresso satisfatório; – universalização.

## 5.6 PESO PARA OS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 DO ODS 6

Através do método AHP foi possível a obtenção dos pesos para os três indicadores que têm como unidade territorial os municípios. Após a obtenção do autovetor de *Eingen*, na matriz de decisão, com o auxílio do *software* Microsoft Excel, obteve-se os seguintes pesos para as variáveis segundo a Tabela 6.

Tabela 9 – Pesos obtidos para os indicadores do ODS 6

Indicadores	Pesos
Indicador 6.3.1	0,633
Indicador 6.2.1	0,260
Indicador 6.1.1	0,106

Fonte: Elaboração da autora (2022).

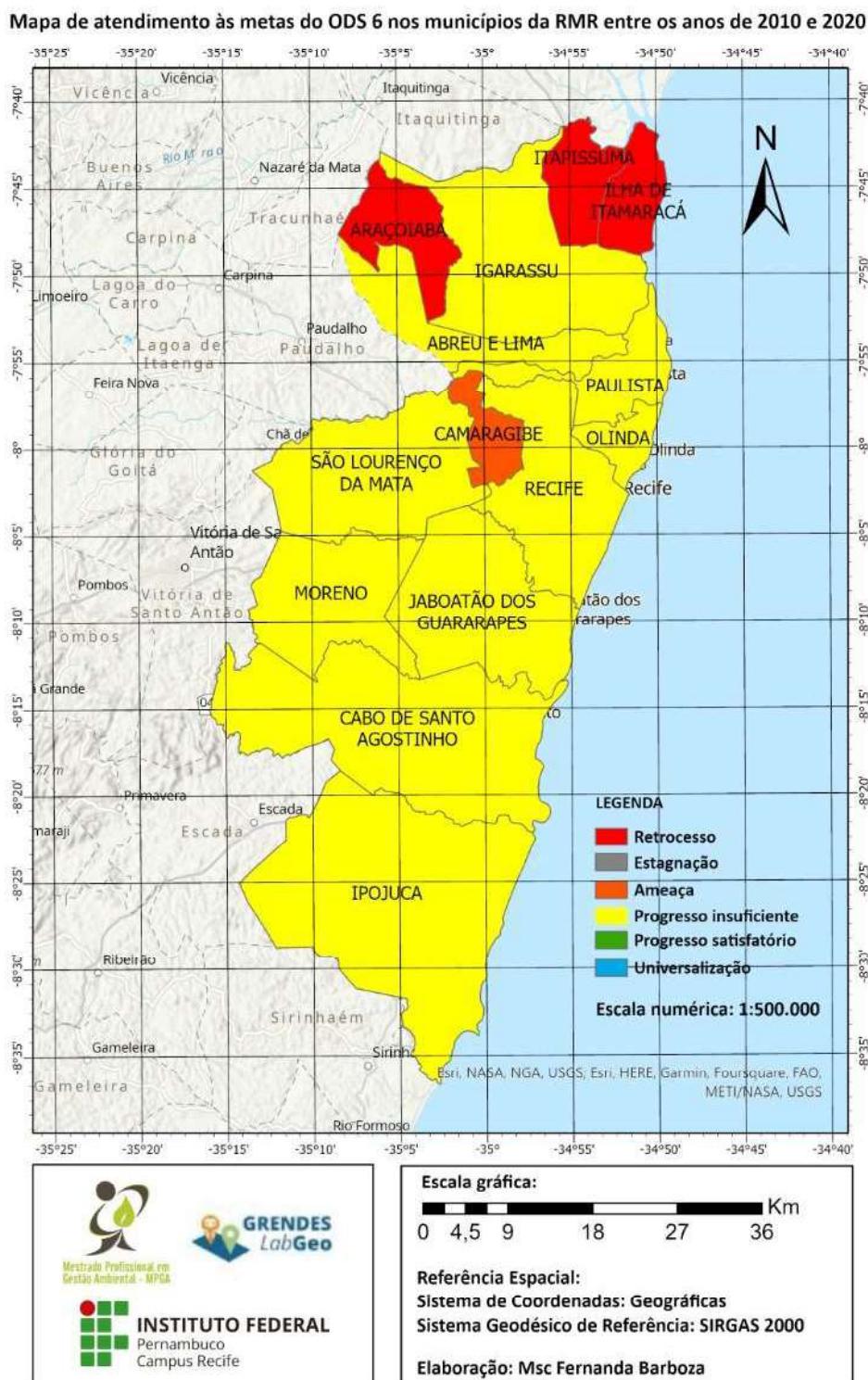
Ademais, obteve-se um RC de 4,77 %, e sendo o resultado menor do que 10%, de acordo com Saaty (1980), a matriz é consistente e os pesos obtidos são válidos.

## 5.7 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) E ÁLGEBRA DE MAPAS DOS INDICADORES 6.1.1, 6.2.1 e 6.3.1 DO ODS 6

Por meio da análise multicritério, foi realizada a álgebra dos mapas com as parcelas da população que utilizaram os serviços de água potável e esgotamento sanitário de forma segura e do volume dos esgotos gerados que são tratados dos municípios que compõem a RMR, resultando em um mapa-síntese de atendimento ao ODS 6 para a década, conforme Figura 16.

Dentre os municípios da RMR, destaca-se o município de Paulista, que apresentou o melhor desempenho com relação à oferta de água potável e saneamento para todos, com mais da metade de sua população em 2020 atendida por rede coletora/tratamento de esgotos e com o atendimento por rede de abastecimento de água universalizado no município. Já o município de Araçoiaba apresentou o pior desempenho pelo fato de não possuir serviços de esgotamento sanitário e as redes de abastecimento de água não estarem mais acompanhando a sua evolução populacional, representando um esvaziamento de políticas e ações no SAA do município.

Figura 16 – Mapa de atendimento às metas do ODS 6 nos municípios da RMR entre os anos 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

A simulação do atendimento ao ODS 6 na RMR como um todo na última década, através do GIS-MCDA, revelou um cenário alarmante ao apresentar 97% do seu território com progresso insuficiente. Tomaz et al. (2020), sob essa ótica, concluíram em sua pesquisa, no ano de 2018, que, de modo geral, todos os indicadores do SNIS relacionados ao abastecimento de água, coleta de esgoto e de resíduos sólidos apresentam pelo menos um município da RMR com desempenho inferior à média estadual e nacional.

Tal resultado condiz com o discurso de Andreazzi et al. (2007), ao relatarem que há muitas lacunas na valorização do saneamento e de sua importância nas grandes metrópoles. A esse respeito, Santos et al. (2022) analisaram o alcance das metas 6.1, 6.2 e 6.3 no município de Pombal, no estado da Paraíba, e concluíram que a meta 6.1 no município possivelmente será atingida até 2030 e as metas 6.2 e 6.3 dificilmente serão alcançadas.

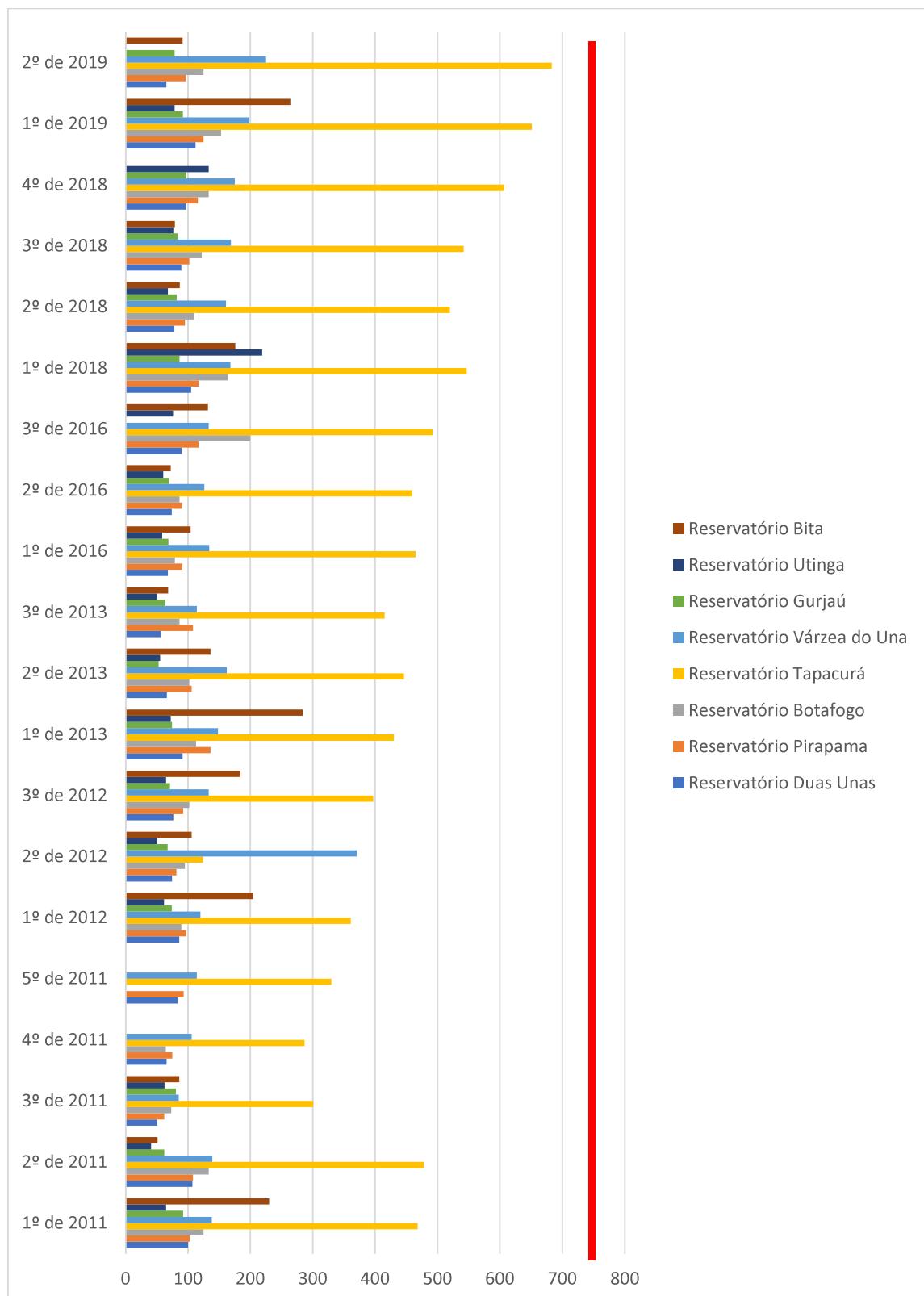
O impacto do presente resultado na saúde pública dos municípios da RMR também é preocupante, visto que autores como Freitas (2019) avaliaram a correlação existente entre a densidade de casos de Dengue ocorridos na cidade do Recife, entre janeiro de 2013 e dezembro de 2016, e as variáveis de caráter socioambiental, dentre elas o índice de cobertura das redes de esgotamento sanitário, e concluiu, através da inferência estatística, que a difusão e intensidade da doença no Recife é inversamente proporcional à qualidade dos serviços de esgotamento sanitário.

Por esse motivo, Vasconcelos Júnior et al. (2020) destacam a importância da construção de agendas municipais para fomentar o desenvolvimento de programas e parcerias com vistas a atender a população quanto ao abastecimento de água, coleta e tratamento adequado dos esgotos.

## 5.8 INDICADOR 6.3.2 – PORCENTAGEM DE CORPOS D’ÁGUA COM BOA QUALIDADE DA ÁGUA

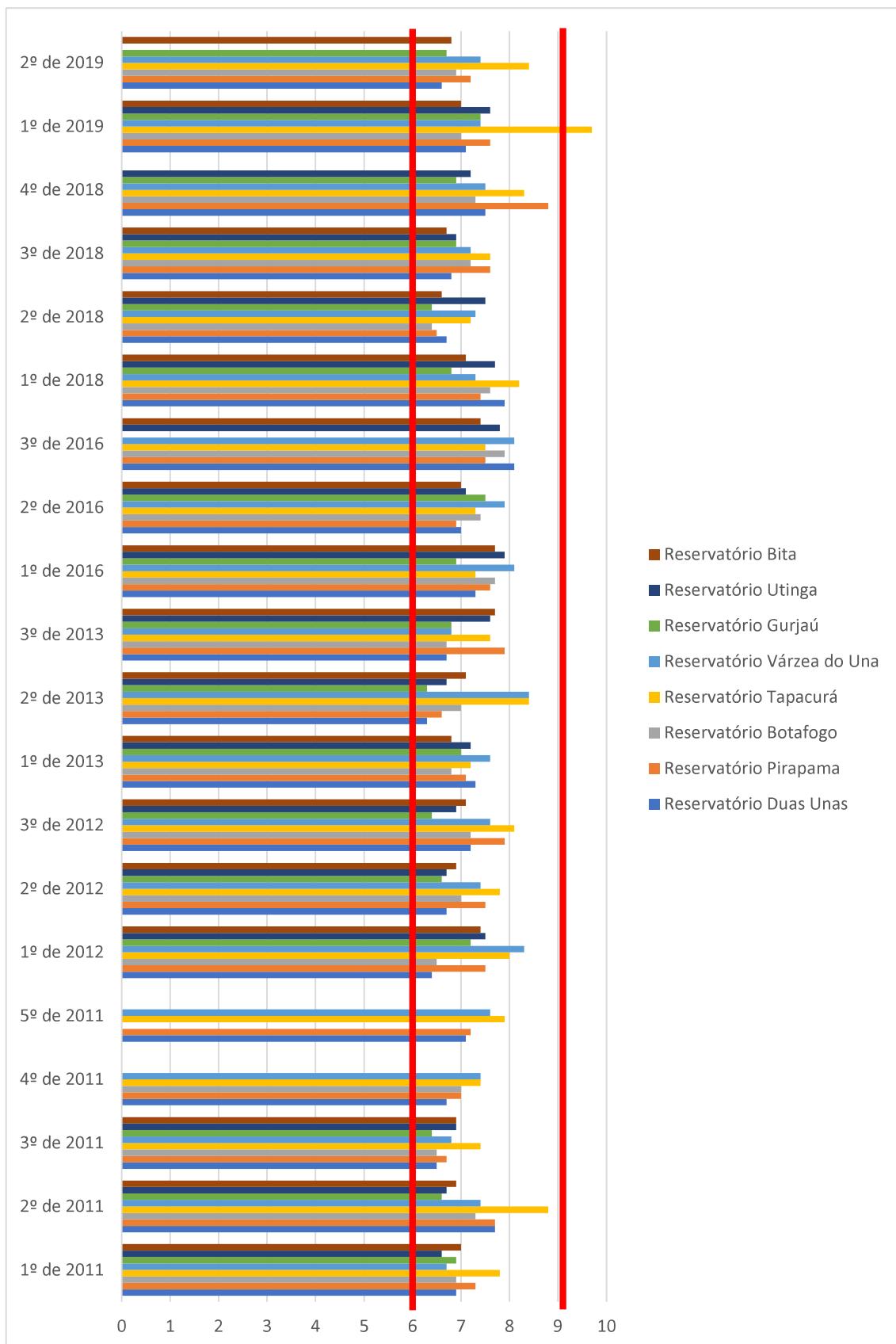
Conforme mostra o gráfico da Figura 17, as análises de CE dos reservatórios nos referidos anos se mostraram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 – Classe 2. Entretanto, pode-se observar que os patamares de tal parâmetro para Tapacurá aparecem bem mais elevados com relação aos outros reservatórios, evidenciando uma possível concentração de sólidos no manancial. Já o pH, apareceu fora dos limites apenas no primeiro semestre de 2019, nas demais análises, o parâmetro atendeu aos limites da referida resolução de acordo com o gráfico da Figura 18.

Figura 17 – Condutividade elétrica (mS/cm<sup>2</sup>) nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Figura 18 – Potencial hidrogeniônico nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019

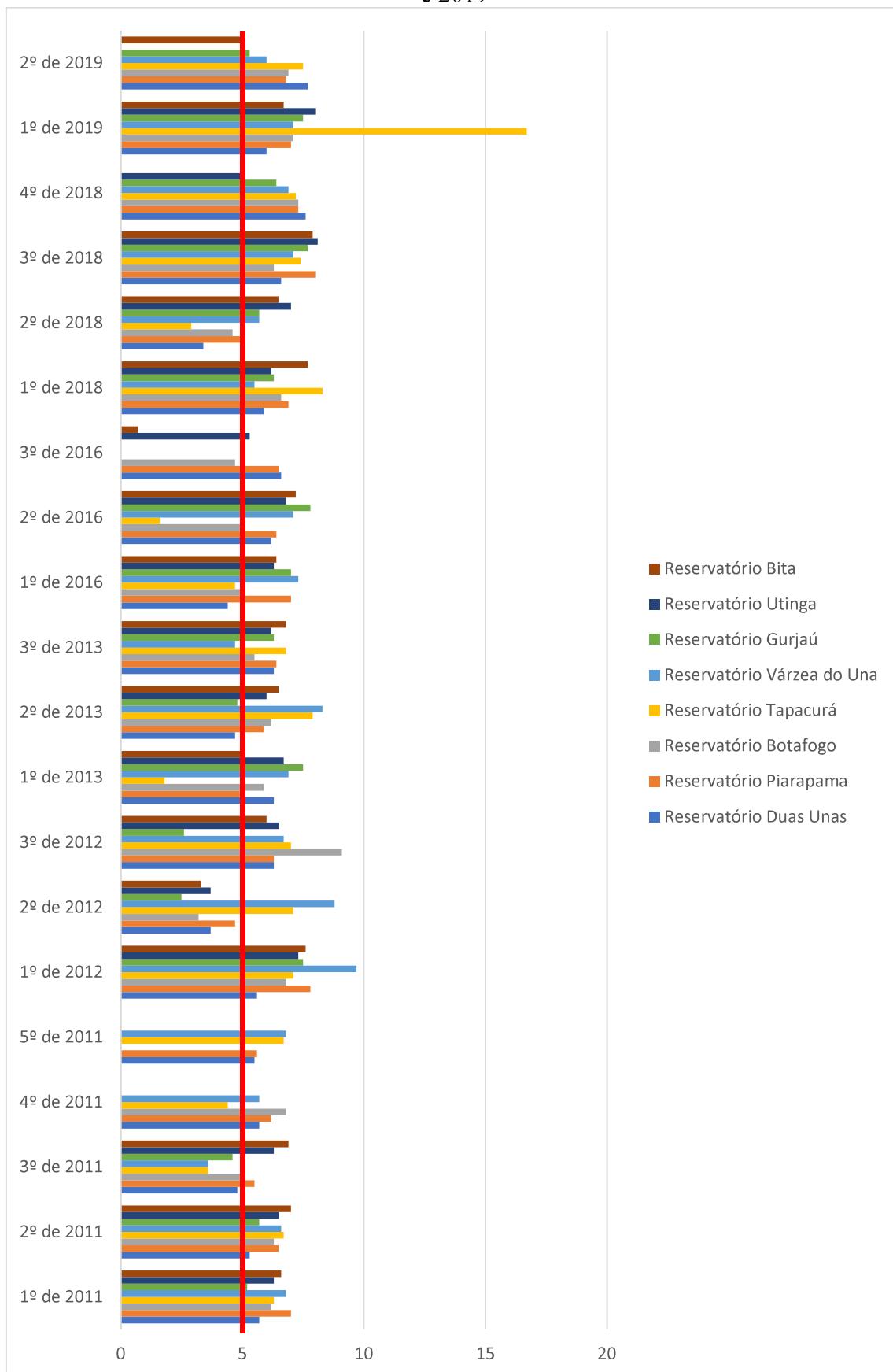


Fonte: Elaboração da autora (2022).

Conforme mostra o gráfico da Figura 19, os resultados das análises do Oxigênio Dissolvido revelaram que em cerca de 16 % das amostras o OD estava em quantidades abaixo das permitidas. Apenas no ano de 2019 todas as amostras apresentaram o OD dentro dos parâmetros estabelecidos. A relação inversamente proporcional entre a ausência do oxigênio dissolvido no meio e a presença de nutrientes, relatada por Von Sperling (2005), pode ser claramente vista no resultado do indicador 6.3.2, devido à coexistência de fósforo em quantidades acima das permitidas em cerca de 70% das análises e em praticamente todas elas o oxigênio dissolvido também estar abaixo do limite.

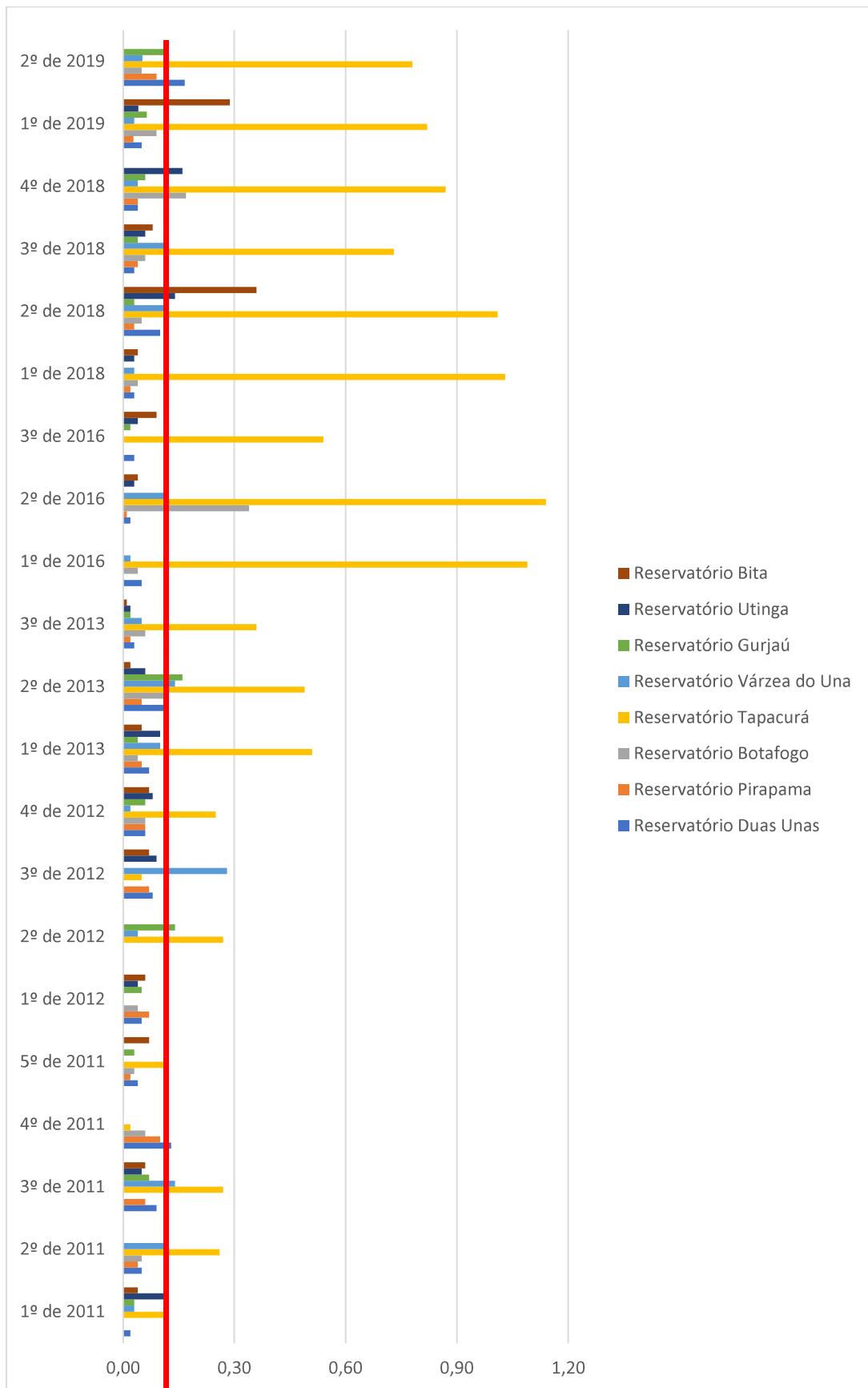
A presença constante de Fósforo em quantidades além das permitidas pela Resolução CONAMA 357/2005, expresso no gráfico da Figura 20, é um fator que deve ser avaliado e controlado, pois na maioria dos ecossistemas aquáticos, o fósforo é nutriente limitante para o crescimento dos organismos fotossintetizantes aquáticos. Ademais, por se tratar de reservatórios em meio urbano, o aporte de fósforo provavelmente é proveniente de esgotos domésticos e industriais. Tal fato se torna preocupante, pois vai além do ponto de vista da preservação e também atinge a esfera econômica. Conforme pontua Braga et al. (2005), a utilização do corpo de água como manancial de abastecimento fica prejudicada porque o excesso de algas provocado pelo excesso de fósforo obstrui os filtros da Estações de Tratamento de Água (ETA), dificultando o controle do PH e da floculação, do sabor e do odor.

Figura 19 – Oxigênio dissolvido (mg O<sub>2</sub>/L) nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Figura 20 – Fósforo total nos reservatórios da RMR entre os anos de 2011 e 2019



Fonte: Elaboração da autora (2022).

De um modo geral, analisando a década passada na Tabela 10, Tapacurá se apresentou como o reservatório que esteve mais frequentemente, em todos os anos estudados, fora dos padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 – Classe 2, seguido por Botafogo. O ano de 2012 apresentou maior quantidade de reservatórios com valores fora dos limites de qualidade estabelecidos pela referida Resolução.

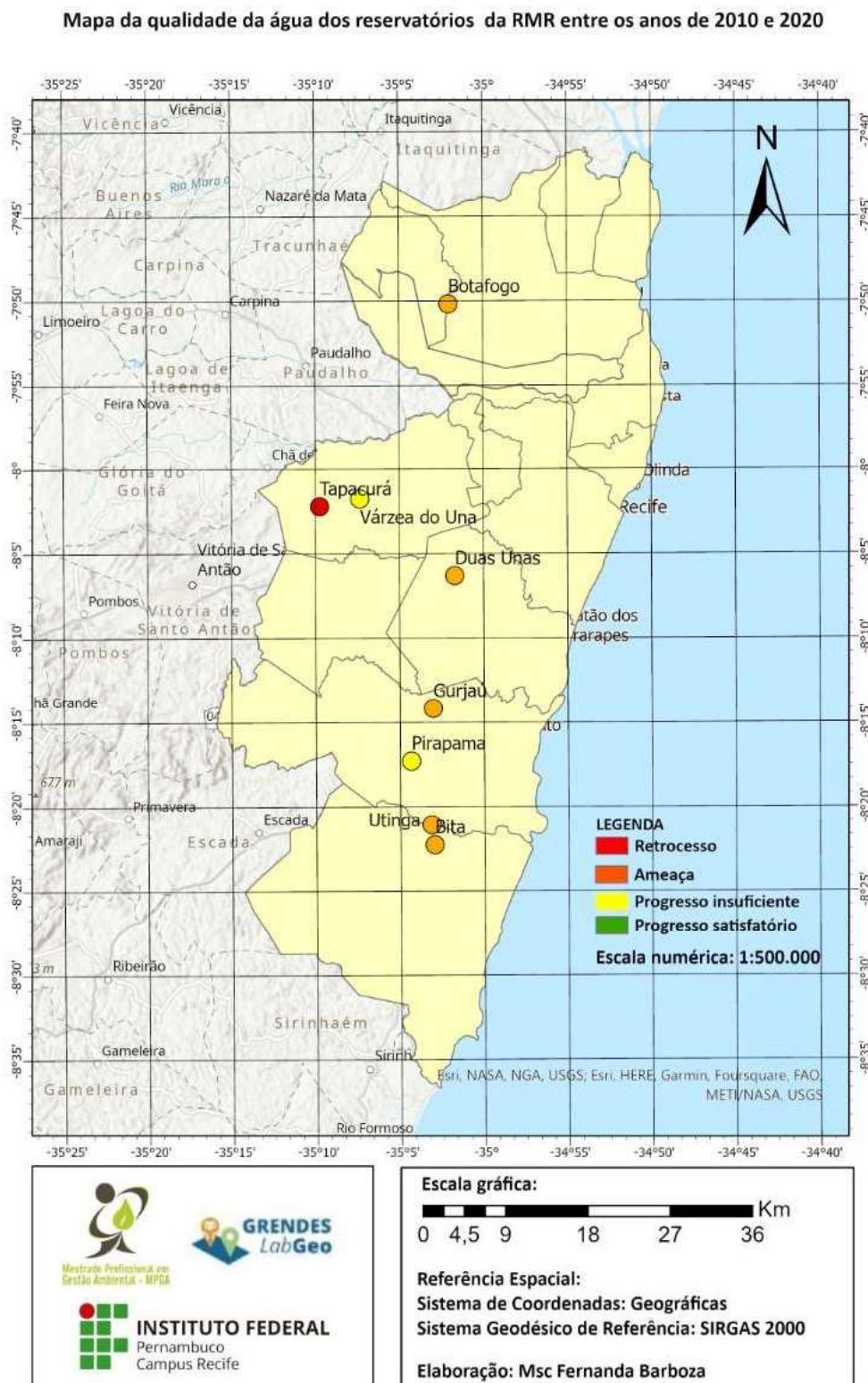
Tabela 10 – Percentual das análises dentro dos limites de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 – Classe 2

Reservatórios	2011	2012	2013	2016	2018	2019	$f > 80\%$
Bita	75%	67%	92%	“75%	75%	88%	2
Botafogo	88%	75%	75%	75%	69%	75%	1
Duas Unas	75%	67%	75%	83%	81%	75%	2
Gurjaú	83%	58%	75%	100%	88%	75%	3
Pirapama	85%	67%	83%	100%	88%	88%	5
Tapacurá	65%	75%	67%	55%	69%	62,5%	0
Utinga	83%	67%	83%	92%	81%	75%	4
Várzea do Una	85%	92%	67%	91%	81%	88%	5

Fonte: Elaboração da autora (2022).

Na Figura 21 é possível observar o reflexo dos baixos patamares do indicador 6.3.1 (tratamento dos esgotos) no indicador 6.3.2 (qualidade da água). No mapa é expresso um resultado bastante preocupante, pois segundo dados da COMPESA (2022), os reservatórios de Tapacurá e Botafogo são responsáveis por 53% do abastecimento de água da RMR.

Figura 21 – Mapa da qualidade da água dos reservatórios da RMR entre os anos de 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

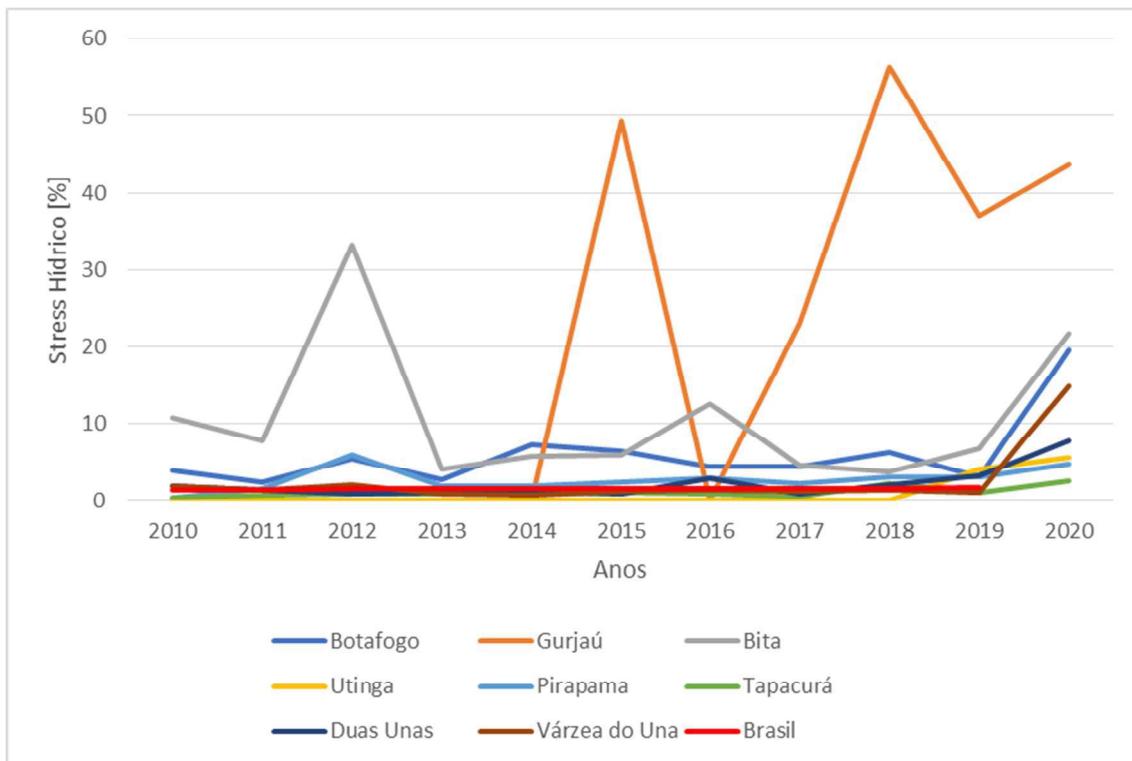
Em concordância com tal resultado, Baydum (2017) ao realizarem análises físico-químicas nos reservatórios em reservatórios que abastecem a RMR, entre eles Duas Unas e Tapacurá, afirmaram que há uma correlação positiva entre o fósforo e as espécies de macrófitas e que tal fato tem sido observado na Barragem Tapacurá, onde foram verificadas ilhas destas. Já os resultados obtidos por Farias et al (2013) mostraram que o reservatório de Tapacurá têm alta vulnerabilidade à eutrofização, principalmente pelo uso e ocupação do solo na área da sub-bacia, onde predominam extensas áreas agrícolas, principalmente a monocultura de cana-de-açúcar.

Observando-se os aspectos em conjunto, percebe-se a necessidade da adoção de medidas preventivas e corretivas para minimizar os impactos do aporte de nutrientes, especialmente no que tange à regulamentação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica a que pertence o reservatório e ao tratamento adequado dos esgotos domésticos. Sendo necessário, portanto, a adoção de medidas de proteção das margens dos reservatórios, reduzindo o aporte de nutrientes.

#### 5.9 INDICADOR 6.4.2 – NÍVEL DE STRESS HÍDRICO

Praticamente todos os reservatórios, identificados na Figura 22, apresentaram stress hídrico maior se comparado ao valor do indicador 6.4.2 calculado pela ANA para o Brasil no mesmo período. Os altos índices de stress hídrico coincidem de forma inversamente proporcional com o Índice de Segurança Hídrica – Urbano (ISH-U) calculado pela ANA, no qual predominarão no ano de 2035 áreas com menor segurança hídrica na região Nordeste. O ISH-U calculado para a RMR apresenta índice mínimo para todos os municípios, exceto Camaragibe e São Lourenço, que apresentaram índice médio.

Figura 22 – Nível de stress hídrico nos Reservatórios da RMR de 2010 a 2020



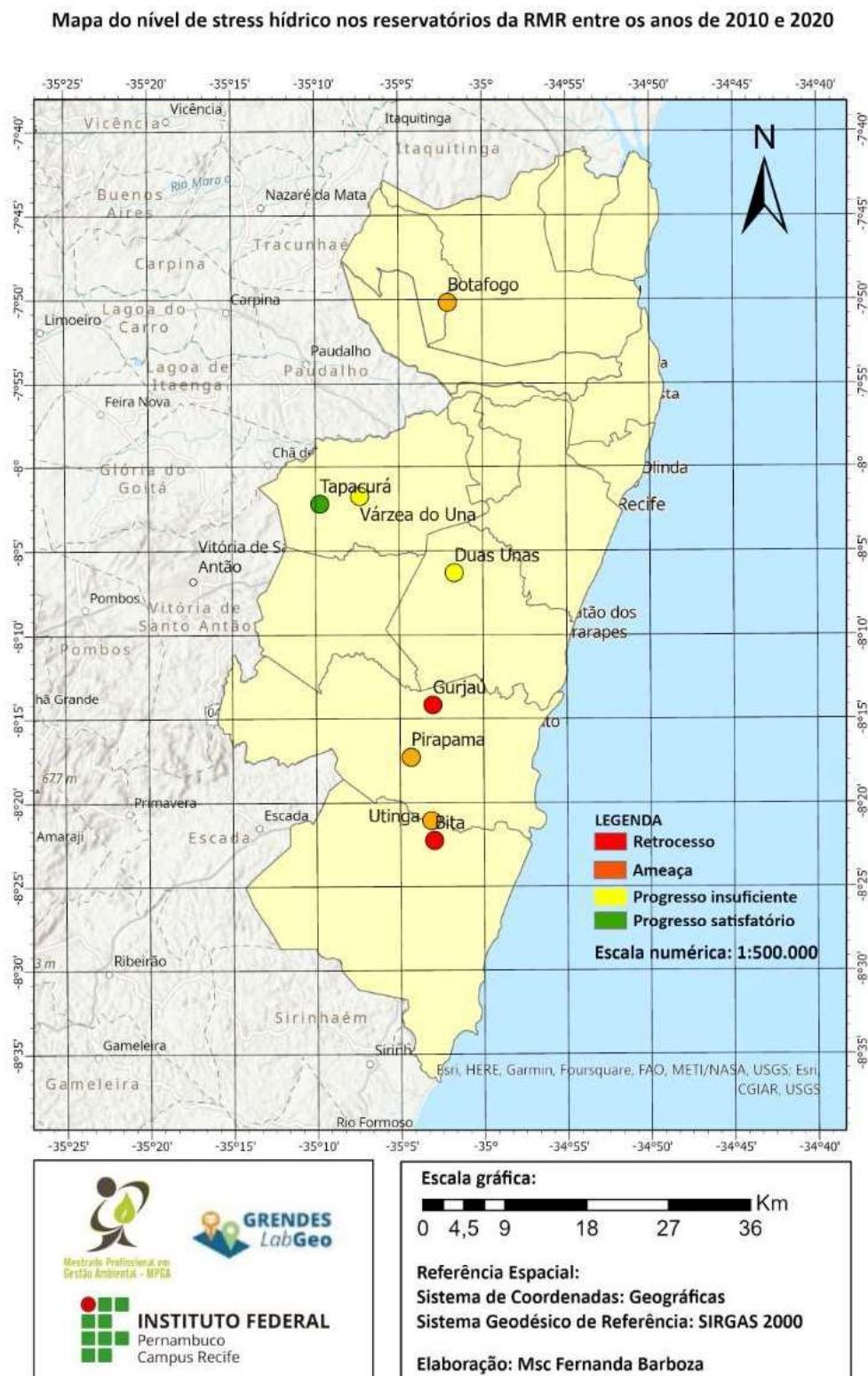
Fonte: Elaboração da autora (2022).

Ademais, é possível observar claramente o impacto da pandemia nos reservatórios, uma vez que para todos eles houve aumento convergente e significativo do stress hídrico entre os anos de 2019 e 2020. Na mesma linha de raciocínio, Paiva (2022) pontuou que situações excepcionais, como a pandemia de Covid-19 declarada pela OMS no ano de 2020, podem sobrecarregar os sistemas de abastecimento de uma localidade.

Paiva (2022) concluiu que antes do período pandêmico o perfil de consumo de água do estado do Rio Grande do Norte demonstrava uma situação geral de estabilidade. Essa situação, no entanto, divergiu da constatada no ano de 2020, no qual a pandemia de Covid-19 teve picos de casos e de mortes. Ele entendeu que as medidas de restrições adotadas foram responsáveis, no primeiro ano de pandemia, pela redução no consumo por parte dos setores comercial, industrial e público, porém com crescente no volume faturado total de 3,68% a mais do que o ano anterior, crescimento que pode ser atribuído ao setor residencial, e que provém de uma também crescente no volume produzido (captado).

Dentre os reservatórios estudados, Bita, Botafogo e Gurjaú se apresentaram com maiores níveis de stress hídrico conforme foi especializado na Figura 23.

Figura 23 – Mapa do nível de stress hídrico dos reservatórios da RMR, entre os anos de 2010 e 2020, segundo metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

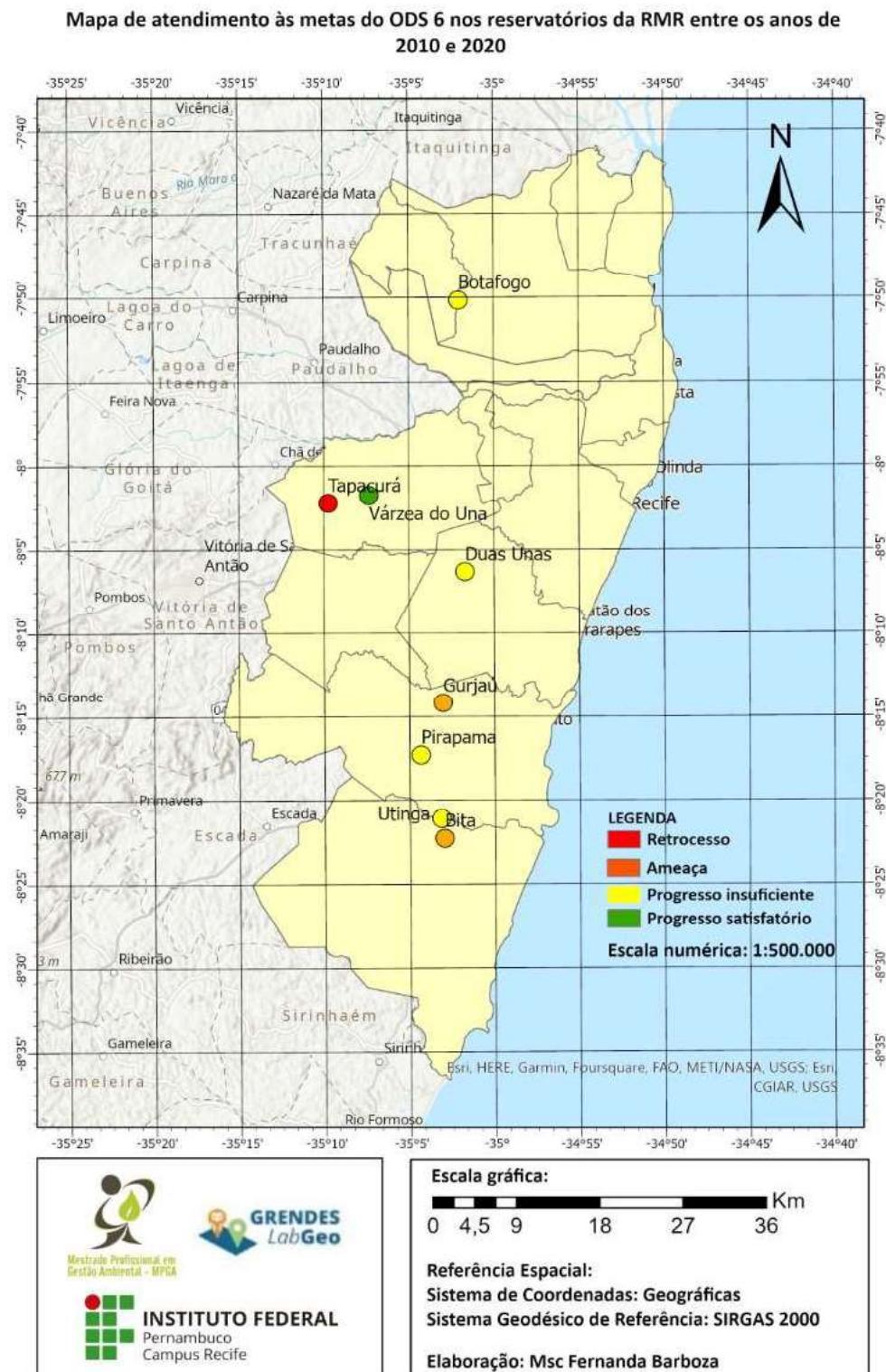
## 5.10 COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA (CLP) COM OS INDICADORES 6.3.2 e 6.4.2 DO ODS 6

Foi realizada a CLP com a porcentagem de corpos hídricos com boa qualidade de água e nível de stress hídrico dos reservatórios que abastecem a RMR, e através do SIG espacializou-se o resultado, conforme Figura 24.

Embora o reservatório de Tapacurá tenha apresentado progresso satisfatório para o stress hídrico, apresentou retrocesso para a qualidade da água e isso fez com que ele obtivesse o pior desempenho no alcance das metas do ODS 6. A este respeito, Nascimento (2003) relatou que tal manancial ainda recebe grande quantidade de esgotos e resíduos sólidos provenientes de indústrias e residências e que mesmo construída fora dos limites territoriais da região, a 27 Km da capital, era poluída pela área urbana das cidades de Pombos e Vitória de Santo Antão.

O resultado da CPL também condiz com o estudo de Oliveira et al. (2018), o qual avaliou no período de 2005 a 2013 a condição de reservatórios do agreste e litoral pernambucano com relação ao Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) da Resolução 357/2005, e concluíram que os reservatórios de Pirapama e Botafogo encontravam-se próximos à classe 2, e neles, a qualidade da água é geralmente protegida, no entanto ocasionalmente é ameaçada ou danificada.

Figura 24 – Mapa de atendimento às metas do ODS 6 nos reservatórios da RMR entre os anos 2010 e 2020, segundo a metodologia do Relatório Luz (2021)



Fonte: Elaboração da autora (2022).

## 5.11 PAINÉIS INTERATIVOS (DASHBOARDS)

Como produto derivado dessa pesquisa foi elaborado o painel interativo (*Dashboard*) “De olho no ODS 6 – RMR” mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Tela inicial do painel interativo (*Dashboard*) “De olho no ODS 6 – RMR”



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Com o uso do *Operation Dashboard* ferramenta disponível no ArcGIS Enterprise foi possível inserir figuras para melhor apresentar o painel interativo. Na Figura 26 é possível observar o uso dos *widgets* mapa e gráfico de barras. Foi possível inserir o valor do indicador 6.1.1 - Parcada da população que utiliza serviços de água potável de forma segura, por ano para cada município e a média do indicador por município representando um *ranking* com o desempenho do acesso à água nos municípios da RMR.

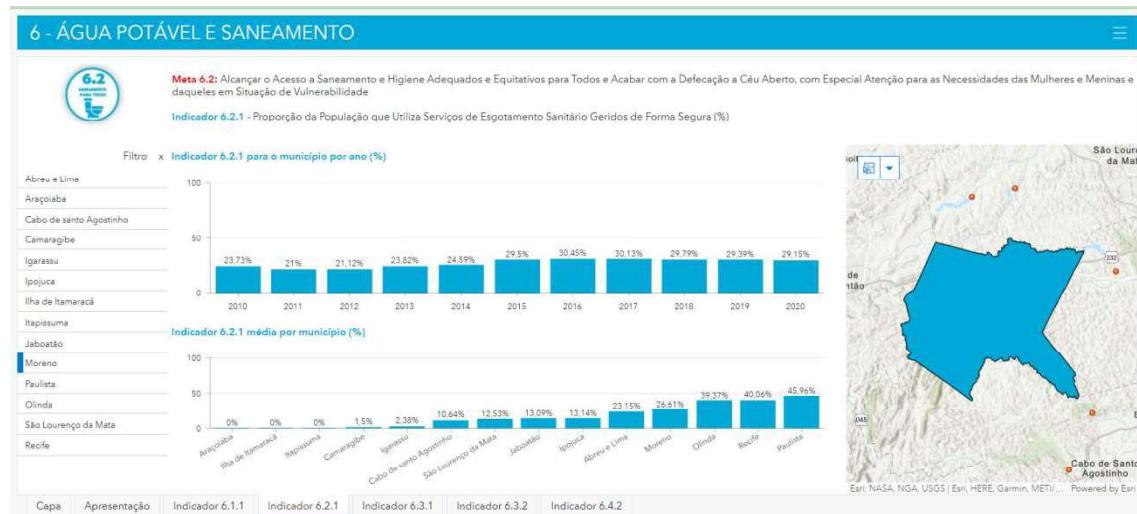
Figura 26 – Tela do indicador 6.1.1 para o município de Araçoiaba



Fonte : Elaboração da autora (2022).

Os mesmos elementos utilizados na construção da tela do indicador 6.1.1 foram utilizados para os indicadores 6.2.1 - Parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura e 6.3.1 - Parcela dos esgotos gerados que são tratados, conforme ilustrado nas Figuras 27 e 28. A conexão entre o dado gráfico e tabular de um SIG pode ser perfeitamente observada ao se clicar em cada nome de município e o polígono referente a ele aparecer do lado direito.

Figura 27 – Tela do indicador 6.2.1 para o município de Moreno



Fonte : Elaboração da autora (2022).

Figura 28 – Tela do indicador 6.3.1 para o município de Recife



Fonte : Elaboração da autora (2022).

Para o indicador 6.3.2 - Porcentagem de corpos d'água com boa qualidade da água, a tela do painel interativo mostra o valor do indicador por ano para cada reservatório, e no mapa é possível observar a localização do mesmo como mostrado na Figura 29.

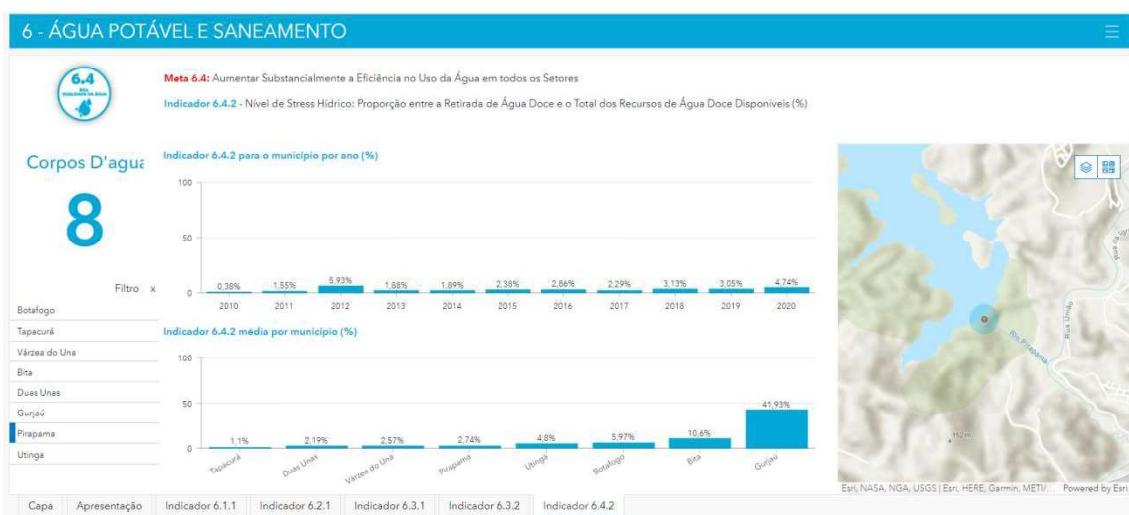
Figura 29 – Tela do indicador 6.3.2 para o Reservatório Tapacurá



Fonte : Elaboração da autora (2022).

Na tela do painel para o indicador 6.4.2 - Nível de Stress Hídrico, novamente é mostrado o valor do indicador por ano para cada reservatório, e a média do indicador por reservatório representando um *ranking* de stress hídrico para os reservatórios da RMR, conforme Figura 30.

Figura 30 – Tela do indicador 6.4.2 para o Reservatório Pirapama



Fonte : Elaboração da autora (2022).

Os painéis interativos (*Dashboards*) ficarão disponibilizados no seguinte endereço eletrônico: <https://experience.arcgis.com/experience/b695ac8b2ecd452ea61c180037a72f62/>. Também poderão ser visualizados de modo público através do QR Code da Figura 31.

Figura 31 – QR Code para acesso do painel interativo (*Dashboard*) “De olho no ODS 6 – RMR”



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Tendo em vista que o produto do trabalho foi compartilhado de modo público, verificou-se a necessidade da elaboração de um panfleto diagramado para a divulgação do produto deste trabalho, no qual constasse o endereço eletrônico e QR Code, com vistas a levar tanto a sociedade civil, quanto o poder público a conhecer o desempenho dos municípios da RMR para atingir a universalização de água e coleta/tratamento de esgotos até 2030.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu avaliar o cenário de cada município, quanto ao acesso a abastecimento de água e esgotamento sanitário, e dos principais reservatórios da RMR no que concerne à qualidade e disponibilidade de recursos hídricos.

Os municípios do Recife, Cabo de Santo Agostinho, São Lourenço da Mata e Jaboatão dos Guararapes apresentaram chances mais tangíveis de atingir a universalização do abastecimento de água até 2030. Para os municípios de Araçoiaba, Camaragibe e Itapissuma deve ser dada atenção especial, visto que apresentaram retrocesso para o indicador 6.1.1, que mede a parcela da população que utiliza os serviços de abastecimento de água de forma segura.

É importante salientar que o acesso ao abastecimento de água nos municípios não é suficiente para garantir a disponibilidade da água de forma contínua. Neste sentido, deve ser criado um indicador que possa medir a intermitência dos SAA, visto que o indicador 6.1.1 não é capaz de refletir a disponibilidade e continuidade do acesso à água em municípios com regime de abastecimento intermitente, como no caso dos municípios que compõem a RMR. Todavia, considerando a conexão entre os indicadores, o abastecimento contínuo ainda não será suficiente se a qualidade de água não estiver garantida, e a alteração dessa qualidade agrava o problema do stress hídrico, que deve ser mantido em patamares baixos para garantir o acesso à água potável.

Nenhum município da RMR apresentou progresso suficiente para o indicador 6.2.1, que mede a parcela da população que utiliza os serviços de esgotamento sanitário de forma segura e para o indicador 6.4.2, que mede a parcela dos esgotos gerados que são tratados. Desse modo, é notório que o calendário de obras da PPP (90% até 2037) precisa estar alinhado com a Agenda 2030 (100% até 2030) e o marco regulatório (90% até 2033), de modo que seja feita uma repactuação de prazos e seja elaborado um novo cronograma de execução, antecipando algumas obras para os municípios da RMR.

Com relação aos recursos hídricos, foi observado um comprometimento na qualidade da água dos reservatórios de maior importância para o abastecimento da RMR. O nível de stress hídrico destes também se apresentou bastante elevado, com a maioria deles em desequilíbrio entre os volumes retirados e o estoque de água.

O caminho da segurança hídrica necessita de investimentos não apenas em infraestrutura (produção e distribuição de água), mas também de medidas de gestão, relacionadas aos recursos hídricos e à prestação dos serviços de saneamento, para garantir, à atual e às futuras gerações, uma adequada disponibilidade de água e a prevenção contra eventos hidrológicos críticos.

O método de decisão multicritério se mostrou adequado na avaliação de desempenho do ODS 6, visto que foi possível verificar, de modo mais objetivo, as áreas que devem ter prioridade em medidas estruturais e não estruturais de saneamento para o alcance das metas até 2030. A Análise Hierárquica de Processo (AHP) permitiu aproveitar a experiência de um especialista em saneamento e incorporá-la à análise e a Composição Linear Ponderada (CLP) apresentou a vantagem de contemplar o rigor matemático da análise.

O uso do SIG/GIS pôde oferecer ao leitor leigo a possibilidade de visualizar os resultados intermediários e o final de forma simplificada além de gerar mapas com os índices de atendimento ao ODS 6 pelos municípios e reservatórios da RMR, nos quais foi possível detectar quais os municípios deficientes em saneamento, oferecendo uma visão sistêmica à gestão pública e servindo de subsídio para a implementação de políticas públicas relacionadas a tal objetivo.

A ferramenta *Dashboard* serviu como uma grande aliada na disseminação de informações relacionadas ao ODS 6, oferecendo um painel interativo personalizado que ajuda a visualizar de forma objetiva o desempenho de cada um dos municípios estudados.

Para estudos futuros é proposta a inclusão de novos indicadores do ODS 6, por exemplo os de gestão – participação da sociedade na gestão dos recursos hídricos –, para tornar a análise mais robusta e completa, bem como a elaboração de um painel interativo com informações sobre água potável e saneamento de outros municípios de Pernambuco.

Espera-se com este estudo contribuir para a disseminação de informações, assim como a conscientização da população e preocupação com a universalização da oferta de água potável e esgotamento sanitário, preservação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos por entes públicos e por toda a sociedade.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. A. **Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de Bacias Hidrográficas.** Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Joanes. Salvador, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2014.

ANA. **Atlas águas:** segurança hídrica do abastecimento urbano. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.

ANA. **ODS 6 no Brasil:** visão da ANA sobre os indicadores. 2. ed. Brasília: ANA, 2022.

ANA. **ODS 6 no Brasil:** visão da ANA sobre os indicadores. 1. ed. Brasília: ANA, 2019.

ANDREAZZI, M.A.R.; BARCELLOS, C.; HACON, S. Velhos indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 22, n. 3, 2007, p. 211-217.

APAC. **Sobre APAC.** 2017. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/institucional>. Acesso em: 01 mar. 2021.

AROUCA, M.C.G. **Análise espacial das condições de saneamento e saúde ambiental no estado do Rio de Janeiro.** Niterói, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em ciência ambiental). Universidade Federal Fluminense, 2017.

BACHA, M. L.; SANTOS, J.; SCHAUER, A. Considerações teóricas sobre o conceito da Sustentabilidade. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 7., 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2010.

BANCO MUNDIAL. **Barreiras e soluções para a conexão à rede de esgoto na Região Metropolitana do Recife:** um diagnóstico comportamental. 2022.

BAYDUM, V. P. A.; OLIVEIRA, F. H. P. C.; RAMALHO, W. P. Presença de macrófitas em reservatórios de abastecimento e implicações no tratamento de água. **Revista DAE**, v. 66, n. 210, abr./jun. 2018.

BOMBARDA, A. L.; SANTOS, G. D. ; OLIVEIRA, S. C. Desenvolvimento de um dashboard para análise numa indústria do Laboratório de Gestão Organizacional Simulado. **Revista LAGOS**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 28- 32, 5 jun. 2020.

BRAGA, B.; HESPAÑOL, I.; CONEJO, J. G. T; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

**BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. 2020. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: 1 maio 2021.

**BRASIL. Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais e a política federal de saneamento básico. 2007. Disponível em: <http://.presidencia.gov.br/legislação/>. Acesso em: 10 jan. 2021.

**BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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. 2005. Disponível em: [www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf) . Acesso em: 8 out. 2021.

CAVALCANTI, C. Desenvolvimento Sustentável e Gestão dos Recursos Naturais: Referências Conceptuais e de Política. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 22, n. 2, p. 96-103, 2003.

CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

COMPESA. **Compesa**: 50 anos de história. 1. ed. Recife: CEPE, 2022 . 174 p.

DUTRA, M. T. D. **Desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental em bacia hidrográfica**: o caso da bacia do rio Capibaribe, Pernambuco. 2017. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, 2017.

ESRI. **ArcGIS Dashboards**. 2022. Disponível em: <https://enterprise.arcgis.com/pt-br/dashboards/latest/get-started/what-is-a-dashboard.htm>. Acesso em: 16 fev. 2022.

FARIAS, M. M. M.W.E. C. ; BARBOSA, I. M.B.R. ; CARVALHO, V.S. . Determinação da vulnerabilidade à eutrofização de reservatórios de água: estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Capibaribe, Pernambuco. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: RS, 2013.

FOLHA DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Entenda o ciclo do saneamento.**  
Disponível em: <https://folhaestado.com/entenda-o-ciclo-do-saneamento/>. Acesso em: 13 set 2022.

FREITAS, Pedro Augusto Mendes de. **Correlação espacial entre a dengue e o saneamento na cidade do Recife.** Recife, TCC (Curso de Engenharia Civil) – IFPE, Recife, 2019.

FUNASA. **Manual de Saneamento.** 3. ed. rev. Brasília: 2004. 408 p.

GAVLAK, A. A.; GAVLAK, N. F. Serviços de disseminação de informações geográficas: uma análise de servidores de mapas online que disponibilizam dados sobre áreas localizadas no Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais...** Corumbá: EMBRAPA/INPE, 2009. p. 167-176.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **A Região Metropolitana do Recife.** 2021  
Disponível em: <https://www.pdui-rmr.pe.gov.br/RMR>. Acesso em: 26 fev. 2021.

GT AGENDA 2030. Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. **Relatório Luz.** 2021. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2021.** 2021. São Paulo: GO Associados, 2021.

JÚNIOR, A. L.; MACHADO, C. M.; SILUK, J. C. M.; SOLIMAN, M.; HUPFER, N. T.; PARIS, S. R. Comparativo entre as metodologias MCDA-C, DEA e AHP. **Revista FAE**, v. 18, n. 1, p. 6-19, 2015.

JAVARINI, N.S.; GOMES, V. A. do P.; FREITAS, R. R. de. Análise da aplicação do método AHP em indicadores de potencialidade na implantação de parques eólicos. **Brazilian Journal of Production Engineering - BJPE**, v. 7, n. 1, p. 17-30, 2021.

LEAL, F.C.B.S. **Vulnerabilidade à inundação na bacia hidrográfica do Rio Una – PE utilizando análise hierárquica de processo.** 2019. 28 f. TCC (Curso de Engenharia Civil) - Departamento Acadêmico de Infraestrutura e Construção Civil, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2019.

LEFF, E. **Saber ambiental**: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Rio de Janeiro: Vozes, 2001.

LIMA, I. M. S. **Espacialização de Indicadores de Saneamento nos Municípios Potiguares que Compõem a Bacia Hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu**. 2016. Monografia (Bacharel em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

LIMA, V. Mapeamento da qualidade ambiental urbana com o uso da técnica AHP. **Brazilian Geographical Journal**: Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 9, n. 1, p. 60-72, jan./jun, 2018.

LOBATO, G. J. M; JARDIM, M. A. G. Caracterização de indicadores de desenvolvimento sustentável na relação saúde e ambiente por meio das Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI). **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 33, 2014.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 539 p.

LOPES, A. F. A. **O programa cidade sustentável, seus indicadores e metas**: instrumentos metodológicos para a avaliação da sustentabilidade no município de Prata/MG. 2016. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de Reservatórios**. São Paulo: USP, 2002. 64 p.

**MANUAL METODOLÓGICO DO ISH**. Disponível  
em: [https://metadados.snrh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia\\_ISH.pdf](https://metadados.snrh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia_ISH.pdf). Acesso em: 01 jul. 2022

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índice de Desenvolvimento Sustentável**: IDS dos estados brasileiros e dos municípios da Paraíba. Campina Grande: SEBRAE, 2008.

MIRANDA, G. C. A. **Saneamento básico na cidade do Recife**: entre a idealidade do planejamento e realidade da execução. 2014. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2899-2906.

NASCIMENTO, B. B. **Vulnerabilidade do sistema de abastecimento de água potável da Região Metropolitana do Recife: intermitência e poluição.** Recife, 2003. Dissertação (Mestrado) – UFPE, 2003.

—.NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

—.NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

OLIVEIRA, I.S.; PANTA, L.M.L.S.; BARBOSA, I.M.B.R.; SILVA, R.S. Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil (Guideline Compliance Index in Reservoirs Jucazinho, Bituri, Botafogo and Pirapama, in Pernambuco, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1575-1584, 2018.

ONU. **Transformando Nossa Mundo:** A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2021. Disponível em: [http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf). Acesso em: 01 mar. 2021.

PAIVA, L.M.P. **Impacto da pandemia de covid-19 no padrão de consumo de água no Rio Grande do Norte.** Natal, 2022.40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação).Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia , Curso de Engenharia Ambiental, 2022.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, n. 1, p. 63-74, 1994.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process.** New York: McGraw-Hill, 1980.

SANTOS, S. M.; BARCELLOS, C. **Abordagens espaciais na saúde pública.** Brasília: Ministério da Saúde – Fundação Oswaldo Cruz, 2006. 136 p.

SANTOS, C. I. Agenda 2030: um estudo de caso sobre os desafios da implementação do ODS 6 para o município de Pombal-PB. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, 2022. e20311425386.

SILVA, C. E. S.; VILELA, M. H. S.B.; BORGES, D. Tomada de decisão (MCDA) em conjunto com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para seleção de locais: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39.,2019, Santos, SP. **Anais...** Santos, SP, 2019.

SOUZA, B. T. M. X. **Elaboração de um dashboard interativo para a hemorrede do Estado de Alagoas.** Rio Largo, 2021. 63 f. Monografia de Graduação em Engenharia de

Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, 2021.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

TOMAZ, L. S. M.; BARBOSA, I. M. B. R.; PRIMO, C.S.; FIRMO, A.L.B.; PAZ, D.H.F. Análise do desempenho dos serviços de saneamento na Região Metropolitana do Recife por meio de um SIG. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15. **Anais...** Recife, 2020.

UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021**: O valor da água – Fatos e dados. 2021.

VASCONCELOS JÚNIOR, E.M.; BENTES, L.V.; SANTOS, S.S.; DUTRA, M.T.D.; SOBRAL, M.C.M. A incorporação da esfera municipal e da qualidade de água para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, Água e Saneamento. In: In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 15. **Anais...** Recife, 2020.

VERÍSSIMO BISNETO, A. **Modelo de decisão espacial para seleção de aterros sanitários**. Mossoró, RN), 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – UFERSA, 2018.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – PANFLETO PARA DIVULGAÇÃO DOS PAINÉIS INTERATIVOS (*DASHBOARDS*) COM O DESEMPENHO DOS MUNICÍPIOS E RESERVATÓRIOS DA RMR NO ALCANCE DAS METAS DO ODS 6 ENTRE OS ANOS DE 2010 E 2020



É com imenso prazer que lhe convidamos a conhecer o painel interativo (*Dashboard*) “**De olho no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 na Região Metropolitana do Recife (RMR)**”! Tal objetivo faz parte da Agenda de 2030 proposta pela Organização das Nações Unidas (ONU). Antes, vamos entender quais as metas e indicadores do ODS 6 presentes no painel:



**Objetivo**

Alcançar o acesso universal à água potável e saneamento para todos até 2030.

Metas	Indicadores
Água potável para todos	Parcela da população que utiliza serviços de abastecimento de água de forma segura
Saneamento para todos	Parcela da população que utiliza serviços de esgotamento sanitário de forma segura
Melhorar a qualidade da água	Proporção de águas residuais tratadas de forma segura
Uso eficiente da água	Proporção de corpos hídricos com boa qualidade de água
	Nível de stress hídrico

O painel foi desenvolvido a partir da dissertação intitulada: “Avaliação de Desenvolvimento Sustentável 6 - Água Potável e Saneamento - na Região Metropolitana do Recife Pernambuco” do Programa de Pós Graduação em Gestão Ambiental e Mestrado Profissional em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE Campus Recife. Tem autoria da Msc Fernanda Cláudia Barboza da Silva, sob orientação da Profª Drª Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa e coorientação da Profª Drª Maria Tereza Duarte Dutra.

O painel pode ser acessado a partir do seguinte endereço eletrônico ou QR code:



<https://experience.arcgis.com/experience/b695ac8b2ecd452ea61c180037a72f62/>

