

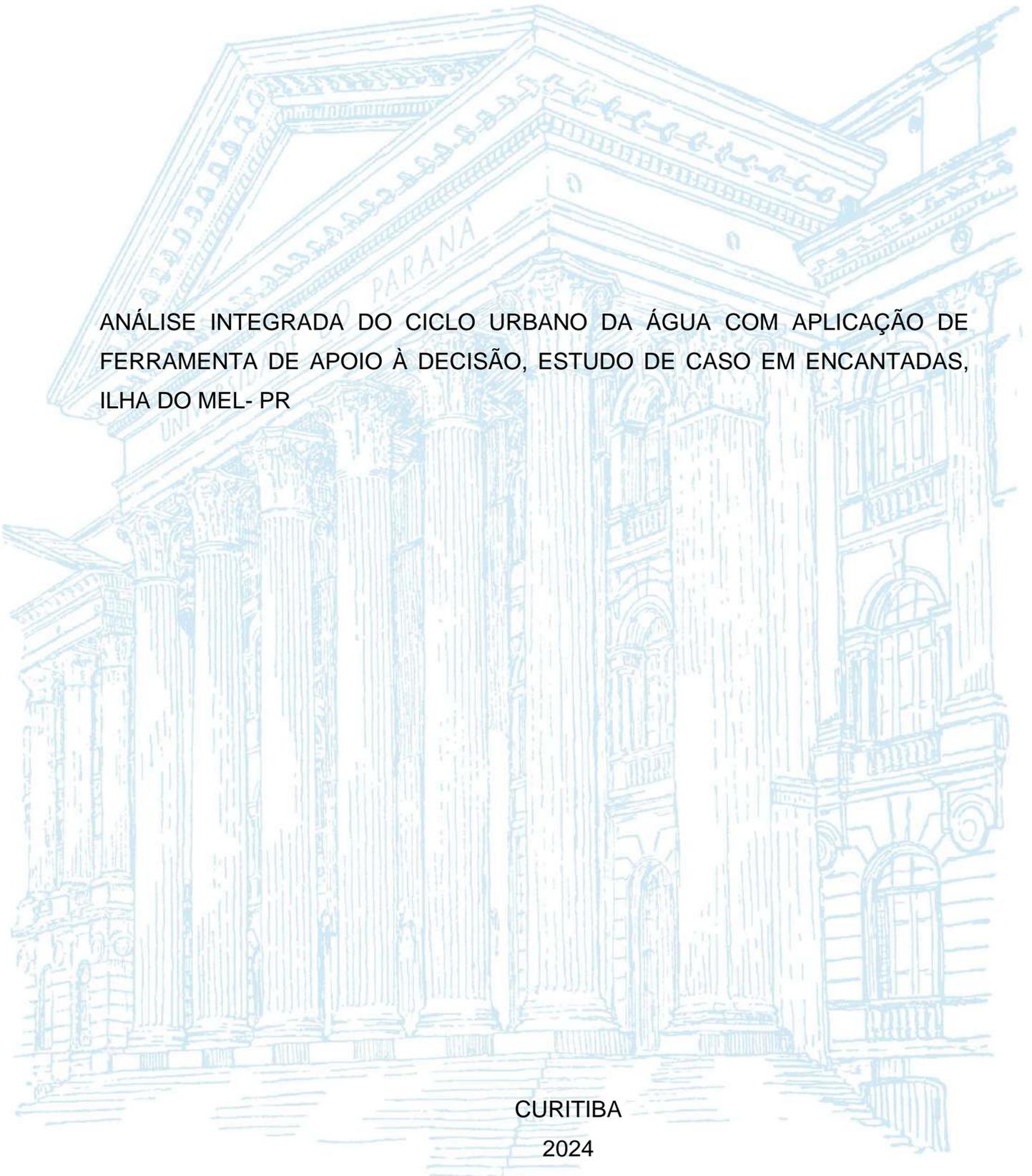
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUANA VALEZI

ANÁLISE INTEGRADA DO CICLO URBANO DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE  
FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO, ESTUDO DE CASO EM ENCANTADAS,  
ILHA DO MEL- PR

CURITIBA

2024



LUANA VALEZI

ANÁLISE INTEGRADA DO CICLO URBANO DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE  
FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO, ESTUDO DE CASO EM ENCANTADAS,  
ILHA DO MEL- PR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao  
Departamento de Engenharia Ambiental, Setor de  
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Costa dos Santos

CURITIBA

2024



## TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

LUANA VALEZI

ANÁLISE INTEGRADA DO CICLO URBANO DA ÁGUA COM APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO, ESTUDO DE CASO EM ENCANTADAS, ILHA DO MEL- PR

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota **9,5**, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):   
Daniel Costa dos Santos  
Departamento de Hidráulica e Saneamento | DHS | UFPR

Documento assinado digitalmente  
gov.br JOICE CRISTINI KURITZA DENCK GONCALVES  
Data: 23/12/2024 14:25:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro(a) 1: \_\_\_\_\_  
Joice Kuritza Denck Gonçalves  
Departamento de Engenharia Ambiental | DEA | UFPR

Membro(a) 2:   
Regina Tiemy Kishi  
Departamento de Hidráulica e Saneamento | DHS | UFPR

“Ao meu avô Admir, que agora vive no meu coração e nas minhas lembranças, dedico esta conquista. Este trabalho é uma pequena homenagem com toda a minha gratidão.”

## **AGRADECIMENTOS**

Chegar ao final desta jornada acadêmica é motivo de grande alegria e satisfação, e este momento não seria possível sem o apoio, a presença e o amor de pessoas muito especiais em minha vida.

Agradeço a Deus, por Sua infinita graça e misericórdia. Que este trabalho seja uma forma de expressar minha gratidão e de glorificar Seu nome por todas as conquistas alcançadas.

Agradeço à minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando incondicionalmente. Vocês foram a base sólida que me sustentou nos momentos mais desafiadores.

Aos amigos da IPChampagnat, que ao longo desta caminhada estiveram sempre presentes, oferecendo apoio, conselhos e orações. Vocês foram uma fonte constante de motivação e alegria, e sou grato por cada palavra de incentivo e por cada gesto de carinho. A fé e a amizade de vocês me fortaleceram nos momentos difíceis e me ajudaram a seguir em frente com confiança e esperança.

"Porque dEle, e por Ele, e para Ele, são todas as coisas. Romanos 11:36a"

## RESUMO

A Ilha do Mel, localizada no estado do Paraná, é um destino turístico crescente, cuja infraestrutura de saneamento não acompanha a demanda imposta pelo aumento de visitantes. O presente trabalho tem como objetivo avaliar de forma integrada os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais na comunidade de Encantadas, localizada na Ilha do Mel - PR, por meio da aplicação do modelo Urban Water Use (UWU). Essa ferramenta considera cenários baseados em fatores externos e avalia a eficiência de diferentes grupos de medidas de intervenção para uma projeção de 30 anos. A pesquisa abrangeu a análise de sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana, onde foram simulados quatro grupos de medidas de intervenção. O modelo UWU, adaptado para este contexto, integra projeções climáticas para avaliar possíveis cenários futuros e orientar a formulação de estratégias de adaptação. A gestão integrada de águas urbanas, envolvendo todas as dimensões da sustentabilidade (técnica, social, econômica e ambiental), mostrou-se fundamental para garantir a eficácia das intervenções e a preservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Ilha do Mel, planejamento estratégico, gestão integrada de recursos hídricos, análise sistêmica, Urban Water Use.

## **ABSTRACT**

Ilha do Mel, located in the state of Paraná, is a growing tourist destination, whose sanitation infrastructure does not keep up with the demand imposed by the increase in visitors. This study aims to evaluate in an integrated manner the water supply, sewage, solid waste management and stormwater drainage systems in the community of Encantadas, located on Ilha do Mel - PR, through the application of the Urban Water Use (UWU) model. This tool considers scenarios based on external factors and evaluates the efficiency of different groups of intervention measures for a 30-year projection. The research included the analysis of water supply, sewage and urban drainage systems, where four groups of intervention measures were simulated. The UWU model, adapted to this context, integrates climate projections to evaluate possible future scenarios and guide the formulation of adaptation strategies. Integrated urban water management, involving all dimensions of sustainability (technical, social, economic and environmental), proved to be fundamental to guarantee the effectiveness of interventions and the preservation of water resources.

Keywords: Ilha do Mel, strategic planning, integrated water resources management, systemic analysis, Urban Water Use.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de um sistema convencional de abastecimento de água. ....	23
Figura 2. Perfil de uma rede coletora de esgoto.....	25
Figura 4. Vista superior da Ilha do Mel - PR. ....	37
Figura 5. Ilustração da localização da Ilha do Mel.....	38
Figura 6. Mapa Hiposométrico da Ilha do Mel. ....	41
Figura 7. Mapa da Hidrografia na Ilha do Mel – PR. ....	42
Figura 8. ETA SAA Brasília.....	44
Figura 9. ETA SAA Encantadas.....	44
Figura 10. Estação de transbordo de Encantadas. ....	45
Figura 11. Transporte marítimo dos resíduos coletados na Ilha do Mel. ....	45
Figura 12. Alagamentos em trilhas da Ilha do Mel ....	46
Figura 13. Cabeamento por vias subterrâneas.....	47
Figura 3. Aspectos gerais do UWU.....	48
Figura 14. Mapa de localização da Ilha do Mel – PR. ....	50
Figura 15. Vista aérea da comunidade de Encantadas.....	51
Figura 16. Vista da ETA Encantadas.....	52
Figura 17. Fluxograma do SAA Encantadas.....	53
Figura 18. Rio da Ponte com indícios de contaminação por esgoto doméstico.....	54
Figura 19. Etapas gerais do UWU. ....	65

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cobertura do Sistema de Abastecimento de água.....	69
Gráfico 2. Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário.....	72
Gráfico 3. Carga de DBO do esgoto doméstico.....	74
Gráfico 4. Gráfico 4. Vazão da exutória da Bacia Hidrográfica (l/s).....	75
Gráfico 5. Índice de efetividade.....	77
Gráfico 6. Índice de efetividade relacionado a alteração dos fatores externos.....	79
Gráfico 7. Índice de efetividade da simulação com alteração dos pesos.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo do sistema atual da Ilha do Mel.....	43
Tabela 2. Captação dos sistemas de abastecimento de água potável. ....	53
Tabela 4. Dados de entrada necessários para a simulação no modelo UWU.....	58
Tabela 5. Indicadores e pesos. ....	60
Tabela 6. Construção de cenários. ....	62
Tabela 7. Grupo de medidas.....	63
Tabela 8. Hierarquia do Índice de Efetividade (IE). ....	65
Tabela 9. Resultado das simulações. ....	67
Tabela 10. Resultado do Índice de Efetividade da simulação.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DATASUS	Departamento de Informática de Informática do Sistema Unitário de Saúde
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GIAU	Gestão Integrada das Águas Urbanas
GM	Grupo de Medida
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUWM	Integrated Urban Water Management
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PMSBP	Plano Municipal de Saneamento Básico de Paranaguá
PNRH	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNRM	Política Nacional para os Recursos do Mar
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SDU	Sistema de Drenagem Urbana
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SUS	Sistema Único de Saúde
UC	Unidade de Conservação
UWU	Urban Water Use

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	18
1.1.1 Objetivo geral .....	18
1.1.2 Objetivos específicos .....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 SAÚDE PÚBLICA, MEIO AMBIENTE E SANEAMENTO.....	20
2.2 SERVIÇOS DE INFRAESTRUTURA SANITÁRIA .....	22
2.2.1 Sistema de Abastecimento de Água.....	23
2.2.2 Sistema de Esgotamento Sanitário.....	24
2.2.3 Sistema de Drenagem Urbana .....	26
2.2.4 Sistema de Resíduos Sólidos .....	27
2.3 LEIS, POLÍTICAS NACIONAIS E DIRETRIZES BRASILEIRAS .....	28
2.4 GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS.....	30
2.4.1 Gestão de águas costeiras .....	32
2.4.2 Planejamento estratégico.....	33
2.4.3 Influência das mudanças climáticas .....	34
2.4.4 Ferramentas de gestão de recursos hídricos .....	35
2.5 ILHA DO MEL - PR .....	36
2.5.1 Aspectos sociais.....	39
2.5.2 Aspectos físicos .....	40
2.5.3 Hidrografia.....	41
2.5.4 Infraestruturais ambientais.....	42
2.6 MODELO UWU .....	48
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>50</b>
3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	50
3.2 ENCANTADAS.....	50
3.2.1 Sistema de abastecimento de água em Encantadas .....	51
3.2.2 Sistema de esgotamento sanitário em Encantadas .....	54
3.2.3 Resíduos sólidos em Encantadas.....	55
3.2.4 Sistema de drenagem de águas pluviais em Encantadas.....	55
3.3 APLICAÇÃO DO MODELO UWU .....	55

3.3.1 Dados de entrada.....	56
3.3.2 Elaboração da Visão .....	58
3.3.3 Elaboração dos Cenários.....	60
3.3.4 Grupos de medidas.....	62
3.3.5 Índice de Efetividade.....	64
3.3.6 Simulações.....	65
<b>4 RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>67</b>
<b>5 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
5.1 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS .....	69
5.1.1 Cobertura de Abastecimento de Água.....	69
5.1.2 Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário .....	71
5.1.3 Carga de DBO.....	73
5.1.4 Vazão da exutória .....	74
5.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS GRUPOS DE MEDIDA.....	77
5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	79
5.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PESOS .....	81
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE 1 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE 2 – MATERIAL DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE 3 – MATRIZ DE CÁLCULOS E PARAMETRIZAÇÃO DOS DADOS.....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Ilha do Mel pertencente ao município de Paranaguá - PR é um destino de destaque pela sua beleza natural e relevância ecológica, fazendo parte de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral. No entanto, o aumento exponencial do turismo e a infraestrutura inadequada têm colocado em risco a sustentabilidade dos seus recursos hídricos. A crescente pressão sobre a água potável, aliada ao saneamento básico deficiente e à gestão inadequada de resíduos, compromete a saúde ambiental e a qualidade de vida na ilha.

Diante desse cenário, a interação entre o ser humano e o ambiente se dá por meio do uso dos recursos naturais como fonte de matéria e energia essenciais para suas funções vitais. Nas áreas urbanas, essa interação se torna complexa devido às ações humanas intensas que impactam diretamente a gestão de águas urbanas.

A urbanização afeta o ciclo hidrológico natural, alterando os padrões de escoamento superficial, a infiltração e a recarga dos aquíferos. Além disso, a impermeabilização dos solos, a canalização de cursos d'água, o acúmulo de resíduos e poluentes em áreas urbanas agravam a degradação da qualidade da água (Tucci, 2008). Esses problemas são intensificados pela falta de infraestrutura de saneamento básico adequada, o que compromete a saúde pública e o meio ambiente.

A inclusão do tema água e saneamento nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável é resultado do crescente destaque desse assunto em conferências da Organização das Nações Unidas, debates acadêmicos e políticas públicas ao redor do mundo.

Desde a Conferência de Estocolmo em 1972, cujo objetivo era sensibilizar os países a definirem padrões de conduta adequados à conservação do meio ambiente, passando por Brundtland em 1987, com os princípios do desenvolvimento sustentável, até as conferências do Rio em 1992 e Rio+20 em 2012, as diretrizes para gestão da água, controle da poluição hídrica e saneamento têm se expandido no âmbito internacional.

Através de um processo de planejamento participativo global, a Agenda 2030, firmada na última Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, estabelece diretrizes fundadas no princípio de que o desenvolvimento econômico, social e ambiental deve caminhar juntos.

Destaca-se a relação intrínseca com a gestão da água e o saneamento básico, uma vez que, são recursos vitais e de direitos humanos básicos. O ODS 6 destaca a meta de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e do acesso ao saneamento para todos, assegurando o acesso a tais recursos independente da condição social, econômica e cultural.

Segundo o relatório do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), uma em cada três pessoas no mundo não tem acesso a água e saneamento básico, resultando em mais de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo sem acesso a serviços de água potável e 4,2 bilhões de pessoas sem serviços de coleta de esgoto. No que diz respeito ao ODS 6, o Brasil tem progredido a passos lentos, uma vez que aproximadamente 35 milhões de brasileiros ainda carecem de acesso à água e quase 100 milhões não têm acesso ao tratamento de esgoto (SINIS, 2022).

Segundo o Instituto Trata Brasil, os desafios persistem com a desigualdade de acesso sendo um deles. No Sudeste, 91,09% da população tem acesso a água tratada, mas essa porcentagem cai para 64,02% no Norte. Quanto ao esgoto, a região mais bem desenvolvida é o Sudeste, com 68,90,% de cobertura de tratamento, enquanto no Norte apenas 14,49% da população têm seus esgotos coletados. Esses dados revelam uma situação emergente na Saúde Pública, com mais de 191 mil internações por doenças de veiculação hídrica.

A desigualdade no acesso aos serviços de saneamento básico é refletida na qualidade de vida das populações costeiras. Em regiões onde o tratamento de esgoto é insuficiente ou inexistente, os resíduos são frequentemente despejados diretamente nos corpos d'água ou em terrenos baldios, poluindo rios, lagos e mares. Este ciclo de poluição compromete os recursos hídricos, afetando a pesca e o turismo, que são fundamentais para a economia local. Além disso, a poluição dos ambientes costeiros prejudica a biodiversidade marinha e os ecossistemas que fornecem serviços ambientais essenciais, como a proteção contra a erosão e a manutenção da qualidade da água (Cavalcante, 2018).

Dada a urgência em alterar essa delicada situação sanitária no país, diferentes setores têm tomado medidas e proposto mudanças. A busca pelo uso sustentável e pela gestão da água nas áreas urbanas exige uma abordagem que leve em conta a complexidade do seu ciclo, sendo essencial considerar diversas estratégias para compreender melhor esse ciclo.

Nesse contexto, o modelo de Uso Urbano da Água (Santos e Van Der Steen, 2011) tem como objetivo apoiar a gestão das águas urbanas de maneira integrada, propondo soluções alternativas para desafios relacionados à água nessas áreas, garantindo a sustentabilidade ambiental. A ferramenta foca na escolha de estratégias para a infraestrutura sanitária urbana e para os edifícios, empregando uma abordagem de planejamento estratégico.

Diante dos desafios relacionados ao aumento crescente do turismo e da falta de infraestrutura adequada da Ilha do Mel - PR, surge a seguinte questão da pesquisa: Como o uso atual e a situação da Ilha do Mel - PR afetam a sustentabilidade dos recursos hídricos, e de que maneira a aplicação de uma ferramenta de apoio à decisão pode contribuir para a gestão integrada e sustentável da água na região?

A hipótese permeia a ideia de que a sustentabilidade da Ilha do Mel está sob risco e a intervenção sobre o ciclo da água, integrando as dimensões sociais, ambientais e econômicas, pode contribuir para minimizar esse risco e promover um desenvolvimento sustentável na ilha.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é realizar uma análise integrada do ciclo urbano da água da Ilha do Mel – PR.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar e analisar informações técnicas sobre a Ilha do Mel, incluindo dados ambientais, geográficos e socioeconômicos, para estabelecer uma base de dados inicial que será utilizada no Urban Water Use (UWU).
- Aplicar o UWU na Ilha do Mel para hierarquizar e selecionar o grupo mais adequado de medidas de conservação e desenvolvimento sustentável, com base nos dados coletados e nas necessidades específicas da região.
- Avaliar as influências das mudanças socioambientais sobre o ciclo urbano da água por meio da aplicação do UWU.
- Propor diretrizes para promover a sustentabilidade hídrica na Ilha do Mel.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A motivação para este estudo está relacionada à necessidade de melhorar a gestão dos recursos hídricos e os serviços de saneamento em áreas protegidas com grandes atividades turísticas, como a Ilha do Mel. Um dos principais atrativos turísticos do estado do Paraná, este local enfrenta sérios problemas entre garantir a proteção do meio ambiente e atender à crescente demanda por instalações, resultando em um fluxo de turistas, principalmente na alta temporada.

Diante desse contexto, o desenvolvimento de uma análise integrada e apoiada por ferramentas de decisão, como o modelo Urban Water Use (UWU), pode auxiliar na gestão dos recursos hídricos de maneira eficiente e sustentável. O modelo permite um diagnóstico mais preciso das necessidades da área, considerando o aumento da população, os efeitos de mudanças climáticas, como a variação de pluviosidade e temperatura, que podem intensificar os problemas já existentes.

Este estudo se justifica pela possibilidade de oferecer dados e recomendações que possam contribuir com políticas públicas e práticas de manejo sustentável na Ilha do Mel. Essa iniciativa visa, assim, não apenas responder às necessidades atuais, mas também criar uma base de conhecimento aplicável a outras áreas de conservação com características semelhantes, fortalecendo o desenvolvimento sustentável e a conservação ambiental em áreas de fragilidade ambiental.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SAÚDE PÚBLICA, MEIO AMBIENTE E SANEAMENTO

Entender as interconexões entre saneamento, saúde pública e meio ambiente é fundamental para a compreensão do desenvolvimento da sociedade. Isso porque, a história do saneamento, ao longo dos anos, traça um panorama que espelha a evolução social, delineando o esforço da humanidade para aprimorar a saúde e a qualidade de vida, mediante a gestão eficaz de detritos e a garantia de acesso à água potável (Soares et al. 2002).

Durante o século V a.C, a civilização grega se destacou por promover avanços na medicina, especialmente no campo da abordagem racional e preventiva. Nesse período, Hipócrates, em sua obra "Dos Ares, Das Águas e Dos Lugares", foi pioneiro ao sugerir que as causas das doenças não eram intrínsecas à pessoa nem determinadas por desígnios divinos, mas que estavam relacionadas às características do ambiente em que viviam (Ribeiro, 2004).

O Império Romano, por sua vez, adotou as ideias gregas sobre saúde em relação ao ambiente e as enriqueceu com conhecimentos em engenharia, resultando na implementação de sistemas de coleta de esgoto e redes de abastecimento de água em Roma no século II d.C (Ribeiro, 2004). No entanto, com o declínio dessas civilizações, muitos desses avanços foram perdidos, e o saneamento básico retrocedeu em grande parte do mundo (Lofrano; Bronw, 2010).

Percebe-se que desde os primórdios da Saúde Pública, as preocupações com a problemática ambiental sempre estiveram presentes, embora apenas na segunda metade do século XX que uma área específica foi estruturada para lidar com tais questões (Ribeiro, 2004).

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 assegura o direito à saúde e a um meio ambiente ecologicamente equilibrado (Brasil, 1988). A saúde é reconhecida como um direito de todos e um dever do Estado, garantido por meio de políticas sociais e econômicas que visam reduzir o risco de doenças e promover o acesso universal aos serviços de saúde. Nesse sentido, o Sistema Único de Saúde (SUS) tem a responsabilidade de contribuir para a formulação de políticas e a execução de ações relacionadas ao saneamento básico, bem como colaborar na proteção do meio ambiente (Brasil, 1988).

Já o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito de todos e de uso comum, sendo dever de todos defendê-lo e preservá-lo. Assim, a Constituição

Federal de 1988 também estabelece que a proteção do meio ambiente e a promoção de programas de melhoria das condições de saneamento básico são de responsabilidade do Estado (Brasil, 1988, Artigo 225).

A interconexão entre saúde e meio ambiente, foi nomeada de Saúde Ambiental, que de acordo com Organização Mundial da Saúde, foi definida como:

“(...) todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente. Também se refere à teoria e prática de valorar, corrigir, controlar e evitar aqueles fatores do meio ambiente que, potencialmente, possam prejudicar a saúde de gerações atuais e futuras” (OMS, 1999).

Assim, as preocupações com os problemas ambientais e sua relação com a saúde humana ganharam maior destaque no Brasil ao longo dos anos. Mesmo assim, o cenário ainda é muito preocupante, são cerca de 35 milhões de pessoas sem acesso à água potável, e mais de 100 milhões de pessoas que enfrentam a falta de coleta e tratamento de esgoto. Resultando em mais de 6 mil metros cúbicos de esgoto despejados no meio ambiente diariamente sem tratamento adequado (DATASUS, 2021).

Pesquisas recentes destacam o impacto dos serviços de saneamento básico no Brasil, incluindo a avaliação da distribuição de água, sistemas de drenagem, coleta de esgoto e manejo de resíduos sólidos, sobre a saúde da população. Santos et al. (2021) examinaram a relação entre a cobertura dos serviços de saneamento básico e os custos das internações hospitalares por doenças relacionadas à água na Região Nordeste do Brasil, utilizando um modelo de regressão com base em dados secundários do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), dentre os principais resultados, obteve-se que o aumento em 1 ponto percentual do acesso a esgotamento sanitário diminui os custos das internações do Sistema Único de Saúde (SUS) em 3,52%.

Dentre as doenças transmitidas pela água, destacam-se a diarreia, cuja rota de contaminação é fecal-oral e envolve agentes infecciosos como bactérias, vírus e protozoários. Outros exemplos incluem a esquistossomose, transmitida pelo contato direto com água contaminada por larvas que utilizam caramujos como hospedeiros, e a salmonella, responsável por doenças gastrointestinais. Além disso, há vírus, como os da poliomielite e das hepatites, que também são muito preocupantes (Uhr et al. 2016).

Assim, a falta de saneamento básico também sobrecarrega o sistema de saúde do Brasil, de acordo com dados divulgados pelo Ministério da Saúde e pela Revista Brasileira de Meio Ambiente, cada R\$ 1,00 investido no setor de saneamento resulta em uma economia de R\$ 4,00 na área da medicina curativa (BRASIL, 2006, p. 41). É nesse contexto que Santos (2021), ressalta que promover a saúde pública envolve a implementação de políticas que abordem e resolvam questões sociais, ambientais e econômicas com um impacto direto na saúde da população.

Uhr et al. (2016) ainda destaca que essas doenças de veiculação hídrica, transmitidas principalmente pela água contaminada, representam um problema ainda bastante frequente em países em desenvolvimento. As crianças e jovens são os mais afetados por esse cenário, enfrentando um comprometimento em seu desenvolvimento físico e intelectual devido a endemias como diarreia crônica e desnutrição.

Portanto, o entendimento de que o saneamento básico representa uma medida preventiva de saúde é um pressuposto essencial, pois se traduz em um investimento na saúde que gera impactos positivos em diversos aspectos socioeconômicos. A falta de condições sanitárias apropriadas pode propiciar a população a exposição de fatores de risco ambiental, prejudicando significativamente a qualidade de vida das pessoas. Assim, a universalização do saneamento resulta em custos reduzidos, permitindo a realocação de recursos para outras áreas prioritárias, o que contribui para uma gestão mais eficiente de todos os serviços (Santos et. al. 2021).

Dessa forma, percebe-se que a “visão sistêmica” entre saneamento e saúde vem sendo compreendida desde as civilizações antigas, nas quais melhores condições de saneamento refletem melhor qualidade de vida da população, sendo assim, o saneamento, um direito básico de necessidade urgente.

## 2.2 SERVIÇOS DE INFRAESTRUTURA SANITÁRIA

A origem da palavra "saneamento" provém do termo "sanear", derivado do latim "sanu", que carrega a ideia de tornar saudável, higienizar e limpar. Dessa forma, é possível conceituar o saneamento como um conjunto de medidas com o propósito de conservar o ambiente, prevenir certas enfermidades e também

fomentar a expansão e o aprimoramento das condições de saúde pública (Silva, 2015).

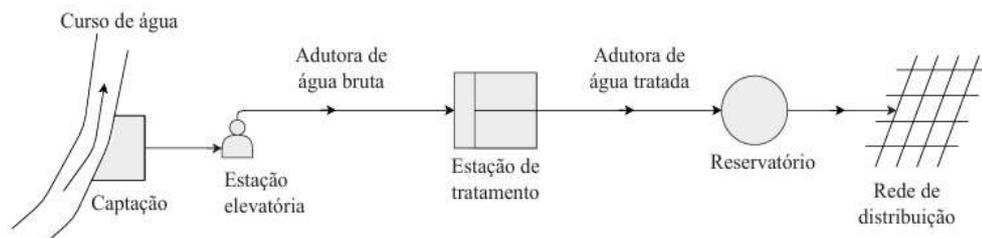
De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), estabelecida pela Lei Federal n. 11.445/2007, em seu artigo terceiro, inciso I, considera que saneamento básico é um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais que englobam: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem, manejo das águas pluviais urbanas e manejo de resíduos sólidos.

### 2.2.1 Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento (SAA) consiste na retirada de água de um corpo hídrico para que seja fornecida à população em quantidade e qualidade adequada para o atendimento das suas necessidades. Conforme ilustrado na Figura 1, o SAA envolve o manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório e rede de distribuição (Tsutiya, 2014).

Compreender a origem e o destino dos recursos é importante, já que o sistema deve ser bem planejado, construído, operado, mantido e conservado, para que a água não se torne veículo de transmissão de doenças e para que seus custos se mantenham em equilíbrio.

Figura 1. Partes de um sistema convencional de abastecimento de água.



Fonte: Tsutiya (2014).

Esse sistema pode ser construído em estruturas centralizadas ou descentralizadas. Quando operados de forma centralizada, os serviços são de responsabilidade do Estado, Município ou empresa. Quanto ao descentralizados os serviços são operacionalizados em menor escala. Segundo Ferreira (2022), a compreensão da interação desse sistema é importante para a tomada de decisão, pois influencia e interage com os demais sistemas sanitários.

O manancial, seja ele superficial ou subterrâneo, é a fonte primária de onde a água é extraída para o abastecimento. A captação requer uma análise das estruturas e dispositivos específicos para retirada de água do manancial a ser utilizado. Posteriormente, a água é bombeada para a próxima unidade através de uma estação elevatória, seja ela água bruta ou já tratada. A condução entre essas unidades é feita por meio de uma adutora, que pode transportar água (Tsutiya, 2014; Netto, Fernandez, 2015).

A estação de tratamento de água (ETA) é responsável por garantir que a água atenda aos padrões de qualidade necessários para o consumo humano, considerando aspectos físicos, químicos e biológicos. O processo de tratamento depende das características do manancial e dos padrões de potabilidade exigidos (Netto, Fernandez, 2015), conforme definido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.

O reservatório tem a função de regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição, mantendo as pressões adequadas na rede de distribuição. Essa rede é composta por tubulações e acessórios que garantem o fornecimento contínuo de água potável aos usuários, atendendo às exigências de quantidade e pressão recomendada (Tsutiya, 2014).

### 2.2.2 Sistema de Esgotamento Sanitário

O Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) tem como objetivo coletar, transportar, tratar e dispor de forma adequada o esgoto sanitário gerado pelos usuários. Assim como no Sistema de Abastecimento de Água (SAA), o SES pode ter estruturas centralizadas ou descentralizadas.

Esgoto sanitário doméstico são todos despejos de bacias sanitárias, banheiras, cozinhas, lavanderias, chuveiros e ralos de pisos internos de um domicílio. Nas estruturas centralizadas, o SES pode ser separador absoluto, incluindo apenas esgoto sanitário, ou sistema unitário, que também trata águas pluviais. Nas estruturas descentralizadas, o SES é implantado em escala de lote, utilizando tecnologias como tanque séptico, vala de infiltração, filtro anaeróbio, sumidouro e wetlands. Assim, o SES separador absoluto pode ser convencional ou condominial, sendo o primeiro projetado em escala de bacia ou cidade, enquanto o segundo opera em escala de vizinhança (Carneiro, 2018).

As partes constituintes do SES convencional incluem ligações prediais, rede coletora, emissário, Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e o corpo receptor (Figura 2). A ETE é responsável por reduzir as cargas poluidoras do esgoto sanitário e tratar a matéria residual resultante, conhecida como lodo (Nuvolari, 2011).

Figura 2. Perfil de uma rede coletora de esgoto.



Fonte: Tsutiya (2014).

Os sistemas de tratamento de esgoto podem ser estruturados em três níveis distintos: primário, secundário e terciário. No estágio primário, são eliminados sólidos sedimentáveis e suspensos. Já no estágio secundário, ocorre a depuração de matéria orgânica biodegradável, sólidos em suspensão e agentes patogênicos. Por fim, o nível terciário engloba a remoção de nutrientes, compostos não biodegradáveis, poluentes específicos e metais pesados (Nuvolari, 2011).

Do ponto de vista técnico, uma variedade de alternativas de tratamento de esgoto está disponível, abrangendo desde sistemas mais complexos até os mais simples, cada um com suas características operacionais, requisitos de manutenção e eficácia de tratamento distintos. Apesar das melhorias recentes nas condições sanitárias, particularmente no tratamento de águas residuais, a implementação de sistemas de tratamento adequados continua sendo um desafio significativo (Carneiro, 2018).

Para enfrentar a escassez de instalações sanitárias apropriadas, os sistemas individuais ou descentralizados emergem como uma opção economicamente viável para a gestão sustentável de esgoto. Esses sistemas podem ser classificados, de acordo com Carneiro (2018), em hídricos e não hídricos. Os sistemas não hídricos incluem os conhecidos banheiros secos (termofílicos), enquanto os sistemas hídricos compreendem fossas sépticas, filtros aeróbios, filtros anaeróbios, valas de infiltração e reatores em batelada sequencial. Cada tecnologia pode ser configurada

de diferentes formas e até mesmo utilizada em combinação com outras. Além disso, os sistemas individuais podem ser classificados como tradicionais ou alternativos.

### 2.2.3 Sistema de Drenagem Urbana

A função primordial do Sistema de Drenagem Urbana (SDU) consiste em garantir o escoamento adequado das águas pluviais para o corpo receptor. Este serviço está intimamente ligado à ocorrência de chuvas e ao tipo de uso do solo, uma vez que influencia diretamente na capacidade de infiltração da água. As estratégias de controle na drenagem urbana podem ser classificadas em estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais englobam a implementação de obras físicas destinadas a conter, reter ou otimizar o fluxo de escoamento, utilizando construções como barragens, diques e canalizações. Por outro lado, as medidas não estruturais incluem o zoneamento de áreas suscetíveis a inundações, previsão de cheias e diversas legislações pertinentes ao tema (Lobato, 2020).

As estratégias estruturais podem ser ainda subdivididas em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem tem início nas próprias edificações, englobando coletores pluviais, sarjetas, bueiros e galerias. Por sua vez, a macrodrenagem atua em uma escala mais ampla, abrangendo toda uma bacia hidrográfica, o que demanda o conhecimento detalhado de sua área, ocupação, cobertura vegetal, padrões de escoamento, topografia e cursos d'água urbanos (Tucci, 2012).

Além disso, o sistema de drenagem pode ser constituído através de duas abordagens principais: a tradicional e, ou, a abordagem da sustentabilidade. No primeiro, é prevista a instalação de sistemas de drenagem de águas pluviais com objeto o escoamento rápido das águas para os fundos de vale, evitando assim empoçamentos e enchentes nas áreas urbanas. Já com os princípios de uma abordagem de sustentabilidade, busca-se retardar o escoamento superficial para aumentar o tempo de concentração e reduzir a vazão de enchentes. Para alcançar esse objetivo, são implementadas medidas que controlam a entrada de água pluvial nas galerias, promovem a infiltração e favorecem a detenção e retenção em reservatórios, retardam o escoamento em rios e córregos, e desviam os fluxos, contribuindo assim para o prolongamento do tempo de concentração (Tucci, 2012; Richter, 2020).

Conforme destacado por Tucci (2012), a revitalização de bacias hidrográficas tem como objetivo restaurar a relação entre os recursos hídricos e o ambiente urbano, assegurando condições para os diversos usos da água. Nesse contexto, compreender o funcionamento dos sistemas de gestão de águas urbanas das zonas costeiras é importante para avaliar sua mútua influência, durante a trajetória da água no meio urbano, tanto em sua forma natural quanto entre os sistemas.

#### 2.2.4 Sistema de Resíduos Sólidos

O saneamento básico representa um conjunto de serviços essenciais para a saúde pública e o desenvolvimento socioambiental de uma comunidade. Entre seus componentes, a gestão adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) se destaca como um grande desafio a ser superado.

A rápida urbanização e o consumo crescente geram um aumento exponencial na quantidade de RSU, compostos por materiais descartados pelas atividades humanas, como restos de alimentos, embalagens, materiais de construção e eletrodomésticos. A destinação inadequada desses resíduos pode acarretar uma série de problemas ambientais e de saúde pública, como: contaminação do solo e da água, proliferação de vetores de doenças como febre amarela, dengue, toxoplasmose, leishmaniose e febre tifoide (Silva, 2015).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos abrange um conjunto de ações destinadas a encontrar soluções para os resíduos sólidos, levando em conta as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável. Já o Gerenciamento de Resíduos Sólidos envolve uma série de ações realizadas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final correta dos rejeitos. Essas ações devem seguir o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou o plano de gerenciamento de resíduos sólidos, conforme exigido pela Lei (Kawatoko, 2015).

A gestão adequada de RSU é fundamental para minimizar os impactos negativos desses resíduos e promover um ambiente mais saudável e sustentável. Isso inclui medidas como coleta seletiva com a separação de resíduos em diferentes categorias. A reciclagem do material, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais. A compostagem, transformação de resíduos orgânicos em adubo,

que pode ser utilizado na agricultura e jardinagem. E por fim, uma destinação final adequada, com tratamentos alternativos dos resíduos, evitando a contaminação do meio ambiente.

### 2.3 LEIS, POLÍTICAS NACIONAIS E DIRETRIZES BRASILEIRAS

A Constituição Federal de 1988 do Brasil representou um marco fundamental para a proteção do meio ambiente, consagrando pela primeira vez, em nível constitucional, a responsabilidade do Estado e da sociedade na preservação ambiental. No seu artigo 225, a Constituição estabelece que "todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida", impondo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Bonifácio, Santos 2020).

Assim, a Carta Magna abriu caminho a leis, políticas nacionais e diretrizes em relação ao cuidado com o meio ambiente. A questão do saneamento básico foi regulamentada pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais e cria o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), estabelecendo os princípios fundamentais para o saneamento básico, como a universalização do acesso, a integralidade dos serviços, a adoção de tecnologias apropriadas, a eficiência e sustentabilidade econômica (Brasil, 2009).

O novo marco legal do saneamento básico, instituído pela Lei nº 14.026 em 15 de julho de 2020, promove uma série de mudanças significativas com o objetivo de modernizar e ampliar a prestação dos serviços de saneamento no Brasil. Entre as principais alterações, destacam-se: universalização dos serviços de água e esgoto até 31 de dezembro de 2033, conferência da regulação setorial, por intermédio das normas de referência, a serem editadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), além de ditar regras para que os convênios sejam celebrados com transparência, prazos e metas (Gadelha *et al.*, 2021).

Já a gestão de águas urbanas é abordada pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Esta política estabelece os princípios, diretrizes e instrumentos para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, incluindo a gestão das águas em áreas urbanas, visando à proteção e ao uso racional dos mananciais e à prevenção de enchentes e inundações. No qual, a bacia hidrográfica, é a unidade territorial ideal para a gestão

dos recursos hídricos, permitindo que as ações sejam planejadas e implementadas de forma a atender às necessidades específicas de cada região (Ferreira, 2006).

O Brasil possui uma costa litorânea de grande importância no contexto nacional. A Constituição Federal reconheceu essa relevância, classificando a costa como "patrimônio nacional". Consequentemente, a área passou a ser regida por duas políticas distintas: a Política Nacional para os Recursos do Mar e a Política Nacional do Meio Ambiente. Ao contrário da política de gestão de recursos hídricos, estabelecida pela lei 9.433/97, que utiliza a bacia hidrográfica como unidade de gestão, a gestão costeira utiliza o município como base para o planejamento físico-territorial. Esse enfoque se dedica tanto ao gerenciamento dos recursos marinhos quanto à proteção dos ecossistemas (Perez, 2008; Cavalcante, Aloufa, 2018) destaca que o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) foi implementado para o planejamento integrado da utilização de tais recursos, visando o ordenamento da ocupação dos espaços litorâneos.

Diante desse cenário, também foram implementadas medidas de conservação ambiental para preservação do meio ambiente durante o processo de expansão urbana e, em certos casos, para facilitar a harmoniosa interação entre a sociedade e o ecossistema. As Unidades de Conservação (UCs), representam uma dessas estratégias, definidas como espaços territoriais e seus recursos naturais de importância relevante, estabelecidos com o propósito específico de conservação e preservação (BRASIL, 2000).

O Brasil dispõe do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Esse sistema estabelece as categorias de unidades de conservação, os critérios para sua criação, gestão e manejo, categorizando as UCs em dois grupos distintos: proteção integral e uso sustentável.

As UCs de proteção integral têm como objetivo primordial a preservação da natureza, vedando-se qualquer forma de consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais. A modalidade é composta pelas seguintes categorias de unidade de conservação: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; Refúgio de Vida Silvestre (BRASIL, 2000).

Já as UCs de uso sustentável têm como objetivo conciliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. O grupo das

Unidades de Conservação de Uso Sustentável compreende as seguintes categorias de UC: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; e Reserva de Desenvolvimento Sustentável (BRASIL, 2000).

Essas unidades desempenham um papel fundamental na proteção da biodiversidade, na preservação de ecossistemas frágeis e na manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais para a sociedade, como a regulação do clima, a produção de água e a manutenção da qualidade do solo. Além disso, as UCs contribuem para o desenvolvimento do ecoturismo e da educação ambiental, promovendo a conscientização sobre a importância da conservação da natureza e proporcionando oportunidades para a realização de atividades recreativas e de lazer em contato direto com o ambiente natural (Brandon *et al.* 2005).

Essas legislações, políticas públicas e diretrizes evidenciam o compromisso do Brasil com a gestão sustentável dos recursos naturais, buscando o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e preservação ambiental em diferentes contextos urbanos e naturais.

## 2.4 GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS

À medida que o ser humano avança em seu processo de desenvolvimento, ele gradualmente interfere no ciclo hidrológico natural, composto por uma interação complexa de processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem se insere nesse sistema e ocupa o espaço, suas atividades provocam alterações que impactam profundamente tanto nas comunidades quanto no meio ambiente (Tucci, 2003).

O ciclo hidrológico natural é impulsionado pela ação da gravidade e pela energia solar. A precipitação da água acumulada na atmosfera, pode se manifestar como chuva, granizo ou orvalho. Durante o percurso em direção à superfície, parte da água precipitada evapora. Na terra firme, a água pode seguir diferentes caminhos: infiltrar-se no solo e percolar, formando aquíferos ou alimentando lençóis freáticos e corpos d'água. Pode fluir superficialmente quando o solo está saturado, ser interceptada pela vegetação ou outros elementos naturais, congelar, evaporar ou sofrer evapotranspiração, retornando assim à atmosfera (Tucci, 1995).

A interferência humana no ambiente natural, com construções, pavimentação, modificações no relevo e canalização de rios, altera significativamente esse ciclo,

reduzindo a capacidade de infiltração do solo e aumentando o escoamento superficial. Além disso, a instalação de sistemas de drenagem pluvial acelera o escoamento da água, antes retida pelo solo e pelas plantas, agora canalizada, o que reduz o tempo de deslocamento e antecipa o pico do escoamento, modificando o padrão hidrológico (Tucci, 1995).

Esses fatores, aliados às condições climáticas, podem aumentar os picos de vazão máxima, colocando em risco a segurança da população. Além disso, essas alterações têm impactos diretos na disponibilidade e qualidade da água, afetando não apenas o abastecimento urbano, mas também a saúde dos ecossistemas aquáticos e a biodiversidade (Tucci, 2008).

A urbanização desenfreada tem causado intensas modificações no meio ambiente, sobretudo nos recursos hídricos e no ciclo hidrológico, sendo um dos principais fatores desse problema a falta de planejamento e a gestão inadequada das águas urbanas (Moura, 2019).

Diante desse cenário, os recursos hídricos são frequentemente temas centrais de discussões, uma vez que, quando não gerenciados de forma eficiente, podem ocasionar impactos negativos ao ambiente, à economia e à saúde humana (Andrade et al. 2018). A gestão das águas urbanas, por sua vez, desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos da urbanização no ciclo hidrológico.

Os impactos observados na qualidade da água resultam de uma série abrangente de fatores que variam de acordo com o uso do solo, ocupação e condições meteorológicas locais. Diferentes zonas urbanas, industriais, costeiras, residenciais e rurais influenciam os recursos hídricos de maneira distinta. A maneira como a poluição afeta os corpos d'água também difere, sendo classificada em duas categorias: fontes pontuais e difusas de poluição. As fontes pontuais incluem descargas de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico e industrial, bem como afluentes diretos em um curso d'água principal. Já as fontes difusas compreendem várias formas de contribuição para os corpos d'água, principalmente através do escoamento superficial durante períodos de chuva. Essas contribuições incluem cargas de nitrogênio e fósforo provenientes do uso de fertilizantes e resíduos orgânicos de animais, tanto em ambientes urbanos quanto rurais, além dos resíduos gerados pelo intenso tráfego, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas (Tomaz, 2006).

A análise dos impactos ambientais nas áreas urbanas é essencial para o planejamento, desenvolvimento e ordenamento das cidades. O modelo de desenvolvimento adotado, que enfatiza a exploração dos recursos naturais, tem levado a uma demanda crescente por esses recursos e por espaço físico, resultando na ocupação desordenada e sem planejamento de áreas que deveriam ser protegidas, como as margens de córregos e rios (Lira, Candido, 2013). Isso acarreta uma série de problemas ambientais urbanos, incluindo inundações, propagação de doenças transmitidas pela água, descarga de resíduos nos corpos d'água, deslizamentos de terra, enchentes e aumento do escoamento superficial, entre outros.

#### 2.4.1 Gestão de águas costeiras

Os ambientes costeiros são historicamente alvo do interesse humano, buscando explorar e ocupar as terras próximas ao mar. Segundo dados do IBGE 2022, mais da metade da população brasileira vive próximo do litoral, sendo aproximadamente 111,2 milhões de pessoas, de um total de 203,8 milhões, morando a uma distância máxima de 150 quilômetros da costa do mar.

As áreas costeiras, apesar de sua aparente simplicidade visual, demandam reflexões tão complexas quanto, ou até mais, do que as áreas interiores, dadas as questões críticas relacionadas às variações do nível do mar, do clima e da vegetação (Belchior, 2008).

A diversidade significativa dos ambientes na Zona Costeira brasileira abrange ecossistemas extremamente delicados, enfrentando um processo acelerado de degradação devido à ocupação contínua desses espaços. Entre esses ambientes estão recifes e corais, praias, manguezais e marismas, campos de dunas e falésias, baías, estuários, e planícies intermarés (Cavalcante, Aloufa, 2010). O intenso processo de urbanização, o frágil planejamento urbano e as carências de saneamento básico impactam diretamente esses ambientes, transformando a paisagem e intensificando a poluição do solo, da água e do ar, e conseqüentemente, diminuindo a saúde ambiental dos ambientes costeiros (Horta *et al.*, 2020).

A Zona Costeira brasileira, rica em diversidade ambiental, enfrenta desafios consideráveis devido à crescente ocupação e exploração dessas áreas frágeis. A valorização cultural das regiões litorâneas como destinos turísticos tem impulsionado

o desenvolvimento de uma ocupação urbana em resposta à demanda por lazer e recreação.

Lobato (2020), afirma que a gestão dos recursos hídricos nas áreas urbanas continua a ser um paradigma que engloba o abastecimento de água, o tratamento de esgoto e o manejo das águas pluviais. Essa abordagem de gestão está firmemente arraigada nos métodos administrativos, isso porque alguns gestores defendem essa divisão, argumentando que cada sistema possui complexidades distintas e é singular em sua essência. No entanto, outros reconhecem que essa separação resulta em soluções subótimas tanto para a comunidade quanto para o meio ambiente.

#### 2.4.2 Planejamento estratégico

O planejamento e a adaptação da infraestrutura sanitária para lidar com novos fluxos demandam um alto investimento de recursos financeiros e tempo. No passado, tais decisões não eram tão cruciais, pois a taxa de mudança dos padrões de fluxo era baixa em comparação com a vida útil dos sistemas existentes, que continuavam a ser eficazes a longo prazo (Gersonius *et al.*, 2012).

Atualmente, o planejamento e a gestão do espaço urbano continuam a ser conduzidos de forma linear e mecanicista, caracterizados por uma abordagem fragmentada e uma comunicação deficiente entre os diversos agentes, políticas e processos envolvidos. Esse modelo de pensamento contrasta com a natureza intrinsecamente complexa e não linear do fenômeno urbano (Santos, 2010).

De acordo com Maheepala *et al.* (2010), para que o gerenciamento das águas urbanas seja verdadeiramente sustentável, é essencial uma integração entre os diversos aspectos dos ciclos da água e seus impactos. Nesse sentido, é crucial que o setor de abastecimento de água se alinhe com os setores de tratamento de efluentes, manejo de águas pluviais, meio ambiente e planejamento urbano, buscando maneiras práticas e sustentáveis de suprir e controlar as demandas, sem comprometer as necessidades das gerações futuras.

Além disso, Polidori (2005) destaca que não só os aspectos técnicos, mas também as demandas e preocupações das comunidades locais devem ser levadas em consideração. A participação pública desempenha um papel crucial na conscientização sobre a importância da preservação dos recursos hídricos e na promoção de práticas sustentáveis.

Assim, a mudança acelerada na paisagem urbana é um desafio complexo que envolve mudanças climáticas, rápido crescimento populacional e a necessidade de infraestruturas sustentáveis, reforçam a urgência de uma mudança na abordagem da gestão dos recursos hídricos.

#### 2.4.3 Influência das mudanças climáticas

As mudanças climáticas representam uma das mais graves ameaças atuais à sustentabilidade do planeta. O aumento das temperaturas, a intensificação de eventos climáticos extremos e as mudanças nos padrões atmosféricos demonstram a complexidade desse fenômeno. A elevação nas concentrações de gases de efeito estufa, originada das atividades humanas, é identificada como o principal motor dessas alterações (Pitman et. al, 2015).

As mudanças climáticas ligadas às emissões de gases de efeito estufa (GEE), reforçam a necessidade urgente de adaptação das áreas urbanas, onde se concentra a maior parte da população mundial. As previsões de impactos ambientais sobre a infraestrutura urbana, como o aumento generalizado na intensidade e frequência de chuvas extremas, demandam tecnologias mais sustentáveis que possam atenuar o problema e tornar os centros urbanos mais resilientes.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC, tem um papel fundamental na coleta e divulgação de informações essenciais sobre o tema. Os relatórios IPCC destacam a seriedade das mudanças climáticas e seus impactos sobre a temperatura global. Conforme o relatório mais recente, a temperatura média do planeta já aumentou cerca de 1,1 °C desde o período pré-industrial, sendo que grande parte desse aquecimento ocorreu nas últimas décadas. O IPCC projeta que, sem uma diminuição significativa nas emissões de gases de efeito estufa, o aquecimento global poderá ultrapassar 1,5 °C entre 2030 e 2052. Esse limite é particularmente relevante, pois, de acordo com o IPCC, cada fração de grau adicional aumenta substancialmente o risco de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas, incêndios florestais e tempestades mais intensas (IPCC, MUDANÇA DO CLIMA 2023).

O aumento das temperaturas interfere diretamente no ciclo hidrológico. Com o calor, a evaporação se intensifica, alterando os padrões de precipitação e intensificando a variabilidade climática. Isso resulta em períodos de seca mais longos e intensos, alternados com eventos de chuva extrema. O IPCC também

alerta que o aquecimento dos oceanos, responsável por grande parte do calor acumulado na Terra, está contribuindo para o derretimento de geleiras e a elevação do nível do mar, ameaçando áreas costeiras e elevando o risco de inundações em regiões baixas.

Segundo Moura et. al (2015), essas projeções ressaltam a necessidade urgente de adaptações e ações de mitigação para enfrentar os impactos das mudanças climáticas, que já são perceptíveis e tendem a se intensificar nos próximos anos. Assim, as mudanças climáticas impõem novos desafios ao planejamento de gestão hídrica e de infraestrutura sanitária, exigindo uma adaptação contínua para lidar com as consequências de um clima mais extremo e imprevisível. O aumento das temperaturas e a alteração nos padrões de chuva impactam diretamente a disponibilidade de água, a integridade das infraestruturas de saneamento e os sistemas de drenagem, exigindo abordagens integradas e resilientes.

#### 2.4.4 Ferramentas de gestão de recursos hídricos

Para promover o uso sustentável da água no ciclo urbano, é necessário adotar uma abordagem sistêmica, unificada e colaborativa para assegurar a sustentabilidade urbana e a proteção dos recursos hídricos. A gestão urbana eficaz é fundamental para mitigar esses efeitos e fomentar o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis no futuro.

Atualmente, a engenharia urbana tende a produzir soluções técnicas isoladas e não sistêmicas para os desafios urbanos relacionados à água. Essa abordagem fragmentada dificulta significativamente a garantia de um nível desejado de sustentabilidade no planejamento e gestão do uso urbano da água (Richter *et al.*, 2020).

Diversas variáveis estão envolvidas e muitas relações podem se estabelecer entre elas, configurando um cenário complexo que exige múltiplas abordagens. Uma abordagem destacada é a gestão integrada das águas urbanas, que vê o ciclo da água no ambiente urbano como um sistema complexo, busca o alinhamento entre o desenvolvimento urbano e a gestão da bacia para alcançar objetivos econômicos, sociais e ambientais sustentáveis, reunindo o abastecimento de água, a gestão de águas residuais e de águas pluviais e os integrando com o planejamento da ocupação do solo e o desenvolvimento econômico (Bahri, 2012).

Como uma forma de auxiliar nesses diversos desafios que envolvem a gestão da água, surgiram ferramentas e modelos de apoio à decisão, como o WaterMet2 e a UWU (Urban Water Utilization). Essas ferramentas representam um avanço significativo no planejamento estratégico dos desenvolvimentos urbanos existentes e futuros, facilitando a avaliação integrada do desempenho dos sistemas de abastecimento de água, esgoto e drenagem urbana, bem como de suas interações com o meio ambiente (Richter, 2020).

O modelo WaterMet2, desenvolvido por Behzadian e Kapelan (2015), é uma simulação baseada no balanço de massa que quantifica o metabolismo relacionado ao desempenho de sistemas de águas urbanas, com foco na sustentabilidade. Tal modelo implica em processos e componentes de qualquer tipo de fluxo de água, permitindo quantificar uma série de indicadores relacionados ao desempenho, risco e custo ao longo de algum horizonte de planejamento.

Por sua vez, o modelo UWU foi inicialmente desenvolvido como uma ferramenta educacional para criar soluções de gestão da água em áreas urbanas. O UWU, que será a ferramenta utilizada no desenvolvimento do trabalho, funciona através do planejamento, implementação de estratégias e um sistema de avaliação que visa atender todos os agentes do sistema de água urbana.

Destro (2016) destaca essa ferramenta como uma forma de avaliar e hierarquizar um conjunto de medidas para áreas urbanas, considerando sistemas de abastecimento de água (SAA), sistemas de esgoto (SES), sistemas de drenagem urbana (SDU) e edificações, utilizando o planejamento estratégico como base.

## 2.5 ILHA DO MEL - PR

A ilha do Mel está localizada no Litoral do Estado do Paraná, no complexo estuário da Baía de Paranaguá na latitude de 25°30'S e na longitude de 48°20'W, com uma área de aproximadamente 28 km<sup>2</sup> é pertencente ao município de Paranaguá.

Figura 3. Vista superior da Ilha do Mel - PR.



Fonte: Fotografia de Zig Koch (2005).

A Ilha do Mel é um local representado por riquezas naturais e culturais, no qual as áreas de ocupação humana estão em zonas de amortecimento entre duas Unidades de Conservação: a Estação Ecológica da Ilha do Mel (EEIM) e o Parque Estadual da Ilha do Mel (PEIM), conforme Figura 4.

A Estação Ecológica da Ilha do Mel, criada em 1982 pelo Decreto Estadual nº 5.454, abrange 22,41 km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 83% da ilha, com objetivo de proteger feições singulares do litoral paranaense. A Estação compõe a Unidade de Conservação de preservação integral que é admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais e pesquisas científicas, compreendendo áreas pouco alteradas que resguardam características primitivas, principalmente da vegetação de restinga, manguezal e de Floresta Ombrófila de Terras Baixas.

O Parque Estadual tem 3,37 km<sup>2</sup>, regulamentada pelo decreto 5.506 de 21 de março de 2002, representa 12% da área total da Ilha e tem como objetivo a preservação e reconstituição dos seus ambientes naturais. Essa unidade de conservação é de uso sustentável, sendo admitido a visitação pública, programas de educação ambiental e lazer.

Figura 4. Ilustração da localização da Ilha do Mel.



Fonte: Portal da Ilha do Mel (2018).

A Ilha do Mel foi até a década de 1970 uma ocupação de baixa densidade, marcada por construções simples e habitada por pescadores locais. Tradicionalmente ocupada por pescadores e antigos habitantes, a Ilha experimentou nas últimas décadas um influxo de imigrantes impulsionado pela atividade turística. Essa mudança gerou profundas modificações socioambientais e econômicas.

O sistema natural já sofre os impactos de uma ocupação desordenada, como erosão nos caminhos, contaminação do lençol freático e degradação da paisagem nas áreas ocupadas. Além disso, a intervenção de várias instâncias governamentais na administração da Ilha e a profusão de leis e normas resultam em um sistema de gestão que precisa ser aprimorado para enfrentar os novos desafios.

As áreas de ocupação mais relevantes da ilha, em termos de número de habitantes, edificações e desenvolvimento turístico, são Encantadas e Nova Brasília. Notavelmente, todas essas áreas se concentram em cerca de 5% do território total da ilha.

#### 2.5.1 Aspectos sociais

A Ilha do Mel faz parte do território do Município de Paranaguá, mas devido suas características naturais e históricas, a responsabilidade pelo seu gerenciamento está sob as três instâncias governamentais, representadas principalmente pela Secretaria do Patrimônio da União, Instituto Água e Terra, Secretaria do Estado de Cultura e Prefeitura Municipal de Paranaguá.

Ao Norte, encontra-se a Comunidade de Brasília, que também serve como ponto de embarque e desembarque de turistas. Essa área possui infraestrutura urbana, incluindo mercado, igreja, escola, pousadas, restaurantes e um campo de futebol. A região enfrenta o avanço do mar, que provoca a perda de território e leva alguns moradores a perderem suas casas e terrenos.

A Comunidade de Ponta Oeste foi a mais impactada pelas restrições legais estabelecidas desde a criação da Estação Ecológica. Até a década de 1980, era a maior comunidade da Ilha, mas atualmente sua população está reduzida a apenas vinte e quatro famílias que têm como principal fonte de renda a pesca e o cultivo de ostras. O esvaziamento da Ponta Oeste ocorreu em função da dificuldade de acesso, da falta de infraestrutura e da queda da atividade de pesca, uma vez que a comunidade está na divisa da Estação Ecológica. Não há infraestrutura adequada, há uma escola desativada, a qual a comunidade está tentando reabrir para ministrar

cursos ou desenvolver projetos de interesse dos moradores e não há postos de saúde na região.

A Comunidade de Encantadas, localizada ao sul, na menor porção da Ilha, essa comunidade também serve como ponto de embarque e desembarque de turistas. Em relação às atividades e as ocupações na Ilha, em Encantadas o turismo é a principal fonte de renda. Há infraestrutura para atendimento dos turistas, como pousadas, restaurantes, mercado, escola e campo de futebol. Encantadas enfrenta diversos problemas, incluindo a ocupação irregular de áreas de preservação.

Dessa forma, estima-se que a população residente da Ilha do Mel, seja de aproximadamente 1.650 moradores (IBGE, 2020).

### 2.5.2 Aspectos físicos

A Ilha do Mel é uma formação geológica constituída por sedimentos arenosos reunidos pelo movimento do mar nos últimos 120.000 anos. Está sujeita à erosão marinha e deposição de sedimentos, com intensidade variável, em vários pontos da costa (Mineropar, 2009).

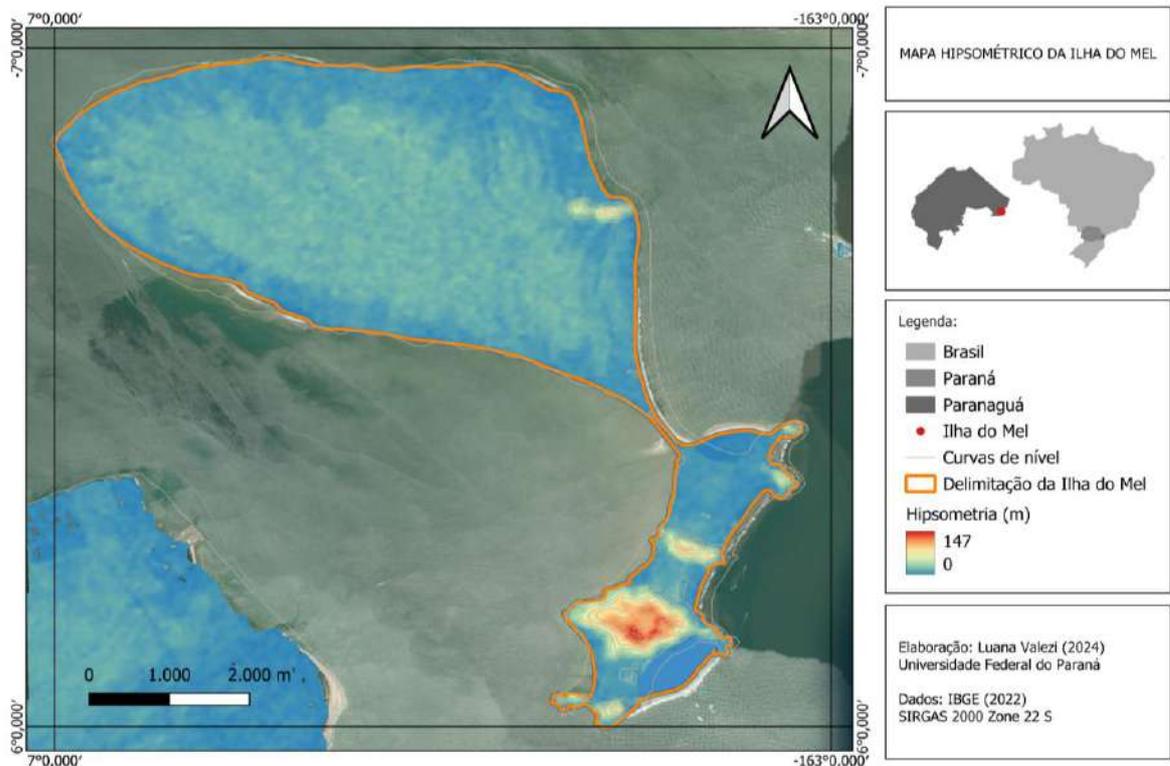
Conforme o sistema de Classificação da vegetação brasileira proposto por Veloso et al. (1991), a Ilha do Mel apresenta formações de Sistema Edáfico de Primeira Ocupação, com Floresta Ombrófila Densa Submontana, abrigando diversos ecossistemas, dentre os quais são caracterizados ao longo da costa da ilha como os manguezais, a faixa de marisma, e pequenas porções voltadas ao canal constituído por costão rochoso.

O clima da Ilha do Mel é classificado como Tropical Superúmido, sem estação seca. As temperaturas médias superam 25°C nos meses mais quentes, e nos meses mais frios, livres de geadas, a temperatura média é superior a 18°C. A precipitação anual média é de cerca de 1950 mm, com janeiro, fevereiro e março sendo os meses de maior precipitação, e julho e agosto os meses de menor ocorrência de chuvas. A umidade relativa do ar é alta, com valores médios em torno de 85%.

Seu relevo é constituído por vasta planície de restinga de floresta atlântica ao norte e vários morros de altitude variável ligados por formações arenosas ao sul. Esses ecossistemas Costeiros, apresenta mangues e restinga, associados à floresta atlântica. A altitude média da Ilha é de 3 metros. Entre as maiores variações hipsométricas, destaca-se os Morro da Baleia, Morro Bento Alves, Morro do Miguel,

Morro do Joaquim e das Encantadas, que de modo geral, elevam o desvio padrão das altitudes locais (Figura 5).

Figura 5. Mapa Hipsométrico da Ilha do Mel.

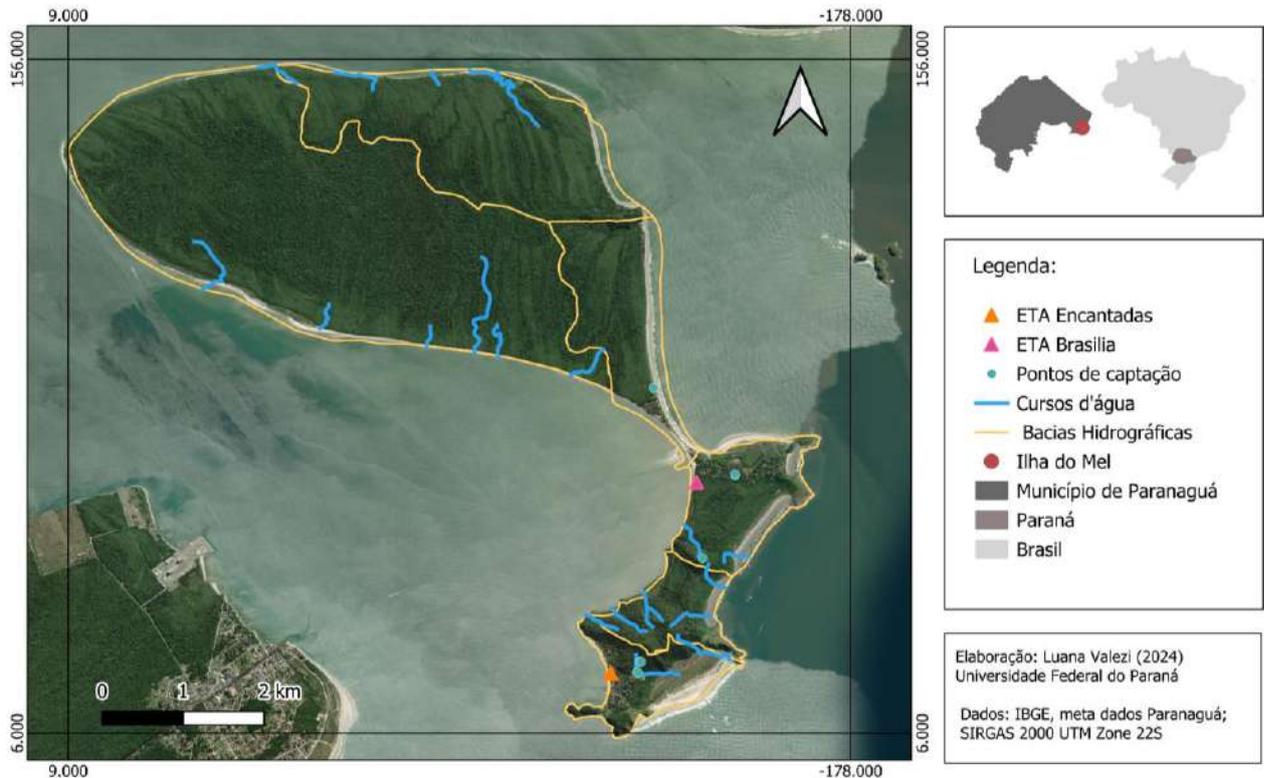


### 2.5.3 Hidrografia

A rede hidrográfica da Ilha do Mel e da Estação Ecológica da Ilha do Mel apresenta baixa densidade de canais, sendo constituída por pequenos córregos de curto percurso e vazão reduzida. Parte desta rede hidrográfica é constituída por canais efêmeros, que se apresentam secos durante os meses de menor precipitação.

A Ilha do Mel possui 6 microbacias de drenagem, sendo consideradas 3 principais: ao sul do Morro do Miguel, abrangendo a região da vila de Encantadas; entre o Morro do Miguel e o Morro do Meio e outra compreendendo a porção norte da Ilha do Mel a partir do Morro do Meio (Figura 6).

Figura 6. Mapa da Hidrografia na Ilha do Mel – PR.



#### 2.5.4 Infraestruturas ambientais

As infraestruturas ambientais da Ilha do Mel, como sistemas de abastecimento de água, tratamento de esgoto, gestão de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais, desempenham um papel crucial na preservação do equilíbrio ecológico e no bem-estar da comunidade residente e dos visitantes. No entanto, muitos desses sistemas apresentam limitações específicas, seja pela ausência de soluções coletivas, seja pela pressão adicional causada pelo turismo sazonal.

Dada a sua relevância ecológica e socioeconômica, a análise integrada dessas infraestruturas é essencial para propor soluções que aliem o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental. As informações referentes aos sistemas de infraestruturas sanitárias foram resumidas Tabela 1, dos dados obtidos de relatórios técnicos da Ilha do Mel.

Tabela 1. Resumo do sistema atual da Ilha do Mel.

INFRAESTRUTURAS	BRASÍLIA	ENCANTADAS
<b>Sistema de abastecimento de água</b> Captação e tratamento 	Captação superficial no manancial Bento Alves e 5 unidades de poços. Sistema abastece: Praia Grande, Praia do Farol e Fortaleza. Taxa de cobertura: 100%	Captações superficiais no manancial Bento Alves e Aroeira e 3 unidades de poços, abastecendo a região de Encantadas. Taxa de cobertura: 100%
<b>Sistema de esgotamento</b> Coleta e tratamento 	Não possui um sistema de coleta e tratamento de seus efluentes, os sistemas são individuais como fossas sépticas e biodigestores, sem monitoramento. Taxa de cobertura: indefinido.	
<b>Drenagem</b> 	Canal de drenagem natural através de escoamento superficial. Taxa de cobertura: indefinido.	
<b>Resíduos Sólidos</b> Coleta e tratamento 	Os resíduos são transportados por meio de carrinhos elétricos até as estações de transbordos. Estima-se uma geração de 12 toneladas por semana em dias normais e 12 toneladas por dia na alta temporada. Os resíduos são transportados através de um barco para Paranaguá, onde são encaminhados para Aterro Sanitário. Taxa de cobertura: 100%.	
<b>Energia Elétrica</b> 	Fornecida pela COPEL via cabo submarino, partindo de Pontal do Sul. Taxa de cobertura: 100%.	

### A. Sistema de abastecimento de água:

Segundo o Plano de Saneamento de Paranaguá de 2020, o sistema de abastecimento de água na Ilha do Mel conta com basicamente 2 operações. A primeira localizada em Brasília conta com uma captação superficial no manancial Bento Alves e cinco unidades de poços, sendo que dois desses poços são interligados, Figura 7. O Sistema abastece as seguintes localidades: Praia Grande, Praia do Farol, Brasília, Fortaleza e Farol.

A segunda em Encantadas possui captações superficiais (manancial Bento Alves e Aroeira) e três unidades de poços, abastecendo a região de Encantadas, figura 09. Ambos os sistemas necessitam de recalque para transporte da água tratada na Adução de Água Tratada aos Centros de Reservação (CRs), os quais

estão posicionados em cotas elevadas e permitem, assim, a distribuição de água por gravidade, Figura 7 e Figura 8.

O SAA Brasília possui uma Estação de Recalque de Água Tratada (ERAT) para transporte de água tratada aos 10 CRs que abastecem esta localidade. Já no SAA Encantadas, a água é bombeada ao CRs por uma ERAT e até os 4 CRs existentes no sistema.

Figura 7. ETA SAA Brasília.



Figura 8. ETA SAA Encantadas.



Fonte: Plano de Saneamento de Paranaguá (2020).

### **B. Sistema de esgotamento sanitário:**

A Ilha do Mel não possui um sistema coletivo para coleta e tratamento de esgoto. Portanto, os sistemas são individuais, predominantemente compostos por fossas sépticas, em alguns casos, o esgoto é lançado diretamente no solo ou em córregos superficiais. Segundo o Estudo de Revisão do Plano de Controle Ambiental e de Uso do Solo da Ilha do Mel, as fossas sépticas, quando usadas, geralmente não são construídas nem operadas conforme os requisitos técnicos necessários.

### **C. Sistema de Resíduos Sólidos:**

Na Ilha do Mel os resíduos são acondicionados para a coleta pelos moradores em frente às residências, diariamente os resíduos são transportados por meio de carrinhos elétricos até as estações de transbordos. Existem duas unidades de coleta na Ilha, uma em Encantadas e outra em Nova Brasília, responsável também pelas demais praias: Fortaleza, Farol e Praia Grande. As atividades realizadas são de coleta de lixo e limpeza das trilhas. Ambas possuem um sistema

de coleta por carrinhos com tração humana. Os carrinhos são de madeira e ferro, com capacidade de aproximadamente 600 kg, conforme figura 10.

Figura 9. Estação de transbordo de Encantadas.



Fonte: Plano de Controle Ambiental e Uso do Solo da Ilha do Mel (2018).

Segundo informações da SEMMA e da empresa Paviservice, responsável pelo transporte marítimo dos resíduos gerados na Ilha do Mel, normalmente, são transportadas cerca de 12 toneladas de resíduos sólidos por semana provenientes das comunidades de Nova Brasília e Encantadas. Na alta temporada, essa quantidade aumenta para 12 toneladas por dia. Os resíduos são transportados por balsas para Paranaguá e depois são encaminhados para aterros sanitários (Figura 10).

Figura 10. Transporte marítimo dos resíduos coletados na Ilha do Mel.



Fonte: Plano de Saneamento de Paranaguá (2020).

#### D. Sistemas de Drenagem:

A Ilha do Mel apresenta um lençol freático extremamente próximo à superfície, com uma camada de água doce acima da água salgada. Essa situação dificulta a operação das fossas enterradas, que frequentemente transbordam ou se misturam com a água subterrânea. Isso causa a contaminação do solo e da água subterrânea, resultando em problemas como poluição da água dos poços artesianos, mau cheiro e, principalmente, riscos à saúde da população.

Esses problemas se agravam durante a época de maior índice pluviométrico e maior presença de turistas, especialmente no verão. Os esgotos são a principal fonte de contaminação das águas subterrâneas captadas nos poços artesianos. Assim, a fragilidade ambiental da ilha é acentuada pelo efeito das marés, que elevam o lençol freático e submergem parte da orla, o que aumenta a disseminação da contaminação devido à falta de sistemas eficientes de disposição de esgoto.

Devido às condições precárias de esgotamento sanitário, os problemas de escoamento de água pluvial aumentam o risco de transbordamento das fossas sépticas e, conseqüentemente, a contaminação da água e do solo. No caso de inundações nas trilhas, o problema afeta as pessoas, já que essa é uma condição predominantemente natural da Ilha do Mel, figura 12. Isso ocorre porque as trilhas não são impermeabilizadas, apenas compactadas pelo uso.

Figura 11. Alagamentos em trilhas da Ilha do Mel



Fonte: Plano de Controle Ambiental e Uso do Solo da Ilha do Mel (2018).

### E. Sistemas de Energia:

Em relação ao cabeamento elétrico, a maioria das casas está conectada por vias subterrâneas sem critérios técnicos, conforme mostram as fotos. Devido ao solo arenoso, é comum que tubulações e, ocasionalmente, cabos elétricos fiquem expostos ( Figura 12). Essa situação eleva os riscos de acidentes e conflitos com a instalação de redes de esgoto, drenagem e águas pluviais.

Figura 12. Cabeamento por vias subterrâneas.



Fonte: Plano de Controle Ambiental e Uso do Solo da Ilha do Mel (2018).

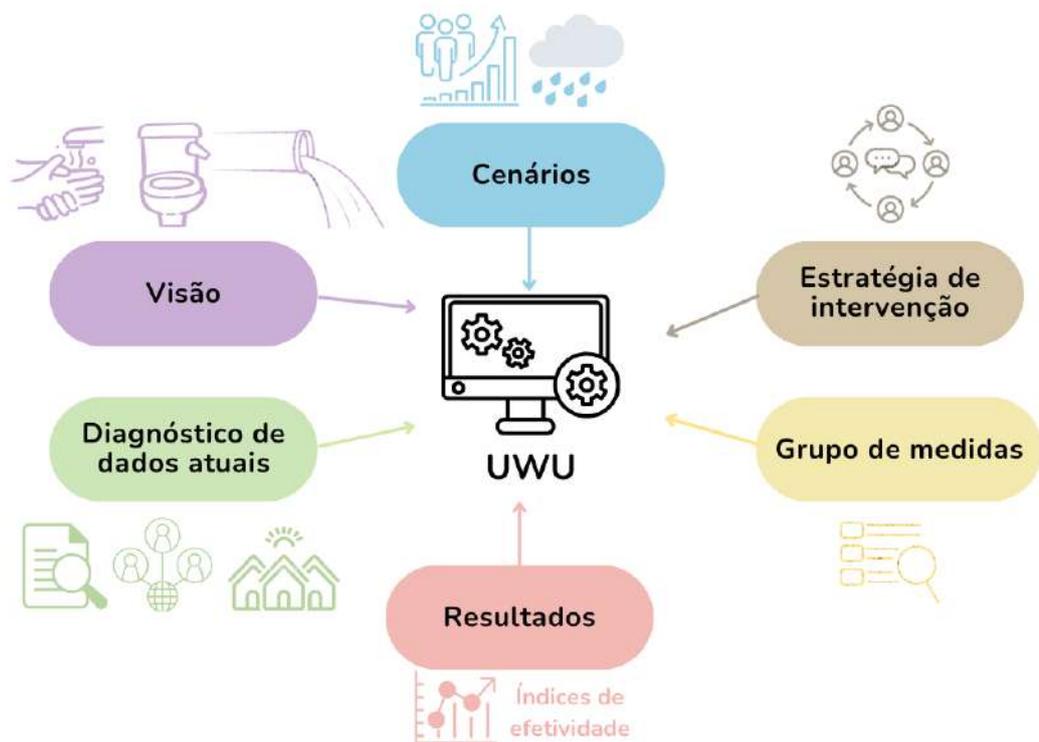
A análise do panorama geral das infraestruturas na Ilha do Mel revela desafios significativos relacionados ao abastecimento de água, coleta de esgoto, drenagem pluvial e gestão de resíduos sólidos. Apesar de haver serviços básicos em algumas áreas, como mercados, escolas e sistemas de esgotamento sanitário individual, as comunidades enfrentam limitações devido ao crescimento do turismo e à pressão sobre os recursos naturais. A infraestrutura existente é insuficiente para atender à demanda durante os períodos de alta temporada, o que ressalta a necessidade de intervenções estratégicas para garantir a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida dos moradores locais.

Dando continuidade, a próxima seção abordará especificamente a comunidade de Encantadas, localizada ao sul da Ilha do Mel. Essa comunidade se destaca por atrair um grande número de turistas, o que impõe desafios únicos em relação à gestão hídrica.

## 2.6 MODELO UWU

O modelo Urban Water Use (UWU) foi adaptado para utilizar um enfoque sistêmico e o planejamento estratégico, visando resolver o problema da gestão da água em cidades através de medidas integradas e participativas de saneamento. Conforme Santos e Benetti (2014), o modelo UWU (figura 03) é estruturado da seguinte forma:

Figura 13. Aspectos gerais do UWU.



Fonte: adaptado de Hoepers *et al.* (2023).

- Dados de entrada:** nesta etapa são inseridos os dados gerais e específicos que descrevem as características da área urbana no modelo.
- Elaboração de cenários:** identificam-se os fatores externos e em associação com os dados de entrada elaboram-se os cenários. Os fatores externos representam elementos fora do controle humano, como tendências de crescimento da população, mudanças climáticas e comportamento da economia.

- c. **Construção da visão:** a visão, como parte do planejamento estratégico, é aquilo que se almeja para o futuro. Sendo necessário identificar os desejos e expectativas das partes interessadas e, assim, selecionar indicadores de sustentabilidade que traduzem a visão em termos quantitativos.
- d. **Definição de estratégias:** as estratégias são métodos utilizados para se alcançar o que se espera no futuro.
- e. **Definição de grupo de medidas (GM):** são elaborados para melhorar as condições sanitárias no futuro. O modelo UWU possui uma estrutura que permite conceber medidas para conservação da água nos sistemas de abastecimento de água, sistemas de esgoto sanitário e sistemas de drenagem urbana.
- f. **Simulação do GM:** para cada cenário, o GM é aplicado através de simulações matemáticas onde são determinados os valores dos indicadores.
- g. **Resultados:** obter e registrar os valores dos indicadores para cada GM nos cenários selecionados.
- h. **Avaliação:** os resultados dos indicadores são comparados aos valores previstos para estes indicadores para avaliar se foi alcançado o resultado esperado para cada cenário. Para auxiliar esta avaliação é calculado o Índice de Efetividade (IE) do GM.

Segundo Destro (2016) a abordagem permite que as informações obtidas no processo decisório estejam focadas na maximização da segurança, minimização de riscos e otimização dos resultados e respostas necessárias para a gestão. Esta abordagem, amplamente utilizada pelo setor privado, tem vindo a ganhar cada vez mais espaço na gestão dos serviços públicos, bem como na gestão da água e das infraestruturas urbanas.

Dessa forma, o modelo UWU, será utilizado nesse trabalho, com objetivo de apoiar a elaboração de planos de gestão de água para áreas urbanas, destacando-se por utilizar o planejamento estratégico como guia de sua estrutura e fornecer análises do ciclo urbano da água, abrangendo abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem urbana, considerando múltiplas variáveis e incertezas (Hoepers et, al, 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

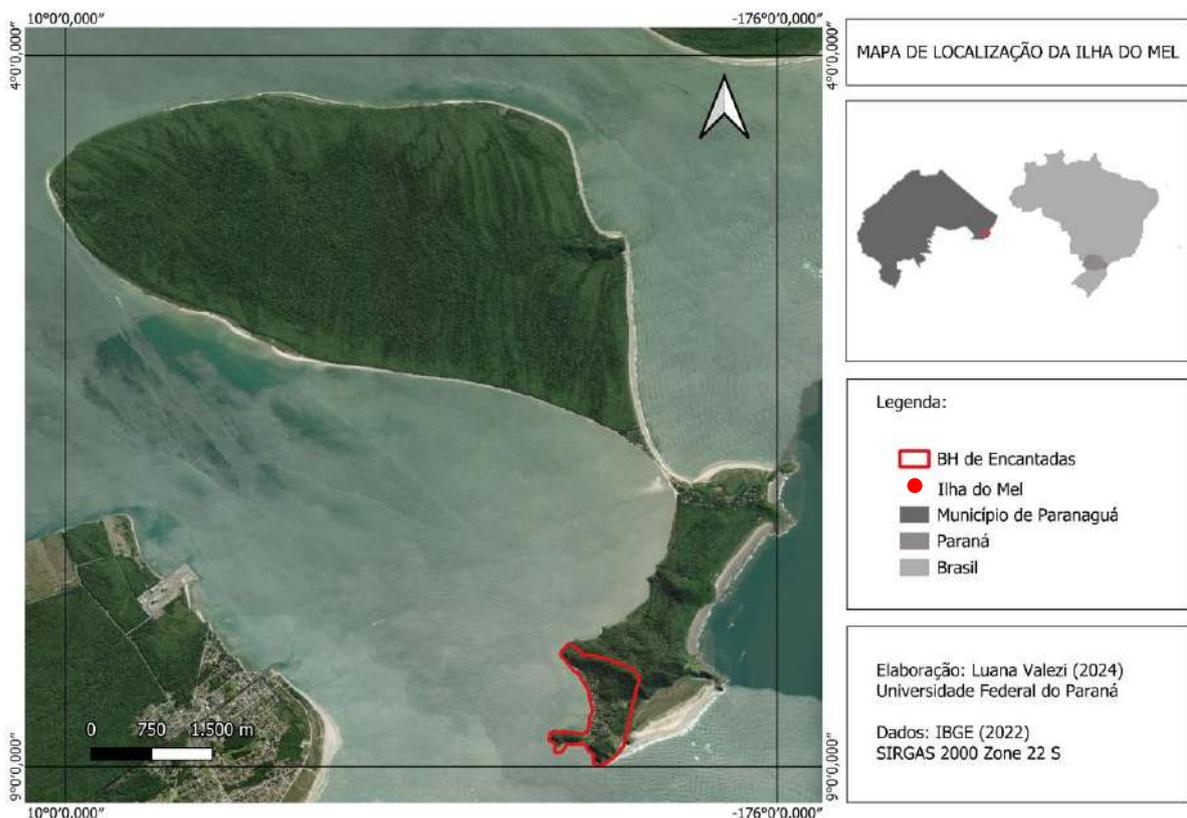
#### 3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para avaliar a situação atual da área de estudo na Ilha do Mel (Figura 3), as informações e dados foram obtidos de estudos técnicos como o Plano Municipal de Saneamento Básico de Paranaguá (2022) e o Plano de Controle Ambiental e Uso do Solo da Ilha do Mel (2019) e o Plano de Manejo do Parque Estadual da Ilha do Mel (2012).

#### 3.2 ENCANTADAS

Encantadas é uma das regiões mais visitadas da Ilha do Mel, com um fluxo turístico sazonal intenso, especialmente em períodos de alta temporada (Figura 14). Estima-se que a população flutuante seja de aproximadamente 2.880 pessoas, esse aumento temporário da população gera um impacto significativo no uso da água e nos serviços de saneamento.

Figura 14. Mapa de localização da Ilha do Mel – PR.



O modelo Urban Water Use permite análises detalhadas em sub-bacias hidrográficas, o que possibilita uma avaliação mais precisa dos sistemas de recursos hídricos em áreas com características específicas, como é o caso de Encantadas,

na Ilha do Mel. Esse recurso permite que a ferramenta se adapte ao contexto local, identificando particularidades e necessidades de cada sub-bacia e facilitando a proposta de soluções integradas e eficazes.

Assim, o estudo com foco em Encantadas (Figura 15) permite abordar as particularidades locais, como a elevada proximidade do lençol freático, a ausência de um sistema coletivo de esgotamento sanitário e a falta de infraestrutura de drenagem adequada. Essas condições fazem de Encantadas uma área ideal para aplicar a análise integrada do modelo UWU, que poderá subsidiar propostas de melhorias específicas para a comunidade e fornecer dados que, no futuro, poderiam ser estendidos a outras regiões da Ilha.

Figura 15. Vista aérea da comunidade de Encantadas.



Fonte: José Fernando Ogura (2023).

### 3.2.1 Sistema de abastecimento de água em Encantadas

O SAA Encantadas possui captações superficiais, manancial Bento Alves e Aroeira e três unidades de poços, abastecendo a região de Encantadas (Figura 16). A ETA de Encantadas, foi projetada de forma compacta, tendo como material de estrutura o Polipropileno (PP), possui uma vazão de 5,0 L/s e conta com 3 floculadores, 2 decantadores, 4 filtros de areia e pedra e a desinfecção realizada por hipoclorito de sódio. Após o tratamento de água, é necessário o seu transporte aos 4 CRs e distribuição aos usuários (Figura 17). O transporte de água tratada também é

realizado por adutoras. A rede de abastecimento de água potável possui 3.858,94 m de comprimento.

Descrevem-se como captações do tipo gravidade, aquelas em que o transporte da água bruta é realizado por gravidade pela Adução de Água Tratada até seu local de tratamento (cota do ponto de captação é superior à localização da ETA). Por recalque, entende-se a necessidade de utilizar conjuntos motor-bomba para transferir (bombear) o volume de água do ponto de captação (cota inferior) até a localização da ETA (cota superior). Para os poços de captação de água, cada um possui a sua Estação de Recalque de Água Bruta com um conjunto motorbomba para a captação de água subterrânea com uma vazão de recalque de 5,28 L/s.

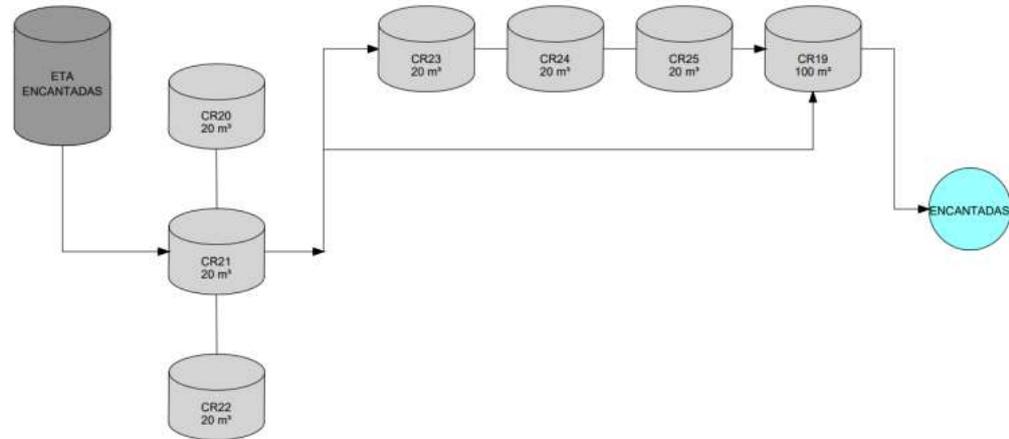
Figura 16. Vista da ETA Encantadas.



Fonte: Google Earth (2023).

Apesar de garantir a cobertura completa, o sistema apresenta limitações, especialmente em períodos de alta temporada, quando o consumo elevado resulta em relatos de falta d'água. A vazão de outorga do sistema, descrita na Tabela 2, evidencia a capacidade operacional permitida, mas também ressalta a necessidade de ajustes para atender à demanda crescente sem comprometer os recursos hídricos subterrâneos. Esses desafios destacam a importância de monitorar a recarga do aquífero e planejar a ampliação da infraestrutura, visando garantir um abastecimento sustentável e contínuo para moradores e visitantes.

Figura 17. Fluxograma do SAA Encantadas.



Fonte: Plano de Saneamento de Paranaguá (2020).

No sistema de abastecimento de água de Encantadas, embora a cobertura atenda a toda a comunidade, são frequentes os relatos de escassez durante a alta temporada, especialmente nos meses de verão, quando o turismo intensifica a pressão sobre os recursos hídricos. Esse aumento populacional sazonal, impulsionado pela chegada de milhares de visitantes, frequentemente excede a capacidade do sistema de distribuição, resultando em interrupções no fornecimento e transtornos tanto para os moradores quanto para os turistas. A infraestrutura atual, dimensionada para atender à população residente, não foi projetada para suportar as demandas adicionais impostas pelo fluxo turístico, evidenciando a necessidade de intervenções para melhorar sua eficiência e capacidade.

Tabela 2. Captação dos sistemas de abastecimento de água potável.

IDENTIFICAÇÃO	VAZÃO DE OUTORGA		TIPO
	m³/h	l/s	
Bento Alves	5,00	1,39	Gravidade
Aroeira	2,00	0,56	Gravidade
Poço 1	4,00	1,11	Recalque
Poço 2	1,50	1,25	Recalque
Poço 3	6,70	1,86	Recalque

Fonte: Plano de Saneamento de Paranaguá (2020).

### 3.2.2 Sistema de esgotamento sanitário em Encantadas

Em Encantadas, ainda ocorre o descarte de esgoto in natura diretamente no solo. A região apresenta um lençol freático superficial, com uma camada de água doce sobre a água salgada, e essa proximidade, somada ao efeito das marés, agrava a fragilidade ambiental da região. As marés elevam o nível do lençol freático, inundam parte da orla e aumentam os riscos de contaminação devido à ausência de sistemas de esgoto eficientes.

Segundo o Estudo de Revisão do Plano de Controle Ambiental e de Uso do Solo da Ilha do Mel (Paranaguá, 2018), muitas fossas sépticas não são construídas ou operadas conforme os requisitos técnicos, e o lençol freático elevado compromete sua funcionalidade, causando transbordamentos ou a mistura com a água subterrânea. Essa situação resulta na contaminação do solo e das águas subterrâneas, impactando os poços artesianos, gerando mau cheiro e, principalmente, riscos à saúde, agravados no verão, quando aumentam as chuvas e o fluxo de turistas.

Figura 18. Rio da Ponte com indícios de contaminação por esgoto doméstico.



Fonte: Airton Laufer (2011).

O esgoto é identificado como a principal fonte de poluição das águas captadas nos poços. Conforme Sperb (2006), várias pousadas utilizam fossas sépticas como solução, mas frequentemente sem projetos técnicos ou fiscalização adequada. Além disso, a limpeza dessas fossas é inadequada, e moradores despejam os dejetos em córregos, que acabam sendo levados para o mar. Estudos realizados pela SEMA (2004) indicam que, com o aumento do número de visitantes,

o sistema de fossas é insuficiente, contaminando praias e córregos. Entre os locais mais afetados estão o rio da Ponte e a Prainha dos Pescadores, em Encantadas, (Figura 18).

### 3.2.3 Resíduos sólidos em Encantadas

Devido à sua localização geográfica e às correntes marítimas, a Ilha do Mel é constantemente impactada pelo acúmulo de resíduos que são trazidos pela maré. Esses detritos, que podem incluir plásticos, vidros, metais e outros materiais não biodegradáveis, muitas vezes são descartados em outras regiões e acabam sendo transportados até as praias e manguezais da ilha. Esse processo afeta as qualidades do ecossistema local, prejudicando a vida marinha e a qualidade das águas costeiras, além de comprometer a paisagem natural, que é um dos principais atrativos turísticos da região (Sperb e Telles, 2014).

### 3.2.4 Sistema de drenagem de águas pluviais em Encantadas

O sistema de drenagem urbana em Encantadas, na Ilha do Mel, é praticamente inexistente, o que agrava os impactos causados por chuvas intensas na região. Sem uma infraestrutura adequada, o escoamento superficial ocorre de forma desordenada, acumulando-se em áreas mais baixas, ocasionando alagamentos e dificultando a mobilidade de moradores e turistas. Além disso, a ausência de soluções de drenagem favorece processos erosivos nas trilhas e caminhos de areia, prejudicando tanto a qualidade ambiental quanto a infraestrutura turística local.

## 3.3 APLICAÇÃO DO MODELO UWU

O modelo Urban Water Use, desenvolvido por Santos e Steen (2011), é uma ferramenta de análise voltada para a gestão integrada dos sistemas hídricos urbanos. Ele busca avaliar o uso e a disponibilidade de recursos hídricos em contextos urbanos, incorporando variáveis ambientais, sociais e econômicas para subsidiar processos de tomada de decisão. Esse modelo é particularmente útil para analisar o ciclo urbano da água, abrangendo desde o abastecimento e o consumo até a drenagem e o tratamento de efluentes, com o objetivo de propor estratégias que tornem esse ciclo mais sustentável.

A aplicação do UWU é baseada na análise de uma sub-bacia hidrográfica, o que permite detalhar a dinâmica hídrica local em diferentes escalas. Ele considera fatores como demanda hídrica, eficiência do uso, impactos das mudanças climáticas e interferências antrópicas, fornecendo um panorama completo para o planejamento de intervenções.

A proposta de Santos e Steen (2011) é especialmente relevante para áreas ambientalmente sensíveis, como a Ilha do Mel. Aplicar o UWU em Encantadas, por exemplo, pode ajudar a identificar as dificuldades no sistema de abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem, além de propor soluções baseadas em evidências que contribuam para a sustentabilidade hídrica e ambiental da comunidade.

Para aplicar o modelo Urban Water Use à realidade da Ilha do Mel, foram necessárias adaptações específicas, considerando as peculiaridades locais, como a dinâmica demográfica e as restrições ambientais impostas pela legislação. Uma das principais alterações envolveu a projeção populacional, visto que o crescimento demográfico na ilha é atualmente limitado devido ao status de Área de Proteção Ambiental (APA), que regula a ocupação humana e a visitação turística.

Além disso, o estudo tem uma abordagem em condições de mudanças climáticas, que representam um fator crítico de médio e longo prazo para a Ilha do Mel. As variações de temperatura e pluviosidade, podem impactar significativamente a disponibilidade hídrica e agravar os problemas relacionados às infraestruturas existentes de saneamento básico.

A metodologia, baseada no modelo UWU, foi adaptada para a análise de sub-bacias hidrográficas, alinhando-se à configuração de Encantadas. Com um uso misto, que inclui residências, pousadas e comércios, a região enfrenta desafios adicionais devido à intensa variação populacional provocada pelo turismo sazonal. Esse aumento de demanda, especialmente durante a alta temporada, pressiona os serviços de saneamento e os recursos hídricos, tornando essencial a aplicação de ferramentas integradas de análise e planejamento.

### 3.3.1 Dados de entrada

Os dados de entrada são obtidos a partir da caracterização do ambiente antrópico, abrangendo aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos e ambientais, conforme Santos (2016). Essa caracterização é feita com base na coleta de dados

secundários, utilizando fontes como relatórios técnicos de organizações governamentais e não governamentais de estudos realizados no local. Esses dados incluem parâmetros considerados essenciais para a caracterização da área de estudo no contexto da drenagem urbana, como a população atual, capacidades dos sistemas de drenagem, abastecimento de água, esgotamento sanitário, entre outros.

Segundo Richter (2020), os dados podem ser organizados em cinco categorias:

- i. Dados de caracterização: essenciais para a criação dos cenários e para o cálculo dos indicadores.
- ii. SAA (Sistema de Abastecimento de Água): necessários para a elaboração da visão e o cálculo dos indicadores.
- iii. SES (Sistema de Esgotamento Sanitário): importantes para a criação da visão e o cálculo dos indicadores.
- iv. SDU (Sistema de Drenagem Urbana): utilizados na construção da visão e no cálculo dos indicadores.
- v. Medidas: dados necessários para o cálculo dos indicadores, com variação de acordo com as ações escolhidas pelas partes interessadas e as condições locais.

É importante destacar que as simulações realizadas no estudo consideraram a situação mais crítica enfrentada pela comunidade de Encantadas, ou seja, o período de alta temporada turística. Durante essa época, o aumento expressivo da população flutuante (turistas) exerce pressão significativa sobre os recursos e sistemas de infraestrutura local, como o abastecimento de água, a gestão de resíduos sólidos e o esgotamento sanitário.

Para refletir essa realidade, a população total foi estimada em 3.350 pessoas com base na composição atual da comunidade, separando-a em população fixa, que corresponde aos moradores permanentes, e a população flutuante, composta pelos turistas que visitam Encantadas durante a alta temporada. Tal abordagem foi importante para garantir que os resultados das simulações fossem representativos.

Atualmente, o tratamento de esgoto na região de Encantadas, é realizado por meio de fossas rudimentares individuais, no entanto, para este estudo, devido à falta de dados concretos sobre a construção e o monitoramento desses sistemas,

esse tipo de tratamento não foi considerado suficiente. Assim, a cobertura de tratamento de esgoto foi estimada como nula nas simulações realizadas.

Com esses dados (Tabela 3), é possível realizar a construção dos cenários e da visão, bem como realizar o cálculo dos indicadores para a simulação matemática do sistema em estudo.

Tabela 3. Dados de entrada necessários para a simulação no modelo UWU.

CATEGORIA	DADOS DE ENTRADA	SIMBOLOGIA	VALOR	UNIDADE
<i>Dados de caracterização</i>	Ano atual	–	2024	ano
	Ano futuro	–	2054	ano
	Taxa de crescimento populacional atual	$\lambda_0$	0,1	%a.a.
	População atual	$P_0$	3350	hab
	Método de projeção populacional (geométrico)	–	–	–
	Número de pessoas por domicílio	$P_d$	3	hab/domicílio
	Número de domicílios	$D_0$	450	domicílio
	Temperatura média histórica	$T_0$	25	°C
	Intensidade pluviométrica crítica	$I_0$	3,34	mm/ano
<i>SAA</i>	Cobertura do sistema de abastecimento de água atual	$CSAA_0$	89,03	%
	Consumo per capita de água atual	$q_{e,0}$	160,00	L/hab/dia
	Índice de perdas na rede de distribuição	$I_{RD}$	30,00	%
	Coeficiente do dia de maior consumo	$K_1$	2,38	–
	Coeficiente da hora de maior consumo	$K_2$	1,00	–
	Vazão de água do sistema atual	$Q_{a0}$	11,03	L/s
<i>SES</i>	Cobertura do sistema de esgotamento sanitário atual	$CSES_0$	0,0	%
	Coeficiente de retorno de esgoto doméstico	$CR$	0,80	–
	DBO esgoto doméstico	$DBO_{ed}$	280,00	mg/L
	Vazão de esgoto doméstico atual (valor estimado)	$Q_{e0}$	8,10	L/s
	Índice de remoção da DBO atual (fossas)	$ER_{DBO}$	0,30	–
<i>SDU</i>	Área de drenagem	$A$	1,25	km <sup>2</sup>
	Coeficiente de Runoff	$C$	0,36	–
	Coeficiente de retorno	$C_R$	0,80	–
	Vazão da exutória (estimado)	$Q_{ex}$	10,07	L/s
<i>Medidas</i>	Valores e padrões locais	–	–	variável

### 3.3.2 Elaboração da Visão

A etapa de construção da visão envolve a escolha de indicadores que refletem o que a comunidade almeja para o futuro, em termos de qualidade de vida e sustentabilidade ambiental. Para isso, é necessário selecionar indicadores que estejam alinhados com os desejos e expectativas da comunidade para a área em questão. Após essa seleção, esses indicadores devem ser quantificados com

valores específicos que se espera alcançar em cada cenário, além de serem atribuídos valores de peso conforme sua importância relativa (Richter, 2019).

Os indicadores escolhidos para a análise no modelo UWU foram definidos com base nas diretrizes estabelecidas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), garantindo alinhamento com as prioridades e metas do planejamento municipal para a gestão sustentável dos recursos hídricos e do saneamento.

O acesso da população ao abastecimento de água potável é essencial para avaliar a universalização do serviço, uma das metas primordiais do PMSB. Ele também é relevante para identificar possíveis lacunas no fornecimento, especialmente em períodos de alta demanda, como ocorre em Encantadas durante a alta temporada.

A inexistência de um sistema coletivo de esgotamento sanitário em Encantadas reforça a importância de monitorar este indicador. Ele permite avaliar a situação atual e subsidiar propostas de soluções.

Para análise do sistema de drenagem pluvial em Encantadas considerou a ocorrência de alagamentos em algumas trilhas, um problema frequentemente relatado pela comunidade local. Apesar disso, o parâmetro utilizado para avaliar a situação foi a vazão na exutória da área estudada, que reflete a quantidade total de água escoada em direção ao ponto de saída do sistema de drenagem, considerou-se que tal parâmetro poderia ser representativo para estimar o fluxo do escoamento superficial, alinhando-se às estratégias do PMSB para manejo sustentável da drenagem urbana.

A DBO é um indicador crucial para avaliar o impacto da descarga de efluentes no ambiente aquático. Sua escolha está em conformidade com o PMSB, que prioriza a proteção da qualidade das águas e a redução da poluição gerada pelo turismo e pelas atividades locais. Este indicador auxilia na identificação de áreas críticas que necessitam de intervenção.

Assim, a visão que representa uma projeção do futuro desejado, são indicadores que se expressam quantitativamente. A construção desses indicadores envolve a atribuição de um peso que reflita sua importância, além de definir o horizonte de planejamento, conforme explicado por Destro (2016).

A atribuição de pesos aos indicadores utilizados no estudo foi baseada na análise dos relatórios das audiências públicas realizadas na comunidade de Encantadas (APENDICE 2). Essa metodologia permitiu incorporar as prioridades e

preocupações manifestadas pela população local, garantindo que o modelo reflita de forma consistente as necessidades reais da comunidade. Os indicadores que foram mencionados com maior frequência durante as audiências públicas receberam um peso mais elevado, de 30%. Já os indicadores que tiveram menor frequência de menção foram elencados com um peso de 20%, representando a importância dos indicadores no contexto geral, conforme dados apresentados na Tabela 4 com seus respectivos pesos.

Tabela 4. Indicadores e pesos.

INDICADORES	UNIDADE	PESOS (W)
Cobertura do Sistema de Abastecimento de Água	%	30%
Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário	%	30%
Vazão de escoamento da exutória	m <sup>3</sup> /s	20%
Carga de DBO	kg/dia	20%

Desse modo, a seleção desses indicadores busca fornecer uma análise integrada e fundamentada, contribuindo para a proposição de estratégias de gestão mais eficientes e sustentáveis para Encantadas.

### 3.3.3 Elaboração dos Cenários

Os cenários, que fazem parte do planejamento estratégico, representam mudanças futuras sobre as quais não há controle. Com base nessa premissa, os cenários são elaborados levando em consideração fatores externos, ou seja, variáveis sobre as quais o tomador de decisão não possui influência direta, mas que impactam significativamente o desenvolvimento da área (Richter, 2019).

A definição dos cenários baseou-se na necessidade de abranger as principais variáveis capazes de influenciar a sustentabilidade hídrica da Ilha do Mel, considerando tanto fatores naturais incontroláveis, como as mudanças climáticas, quanto alterações socioambientais, como o crescimento populacional. Dessa forma, ao reunir esses fatores externos, busca-se construir uma visão ampla, garantindo que as análises realizadas reflitam os desafios e as possibilidades para a gestão do ciclo da água urbana da Ilha.

Além disso, os valores atribuídos aos cenários foram definidos com base em relatórios técnicos provenientes de estudos detalhados realizados na Ilha do Mel.

Esses documentos forneceram dados base para as estimativas futuras de condições ambientais, climáticas e socioeconômicas da região, buscando-se estabelecer projeções alinhadas com as características locais da comunidade.

Para o estudo, adotou-se uma abordagem com dois cenários populacionais distintos, permitindo uma análise mais abrangente sobre a sustentabilidade dos sistemas hídricos da ilha. No cenário atual, considera-se uma taxa de crescimento populacional de 0,1% ao ano, refletindo a situação atual de ocupação controlada, com a população fixa mantendo-se praticamente estável ao longo dos anos. Devido à legislação ambiental, o número de visitantes é limitado a 5.000 por dia, o que estabiliza a pressão demográfica. Então, esse cenário permite avaliar as condições hídricas e os impactos ambientais dentro do contexto atual, sem mudanças significativas na legislação.

Já no cenário 1, projeta-se uma taxa de crescimento de 0,7% ao ano, representando uma hipótese de flexibilização das restrições legais, que possibilitaria uma ocupação humana mais intensa. Esse cenário foi elaborado para simular os impactos de uma população maior sobre os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana. A análise desse cenário é essencial para prever possíveis gargalos na infraestrutura e propor estratégias de mitigação caso haja uma alteração na legislação.

A escolha dos cenários foi fundamentada na necessidade de contemplar as principais variáveis que podem impactar a sustentabilidade dos sistemas hídricos da Ilha do Mel, considerando tanto os fatores naturais controláveis como as mudanças climáticas, quanto mudanças socioambientais, como o crescimento populacional. Assim, ao incluir fatores como o aumento de temperatura, alterações no regime pluviométrico e mudanças na dinâmica populacional, busca-se uma visão abrangente e integrada, permitindo avaliar os resultados da sustentabilidade hídrica.

Desta forma, os cenários foram construídos da seguinte forma: cenário 0 (C0) é a situação atual, o cenário 1 (C1) com um aumento da taxa de crescimento populacional de 0,7 % a.a e com os demais fatores constantes. O cenário 2 (C2) relaciona o aumento de temperatura de 25 °C para 28,5 °C com uma taxa de crescimento de 0,1% a.a. Já o cenário 3 (C3) evidencia um aumento da intensidade pluviométrica de 3,34 mm/h para 4,5 mm/h, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Construção de cenários.

FATOR EXTERNO	CENÁRIOS			
	C0	C1	C2	C3
Taxa de crescimento populacional (%)	$\lambda_0 = 0,0$	$\lambda_1 = 0,7$	$\lambda_2 = 0,1$	$\lambda_3 = 0,1$
Temperatura (°C)	$T_0 = 25$	$T_1 = 25$	$T_2 = 28,5$	$T_3 = 25$
Intensidade pluviométrica (mm/h)	$i_0 = 3,34$	$i_1 = 3,34$	$i_2 = 3,34$	$i_3 = 4,5$

### 3.3.4 Grupos de medidas

Em relação aos grupos de medidas, a estrutura foi fundamentada em estratégias que abrangem os sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem urbana. A partir dessas estratégias, foram definidos os seguintes grupos de medidas, conforme apresentado no Tabela 6.

Em relação ao GM0, o grupo sem medidas de intervenção, sua principal função é fornecer uma visão dos cenários futuros sem qualquer ação de mitigação, servindo também como valor de referência para comparação com outros grupos. Por outro lado, os grupos GM1, GM2, GM3 e GM4 consideraram medidas sem e com interdependência. Essa análise é realizada por meio de uma série de equações que conectam cenários, grupos de medidas e indicadores.

Dentre o conjunto de medidas, estimou-se pela redução do consumo específico de água (M1) pela conscientização em 10% e o aproveitamento da água da chuva (M3) uma economia de até 23%, enquanto a redução de perdas no Sistema de Abastecimento de Água (M4) contribui com uma redução de 20%. A ampliação das capacidades do sistema de abastecimento (M5) e de esgotamento sanitário (M6) adicionaria respectivamente 4,2 l/s e 4,5 l/s. Além disso, o tratamento de esgoto proposto (M7) apresenta uma alta eficiência, com 80% de remoção de DBO. Por fim, o coeficiente de *Runoff* (M10) diminuiria em 20% a taxa de escoamento superficial.

É importante destacar que nas medidas relacionados ao sistema de drenagem proposto para Encantadas, foi considerada uma eficiência estimada de 20% para os pavers permeáveis. Essa estimativa baseia-se em parâmetros gerais de desempenho encontrados na literatura científica para esse tipo de tecnologia. No entanto, é importante destacar que essa eficiência pode variar significativamente de acordo com fatores locais, como o tipo de solo arenoso da Ilha do Mel.

Assim, economizar água por diferentes métodos, reduzir o consumo per capita e reutilizar água cinza, implica uma diminuição no uso de água potável nos edifícios e, conseqüentemente, amplia a cobertura do sistema de abastecimento de água. Como consequência indireta, há uma redução no volume de esgoto gerado, o que também aumenta a cobertura do sistema de esgotamento sanitário, evidenciando a complexidade dos efeitos interdependentes no sistema.

Tabela 6. Grupo de medidas.

GRUPO MEDIDAS	MEDIDAS	VALORES	OBSERVAÇÃO
GM0 - Valores atuais	M0: Sem medidas	0	Considera-se que nenhuma intervenção será adotada para a área de estudo.
GM1	M1: redução de qe por uso racional	RM = 10%	As medidas 1, 4, 5, 6 e 7 são calculadas em conjunto.
	M4: redução de perdas no SAA	RM = 23%	
	M5: expansão da capac. do SAA ( $\Delta Q1$ )	$\Delta Q1 = 4,2$ l/s	
	M6: expansão da capac. do SES ( $\Delta Qe$ )	$\Delta Qe = 4,5$ l/s	
	M7: tratamento de esgoto	ER-DBO=80%	
GM2	M3: redução do qe e do C por água da chuva	RM = 20%	As medidas 3, 4, 6 e 7 são calculadas em conjunto.
	M4: redução de perdas no SAA	R-Ird = 23%	
	M6: expansão da capac. do SES ( $\Delta Qe$ )	$\Delta Qe = 4,5$ l/s	
	M7: tratamento de esgoto	ER-DBO=80%	
GM3	M1: redução de qe por uso racional	RM = 10%	As medidas 1, 3, 4 e 10 são calculadas em conjunto.
	M3: redução do qe e do C por água da chuva	RM = 20%	
	M4: redução de perdas no SAA	R-Ird = 23%	
	M10: redução do C nas vias de tráfego	RCM = 20%	
GM4	M1: redução de qe por uso racional	RM = 10%	Todas as medidas calculadas em conjunto, com interdependência.
	M3: redução do qe e do C por água da chuva	RM = 20%	
	M4: redução de perdas no SAA	R-Ird = 23%	
	M5: expansão da capac. do SAA ( $\Delta Q1$ )	$\Delta Q1 = 4,2$ l/s	
	M6: expansão da capac. do SES ( $\Delta Qe$ )	$\Delta Qe = 4,5$ l/s	
	M7: tratamento de esgoto	ER-DBO=80%	
M10: redução do C nas vias de tráfego	RCM = 20%		

### 3.3.5 Índice de Efetividade

Para cada cenário, os resultados dos grupos de medidas são submetidos a uma avaliação integrada, comparando-os com os indicadores da Vision para identificar em quais cenários eles foram atendidos.

É importante destacar que antes da execução do UWU, há uma série de tarefas independentes que precisam ser realizadas. Essas tarefas incluem coleta de dados, pesquisa de campo, análise de relatórios técnicos da área. Para esse processo, foi utilizado o método de tomada de decisão multicritério, que seleciona a melhor alternativa entre várias opções com base em uma pontuação que reflete o desempenho geral de cada alternativa. Essa pontuação, é calculada conforme a equação (1).

$$EI_k = \sum_{i=1}^n N_{ij} \times W_i \quad \text{Equação 1}$$

$EI_k$  é o Índice de Efetividade k do Grupo de Medidas K (GMk);

$k$  é o número do Grupo de Medidas;

$n$  é o número de indicadores;

$N_{ij}$  é o número do cenário j aonde o indicador i atingiu a visão;

$W_i$  é o peso do indicador i;

Onde  $EI_k$  representa a pontuação da soma ponderada, também chamada de Índice de Efetividade,  $a_{ij}$  é o desempenho do indicador e  $w_j$  é o peso do indicador. O peso de cada indicador reflete sua importância relativa no processo de tomada de decisão, enquanto o desempenho da alternativa corresponde à pontuação atribuída ao cenário n em relação ao indicador j. Após a realização dos cálculos, a alternativa com a maior pontuação  $EI_k$  é selecionada como a melhor opção (Richter, 2019).

O uso do EI se justifica por três razões: primeiro, ele permite a seleção da melhor alternativa considerando simultaneamente múltiplos critérios, que representam diferentes dimensões. Segundo o ranqueamento das alternativas é direto e simples. Terceiro, os critérios podem ser ponderados para refletir sua importância relativa em um contexto específico. Esse processo é aplicado a todos os grupos de medidas e indicadores, de forma a calcular o Índice de Efetividade (EI), que está estimado na Tabela 3 para os cenários.

Tabela 7. Hierarquia do Índice de Efetividade (IE).

INDICE DE EFETIVIDADE	CLASSIFICAÇÃO
3,0 – 4,0	Muito bom
2,0 - 2,99	Bom
1,0 - 1,99	Insuficiente
0,0 – 0,99	Ruim

### 3.3.6 Simulações

Com base na visão e nos cenários formulados, o melhor grupo de medidas é aquele que permite alcançar a visão em um maior número de cenários, considerando simultaneamente o peso atribuído a cada indicador.

Conforme a Figura 19, após essa avaliação, a seguinte pergunta deve ser feita: "A visão original foi atingida?" Se a resposta for "Não", o próximo passo é revisar o grupo de medidas e reiniciar o processo. Caso a resposta seja "Sim", o grupo de medidas escolhido será utilizado para definir a estratégia global e dar início ao Plano de Implementação, acompanhado por uma avaliação contínua.

Figura 19. Etapas gerais do UWU.



Fonte: adaptado Richter *et. al.* (2019).

As simulações realizadas para o estudo foram conduzidas utilizando planilhas e ferramentas do software Excel. Esse processo envolveu a parametrização de dados obtidos em relatórios técnicos, garantindo a integração de informações relevantes para o contexto local.

#### 4 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados das simulações do GM1, GM2, GM3 e GM4 são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultado das simulações.

<b>Grupo Medidas</b>	<b>Indicador</b>	<b>Atual</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>GM0</b>	Csaa (%)	89,03	37,03	43,66	43,66
	Cses (%)	0	0	0	0
	CDBO (kg/dia)	196,00	196,00	123,55	123,55
	Qex (l/s)	8,59	10,32	8,82	11,76
<b>GM1</b>	Csaa (%)	88,24	73,44	80,60	85,96
	Cses (%)	83,04	69,10	69,83	80,89
	CDBO (kg/dia)	26,21	31,53	30,75	26,91
	Qex (l/s)	7,69	9,23	7,89	10,51
<b>GM2</b>	Csaa (%)	71,90	59,84	65,16	70,04
	Cses (%)	93,42	77,74	77,24	91,00
	CDBO (kg/dia)	23,30	26,25	25,70	16,10
	Qex (l/s)	8,33	10,01	8,55	11,40
<b>GM3</b>	Csaa (%)	82,17	68,38	73,74	80,04
	Cses (%)	0	0	0	0
	CDBO (kg/dia)	101,96	122,51	119,58	104,67
	Qex (l/s)	6,66	8,00	6,84	9,12
<b>GM4</b>	Csaa (%)	89,03	94,42	101,81	110,52
	Cses (%)	111,42	92,72	90,18	108,53
	CDBO (kg/dia)	20,39	24,50	23,91	20,93
	Qex (l/s)	6,39	7,68	6,56	8,75

## 5 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

A análise dos resultados será conduzida a partir de quatro perspectivas inter-relacionadas, visando uma compreensão abrangente dos impactos das intervenções e suas consequências no contexto de gestão hídrica urbana na Ilha do Mel. Primeiramente, será uma avaliação geral dos resultados. Em segundo lugar será avaliada a influência das intervenções da engenharia, considerando como as medidas propostas para o sistema de abastecimento de água, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais contribuem para a melhoria dos indicadores de desempenho ambiental e da qualidade dos recursos hídricos.

Em terceiro lugar, será abordada a influência dos fatores externos, como as mudanças climáticas e as variabilidades sazonais, que impactam diretamente na demanda e na disponibilidade de recursos hídricos. A análise desses fatores permitirá avaliar como as condições externas podem modificar a eficiência das intervenções e afetar o equilíbrio entre oferta e demanda de água, além dos desafios impostos ao sistema de esgotamento sanitário e drenagem.

Por fim, será discutida a influência da percepção da população, ou seja, como os habitantes locais e os turistas compreendem as soluções implementadas, sua disposição para aderir às medidas propostas e como suas práticas cotidianas afetam os resultados do sistema. A colaboração da comunidade e o engajamento social são aspectos cruciais para o sucesso de qualquer intervenção em gestão hídrica, especialmente em locais como a Ilha do Mel, que enfrenta desafios únicos relacionados ao turismo e à preservação ambiental.

A separação e a coleta adequada de resíduos sólidos em Encantadas são de extrema importância, considerando que se trata de uma área de preservação ambiental onde a gestão responsável dos resíduos é essencial para minimizar impactos ao ecossistema local. Embora essa medida não tenha sido avaliada na modelagem utilizada neste estudo, sugere-se que, em pesquisas futuras, sua incorporação como uma medida relacionada a drenagem pluvial, isso porque os resíduos sólidos, especialmente em áreas de alta circulação turística, podem interferir diretamente no funcionamento dos sistemas, obstruindo canais e agravando problemas como alagamentos e degradação ambiental. Essa inclusão permitirá uma abordagem mais abrangente, integrando o modelo a um planejamento de saneamento básico, essencial para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável da região.

Assim, a matriz de cálculo utilizada para a análise dos dados, a simulação geral realizada pelo modelo e o resumo dos resultados obtidos foram detalhados no APÊNDICE 1 e 3.

## 5.1 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

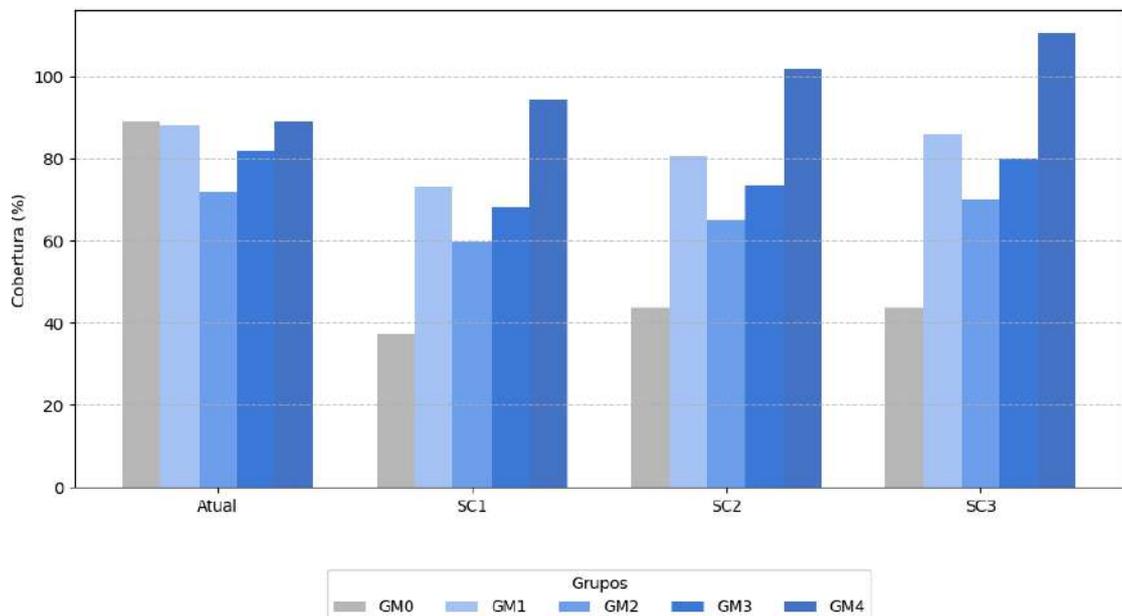
### 5.1.1 Cobertura de Abastecimento de Água

A análise da cobertura do abastecimento de água ao longo dos diferentes cenários e grupos de medidas demonstra como intervenções específicas e fatores externos influenciam a disponibilidade e distribuição de água na comunidade de Encantadas, conforme Gráfico 1.

No cenário atual, que reflete as condições atuais de abastecimento sem intervenções, o grupo GM0 apresenta o menor valor de cobertura (89,03%). Já o GM4, que considera a aplicação de todas as medidas, apresenta a maior cobertura (110,52%). Isso evidencia o impacto positivo de estratégias integradas na melhoria da cobertura do abastecimento.

As porcentagens que ultrapassam 100% não indicam um erro, mas sim um adicional projetado no sistema. Essa "folga" reflete a capacidade excedente do sistema em relação à demanda da população atual. Com as medidas propostas, seria possível atender 100% da população estimada e, ainda, acomodar um número maior de pessoas, caso necessário.

Gráfico 1. Cobertura do Sistema de Abastecimento de água.



No C1, considerando o aumento populacional, observa-se que a cobertura de abastecimento diminui de forma significativa no GM0, caindo para 37,30%. Isso indica que o sistema atual é insuficiente para atender a uma demanda maior sem intervenções. Por outro lado, o GM4 consegue manter um nível de cobertura satisfatório (94,42%), mostrando que a combinação de todas as medidas é eficaz para mitigar o impacto do aumento da população. O GM1, que inclui conscientização, redução de perdas e expansão do sistema, também apresenta uma melhoria significativa em relação ao GM0, com 73,44% de cobertura.

O aumento da temperatura, associado a um maior consumo per capita de água, reduz a cobertura para 43,66% no cenário sem intervenções (GM0). Essa redução reflete a maior pressão sobre os recursos hídricos causada pelas condições climáticas adversas. Com medidas como o uso da água da chuva e a redução de perdas no sistema (GM2), o índice melhora para 65,16%. Quando todas as medidas integradas são renovadas (GM4), a cobertura alcança 101,81%, superando a condição atual e conferindo maior resiliência ao sistema frente às mudanças climáticas.

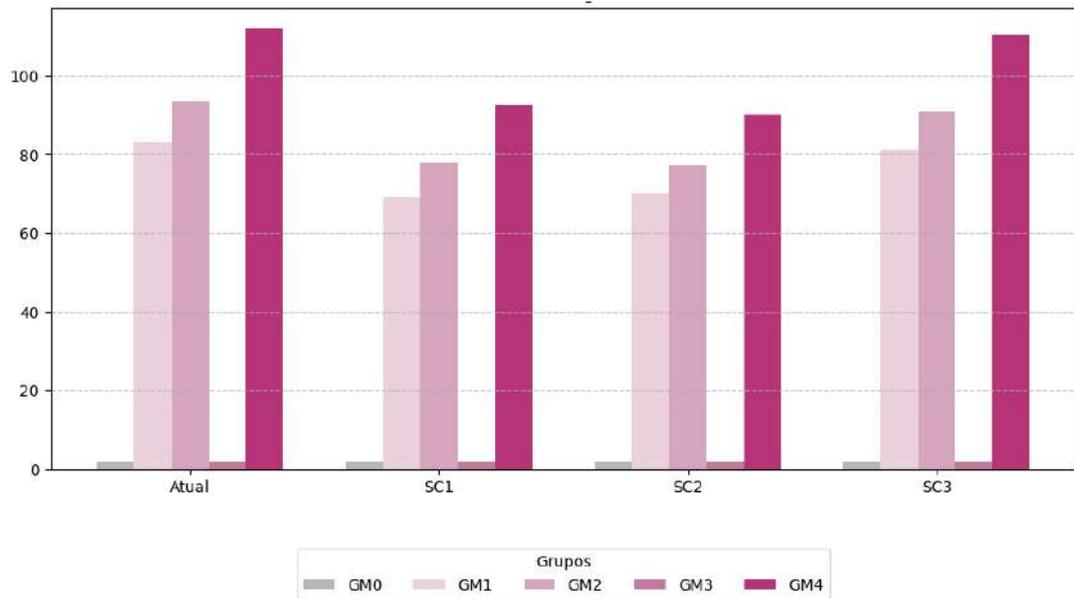
No C3, que avalia o impacto do aumento da intensidade pluviométrica, os resultados indicam que as medidas de engenharia voltadas ao uso da água da chuva são particularmente relevantes. O GM0 continua com uma cobertura de 43,66%, similar ao C2, enquanto o GM4 alcança 110,52%, garantindo uma excelente cobertura. O GM3 também se destaca, com 101,82%, indicando que o uso racional da água combinado com a utilização da água da chuva e a redução de perdas são soluções eficazes para este cenário.

A análise dos dados demonstra que o GM0, sem a implementação de qualquer intervenção, é incapaz de sustentar a cobertura do abastecimento de água em cenários futuros, especialmente no C1 (aumento populacional). O GM1, GM2 e GM3 que introduzem intervenções mais específicas, mostram melhorias significativas, mas o maior desempenho é observado no grupo GM4. A combinação de medidas que integram conscientização, uso da água da chuva, redução de perdas e expansão do sistema permite alcançar uma cobertura acima de 100%, garantindo resiliência mesmo em cenários adversos.

### 5.1.2 Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário

A análise dos dados de cobertura do sistema de esgotamento sanitário revela os impactos de diferentes cenários futuros e grupos de medidas propostas, destacando como intervenções específicas podem influenciar a eficiência do sistema, Gráfico 2.

Gráfico 2. Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário.



No cenário atual, sem intervenções (GM0), a cobertura do sistema de esgoto é considerada como quase nulo, evidenciando a limitação do sistema vigente em Encantadas. Os grupos GM1 e GM2, que incluem expansão do sistema de esgoto e tratamento, alcançam coberturas mais elevadas, com 83,04% e 93,42%, respectivamente. O GM4, que considera todas as intervenções, apresenta o melhor desempenho, atingindo uma cobertura de 111,42%, indicando a eficácia da combinação de medidas no cenário presente.

Com o aumento da população no C1, a cobertura do sistema sem intervenções permanece nulo no GM0, destacando a incapacidade do sistema atual de atender a uma maior demanda. Já o GM1, que inclui conscientização para redução do consumo de água e a expansão do sistema de esgoto, mostra uma cobertura reduzida para 69,10%, sugerindo que a pressão populacional dificulta a eficiência das intervenções parciais. O GM2, que utiliza água da chuva e inclui a expansão do sistema de esgoto, alcança 77,74%, demonstrando maior resiliência. O

GM4, com todas as medidas aplicadas, consegue atingir 92,72%, destacando sua eficiência mesmo em condições de alta demanda.

No C2, o GM1 e GM2 apresentam desempenhos similares aos do C1, com 69,83% e 77,24%, respectivamente. O GM4 alcança 90,18%, demonstrando que a combinação de todas as medidas é capaz de manter a eficiência mesmo em cenários de variações climáticas. O GM3, que não intervém diretamente no sistema de esgoto, não apresenta melhorias em relação ao GM0, mantendo a cobertura nula.

O C3, que considera o aumento da intensidade pluviométrica, apresenta resultados mais positivos, especialmente nos grupos que incluem medidas de manejo de água da chuva. O GM1 e GM2 apresentam melhorias em relação aos cenários anteriores, alcançando 80,89% e 91,00%, respectivamente. O GM4, com todas as intervenções integradas, atinge o melhor desempenho com uma cobertura de 108,53%, evidenciando que as medidas propostas são altamente eficazes para lidar com o aumento da precipitação e seus impactos no sistema de esgoto.

Assim, o GM1 e GM2 mostram melhorias progressivas com a introdução de intervenções específicas, mas enfrentam limitações em cenários de alta pressão populacional (C1). O GM3, que foca na redução do consumo de água sem intervenções diretas no sistema de esgoto, não contribui significativamente para a cobertura do esgotamento sanitário. Por outro lado, o GM4, que integra todas as medidas, demonstra o melhor desempenho em todos os cenários, alcançando coberturas superiores a 100%, o que reflete a capacidade de atender à demanda e garantir eficiência.

É importante destacar que um sistema de tratamento de esgoto capaz de atingir 80% de eficiência pode ser composto por um tanque séptico seguido de wetlands construídos. Segundo Von Sperling (2007), o tanque séptico pode realizar o pré-tratamento do esgoto doméstico, promovendo a sedimentação de sólidos e a decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Esse processo reduz significativamente a carga de sólidos suspensos e matéria orgânica no efluente, alcançando uma eficiência estimada de 50% a 60%. Após essa etapa, o efluente pode ser encaminhado para o sistema de wetlands construídos, projetado como fluxo subsuperficial horizontal ou vertical. Von Sperling (2007) ainda destaca o uso combinado de tanque séptico e wetlands, onde o sistema de raízes atua como uma etapa complementar no tratamento dos efluentes gerados pelo tanque séptico. Esse

sistema utiliza plantas macrófitas juntamente com substratos como areia e brita, para realizar processos de filtração física, degradação biológica e absorção de nutrientes, complementando o tratamento com a remoção adicional de 30% a 50% de poluentes.

Combinando o tanque séptico e os wetlands construídos, pode-se atingir uma eficiência global de 80% na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes, tornando essa solução viável para comunidades como Encantadas. Além de oferecer baixo custo operacional e manutenção simplificada, pode ser considerado um sistema ambientalmente sustentável, integrando-se ao ambiente natural. Contudo, é importante considerar a necessidade de áreas disponíveis para sua instalação e a realização de manutenções regulares para preservar a eficiência do sistema e a saúde das plantas envolvidas.

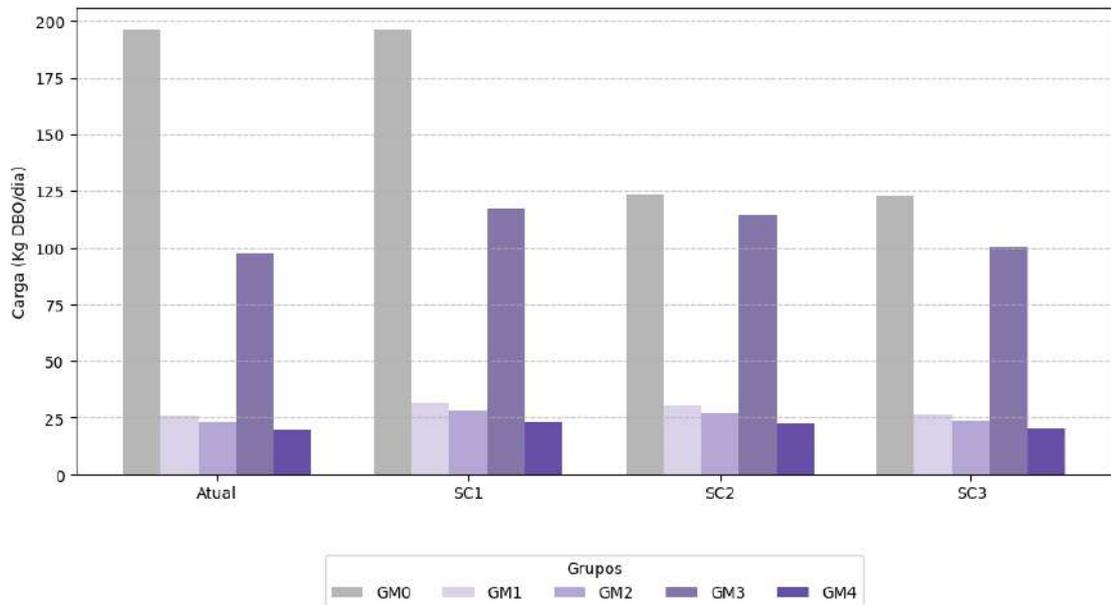
Assim, a instalação de um sistema de tratamento de esgoto que combine tanque séptico e wetlands exige a realização de estudos específicos tanto para avaliar sua viabilidade quanto para garantir um dimensionamento adequado às condições locais. Além disso, é necessário elaborar um plano de monitoramento da qualidade do efluente tratado e um cronograma de manutenção para garantir sua eficácia a longo prazo. Esses aspectos técnicos reforçam a importância de estudos aprofundados para assegurar que a implantação desse sistema seja eficiente, sustentável e adaptada à realidade local.

### 5.1.3 Carga de DBO

A análise da carga de DBO do esgoto doméstico evidencia o impacto das intervenções propostas e dos cenários futuros na redução da carga poluente gerada, Gráfico 3.

No cenário atual, sem intervenções (GM0), a carga de DBO permanece alta, em 196,03 kg/dia. O GM1, que inclui conscientização e expansão do sistema de esgoto, reduz significativamente a carga para 26,21 kg/dia. O GM2, ao integrar o uso de água da chuva, diminui ainda mais a carga para 23,30 kg/dia. O GM3, que não aplica intervenções diretas no esgotamento sanitário, apresenta uma carga de 97,70 kg/dia, enquanto o GM4, com todas as medidas combinadas, reduz drasticamente a carga para 19,54 kg/dia.

Gráfico 3. Carga de DBO do esgoto doméstico.



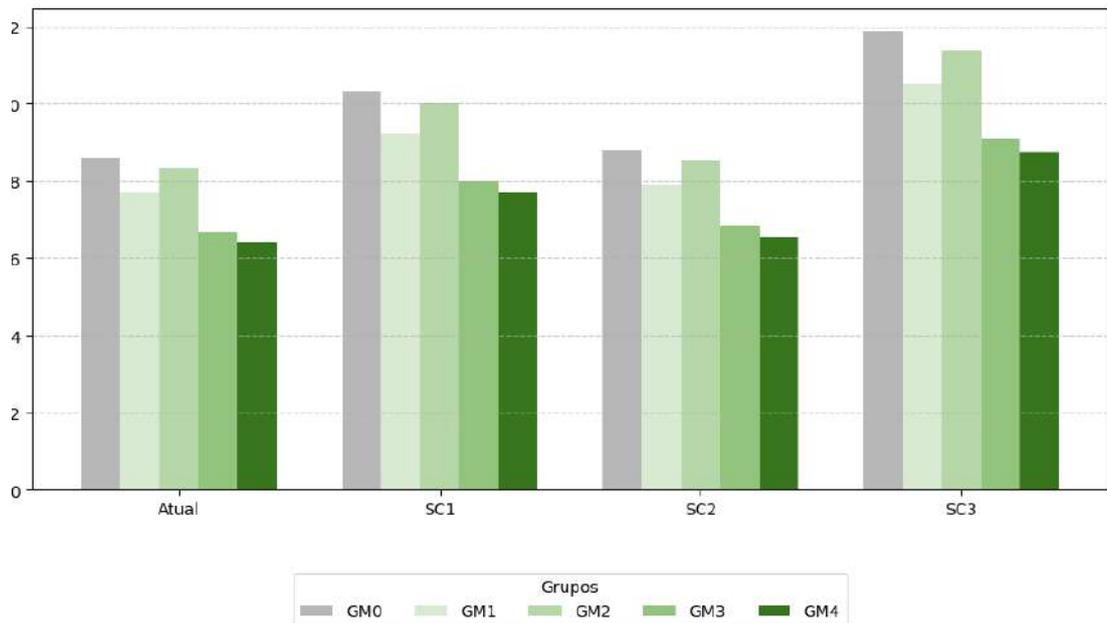
No C1, o GM1 e o GM2 apresentam cargas maiores do que no cenário atual, com 31,50 kg/dia e 28,00 kg/dia, respectivamente, devido ao aumento da geração de esgoto. O GM3 atinge uma carga alta, de 117,39 kg/dia, enquanto o GM4 demonstra sua eficácia, reduzindo a carga para 23,47 kg/dia.

O GM0, sem intervenções, continua resultando em cargas de DBO elevadas, especialmente nos cenários com aumento populacional. O GM1 e o GM2 mostram reduções significativas, mas sua eficácia é limitada em cenários extremos. O GM3, com intervenções limitadas ao uso racional e à captação de água da chuva, não possui medidas diretas com intervenções no tratamento de esgoto, consequentemente demonstra desempenho inferior. Por outro lado, o GM4, que combina todas as medidas de intervenção, se destaca como a abordagem mais eficaz, reduzindo consistentemente a carga de DBO em todos os cenários.

#### 5.1.4 Vazão da exutória

A análise da vazão da exutória (l/s), considerando os cenários futuros e as intervenções propostas, demonstra como as medidas de gestão impactam na redução das vazões, promovendo uma melhor eficiência do sistema de esgoto e mitigando os efeitos adversos de mudanças populacionais e climáticas, Gráfico 4.

Gráfico 4. Vazão da exutória da Bacia Hidrográfica (l/s).



No cenário atual, sem intervenções (GM0), a vazão da exutória é de 8,59 l/s, refletindo a ausência de melhorias. O GM1, que inclui medidas de conscientização e expansão do sistema, reduz a vazão para 7,69 l/s, enquanto o GM2, que considera o uso da água da chuva, apresenta uma vazão de 8,33 l/s. O GM3, que combina conscientização e uso da água da chuva, atinge uma vazão de 6,66 l/s, igual ao GM1. Já o GM4, com todas as intervenções, alcança a menor vazão de 6,39 l/s.

No C2, o aumento da temperatura impacta a vazão, que no GM0 alcança 8,82 l/s. O GM1 e o GM2 reduzem essas vazões para 7,89 l/s e 8,55 l/s, respectivamente. O GM3 e GM4 demonstra um desempenho ainda melhor, com uma vazão de 6,84 l/s e 6,56 l/s, respectivamente.

Com o aumento da intensidade pluviométrica no C3, o GM0 registra a maior vazão de 11,76 l/s. As intervenções do GM1 e GM2 reduzem as vazões para 10,51 l/s e 11,40 l/s, respectivamente. O GM3 e GM4 se destacam com uma vazão de 9,12 l/s e 8,75 l/s.

Os resultados demonstraram que os Grupos de Medidas GM3 e GM4 apresentaram as menores vazões em todos os cenários analisados, o que pode ser atribuído à consideração da medida de redução do coeficiente de *Runoff* nas vias de tráfego. Essa intervenção, ao diminuir a quantidade de escoamento superficial

gerado durante eventos de precipitação, contribui diretamente para a redução da vazão da exutória na bacia hidrográfica.

A diminuição da vazão nos grupos de medidas reforça a relevância de sistemas de drenagem adequados e do uso de soluções integradas, como a captação e o armazenamento de água da chuva, além da redução de escoamento superficial.

Uma das sugestões de medidas de intervenção no sistema de drenagem da Ilha do Mel é a instalação de pavers permeáveis nas trilhas de maior tráfego. Esse tipo de dispositivo pode como um micro reservatório, permitindo a infiltração da água da chuva no solo, reduzindo o escoamento superficial e os riscos de alagamento em regiões críticas. A implementação dessa solução em trilhas estratégicas pode melhorar a gestão das águas pluviais, mitigando problemas relacionados a acúmulo de água em períodos de chuvas intensas. No entanto, essa medida de intervenção é uma suposição, sendo recomendável que estudos específicos sejam realizados para a região, a fim de validar e ajustar essa estimativa.

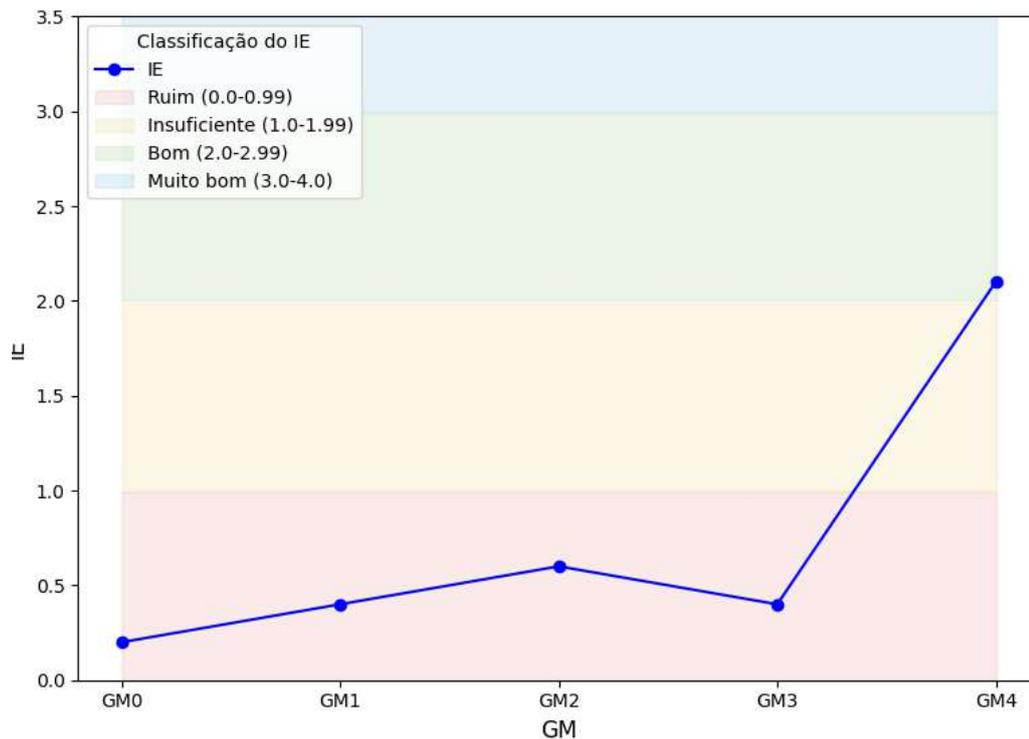
Assim, os índices de efetividade obtidos com a aplicação do UWU no estudo de caso estão apresentados na Tabela 9. O grupo de medidas GM4 (M1, M3, M4, M5, M6, M7 e M10) foi o que atingiu o melhor resultado, com IE de 2,1, classificado como bom. Os resultados são ilustrados no Gráfico 5.

Tabela 9. Resultado do Índice de Efetividade da simulação.

<b>GRUPO DE MEDIDAS</b>	<b>EI</b>
GM0	0,2
GM1	0,4
GM2	0,6
GM3	1,2
GM4	2,1

Para o GM0 (sem nenhuma medida), a classificação ruim mostra que o sistema tradicional de prestação de serviços não é sustentável a longo prazo, enquanto para o GM1, GM2 e GM3 o valor é um pouco maior, onde a aplicação das medidas que considera o uso consciente da água, o reaproveitamento da água da chuva, redução das perdas e a expansão da cobertura do tratamento de esgoto mostraram um resultado que não atingiu de forma suficiente os objetivos estabelecidos, sendo categorizados como “ruim”.

Gráfico 5. Índice de efetividade.



Como pode ser observado, o GM4 foi o grupo mais efetivo considerando os parâmetros fixados para as simulações, considerando a aplicação de todas as medidas de intervenções em conjunto, apresentando resultado considerado “bom”. Dentre as medidas simuladas, a cobertura do sistema de abastecimento de água superou a visão nos cenários 2 e 3 com esse grupo de medida. Além disso, a carga de DBO e a vazão da exutória atingiram a visão em todos os cenários, evidenciando que as medidas se mostraram como uma boa combinação para a área de estudo.

## 5.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS GRUPOS DE MEDIDA

No Cenário 1, que considera o aumento populacional de 0,1% a.a. para 0,7% a.a., observa-se uma grande pressão sobre o sistema de abastecimento de água, resultando em desafios significativos para manter a cobertura atual. Sem intervenções, no GM0, a cobertura, que atualmente é de 89,03%, cairá drasticamente para 37,30%. Essa situação evidencia a incapacidade do sistema de atender à crescente demanda, comprometendo o acesso à água potável, a saúde pública e a qualidade de vida da população local.

Com a aplicação de medidas, observa-se uma melhoria considerável na cobertura. No GM1, que propõe a redução do consumo efetivo de água por meio de campanhas de conscientização e incentivo ao uso racional, a cobertura sobe para

73,44%. Isso demonstra que estratégias focadas na educação ambiental e na modificação de comportamentos podem trazer resultados significativos sem a necessidade de grandes investimentos em infraestrutura. Essa abordagem não apenas reduz a pressão sobre o sistema, mas também fomenta uma relação mais sustentável com os recursos hídricos.

No GM2, que considera o aproveitamento da água da chuva, a cobertura do abastecimento atinge 59,84%. Embora essa solução também seja eficiente, o impacto é menor em comparação ao uso racional da água proposto no GM1.

É importante destacar que o reaproveitamento da água da chuva, embora seja uma possível intervenção, precisa ser cuidadosamente analisado antes de sua implementação em residências. Essa prática interfere diretamente no ciclo hidrológico, uma vez que a água da chuva que cai nos telhados, em condições normais, escoar para as galerias pluviais e retorna aos corpos hídricos, como rios e lagos, na mesma bacia hidrográfica. Quando essa água é captada e utilizada em usos domésticos, como em descargas sanitárias, ela passa a retornar ao ambiente como esgoto, que será direcionado para uma estação de tratamento e, posteriormente, descartado em um corpo hídrico. Muitas vezes, esse corpo hídrico não pertence à mesma bacia hidrográfica de origem, alterando os fluxos naturais de água e podendo comprometer o balanço hídrico local. Por isso, é fundamental que o reaproveitamento da água da chuva seja planejado de forma integrada, considerando o impacto nos ciclos naturais e avaliando a sustentabilidade da medida em longo prazo.

No contexto do Cenário 1, o GM4, que integra todas as medidas propostas incluindo o uso racional da água, o reaproveitamento da água da chuva e a redução de perdas no sistema, apresenta o melhor desempenho em termos de cobertura de abastecimento de água. Com a aplicação dessas intervenções de forma combinada, a cobertura atingiria 94,42%. Esse aumento significativo demonstra que a adoção de soluções integradas é altamente eficaz para enfrentar os desafios associados ao crescimento populacional, garantindo não apenas a ampliação da cobertura, mas também a sustentabilidade do sistema em longo prazo.

Dessa forma, destaca-se a relevância dos Grupos de Medidas, pois, à medida que são implementados, promovem melhorias no desempenho dos indicadores, garantindo melhores condições para cenários futuros. Essa análise evidencia a influência das intervenções da engenharia por meio da aplicação dos

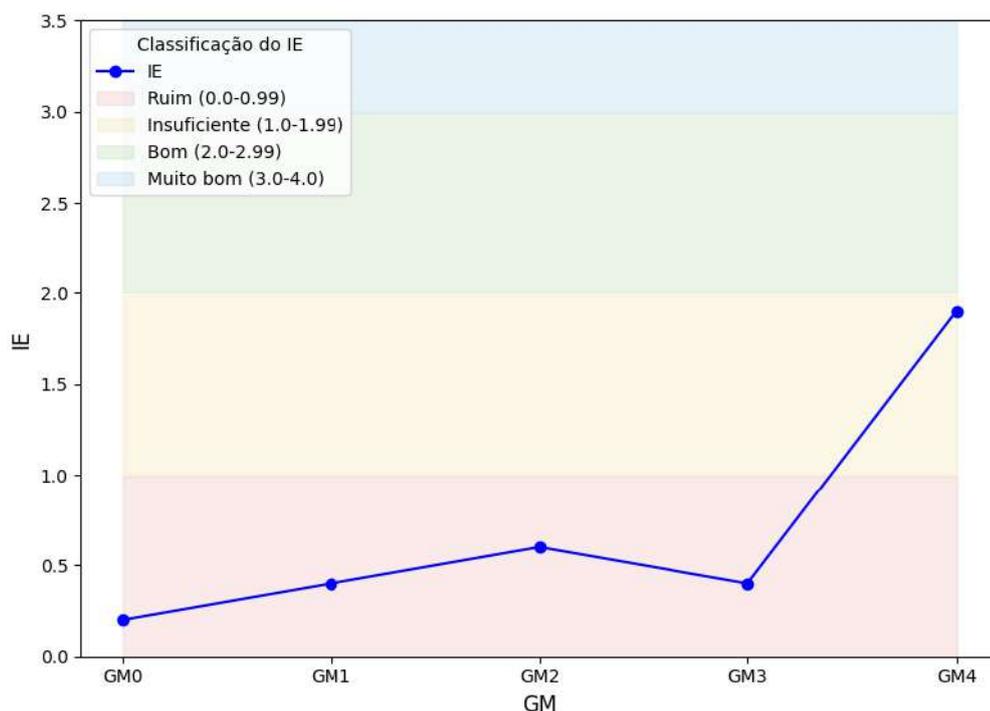
grupos de medidas (GMs) e como essas ações podem impactar o sistema de abastecimento de água no horizonte de 30 anos. Além disso, oferece subsídios para que as intervenções sejam aprimoradas e melhor escolhidas, permitindo a elaboração de estratégias mais eficazes e adaptadas às realidades locais.

### 5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Com as mudanças climáticas, os fatores externos que impactam o abastecimento de água, como o aumento da temperatura e a intensidade das chuvas, tendem a se intensificar, trazendo desafios adicionais à gestão dos recursos hídricos. Para compreender esses impactos e avaliar a resiliência do sistema de abastecimento na comunidade de Encantadas, foi realizada uma simulação considerando alterações significativas nos parâmetros climáticos: a temperatura média foi ajustada de 25°C para 30°C, e a intensidade pluviométrica, de 3,34 mm/h para 6 mm/h. Essas variações permitem analisar como o sistema responde a cenários extremos e a eficácia das medidas propostas para garantir a sustentabilidade e a eficiência no longo prazo.

Na análise anterior, o GM4 obteve um índice de efetividade de 2,1, considerado "bom", mas com um aumento nos fatores das mudanças climáticas, esse índice caiu para 1,9, sendo classificado como "insuficiente", conforme Gráfico 6.

Gráfico 6. Índice de efetividade relacionado a alteração dos fatores externos.



Os GM1 e GM2 apresentaram um comportamento semelhante, com um índice de efetividade de 0,4 e 0,6, respectivamente, evidenciando que as medidas implementadas nesses grupos não são suficientes para lidar com os desafios impostos pela intensificação das mudanças climáticas. O GM3, que na análise anterior obteve um índice de 0,4, também apresentou o mesmo resultado, mantendo-se como "insuficiente". Destaca-se que as medidas de redução de consumo e perdas, embora úteis, precisam ser complementadas com estratégias mais adaptativas caso ocorra o aumento expressivo dos fatores naturais.

A análise demonstrou que as mudanças climáticas afetam diretamente não apenas a cobertura de abastecimento de água e esgoto, mas também influenciam a carga de DBO e a vazão da exutória. O aumento da temperatura leva ao aumento no consumo de água efetivo, o que, por sua vez, provoca um crescimento na produção de esgoto doméstico e uma maior carga de DBO. Por exemplo, no GM2, a cobertura do sistema de abastecimento de água (SAA), que inicialmente era de 65,16%, caiu para 64% com o aumento da temperatura. A cobertura do sistema de esgoto também diminuiu de 77,24% para 76% sob o mesmo efeito climático.

O impacto da intensificação pluviométrica foi ainda mais evidente, com a vazão da exutória do GM2 aumentando significativamente, de 11,40 l/s para 15,37 l/s. Esse aumento na vazão evidencia que o incremento da intensidade das chuvas requer a implementação de medidas adicionais para gerenciar adequadamente a drenagem e reduzir a vazão. Isso reforça a necessidade de revisar e aprimorar as intervenções para garantir que o sistema de drenagem e o manejo de águas pluviais sejam adequados às novas condições climáticas, prevenindo problemas de alagamentos e sobrecarga dos sistemas de esgoto e drenagem.

Em suma, as mudanças climáticas têm um impacto significativo na eficiência das medidas de engenharia aplicadas e demonstram que, para manter a efetividade dos sistemas de abastecimento e esgoto, é necessário adotar estratégias mais robustas e adaptativas, que considerem o aumento da temperatura e a maior intensidade de chuvas.

Essa análise demonstra o impacto das simulações considerando fatores naturais, como o aumento da temperatura e a intensificação pluviométrica, que são influências externas e incontroláveis. Esses fatores naturais, que estão além do controle humano, afetam diretamente a eficiência das intervenções de engenharia aplicadas, como o uso racional da água, o reaproveitamento da água da chuva e a

expansão dos sistemas de abastecimento e esgoto. A análise revela que, à medida que essas condições climáticas variam, a cobertura do abastecimento de água, do esgoto e os índices de carga de DBO e vazão exutória sofrem mudanças significativas, reforçando a necessidade de um planejamento estratégico para se adaptar continuamente aos efeitos das mudanças climáticas, que não podem ser controlados diretamente.

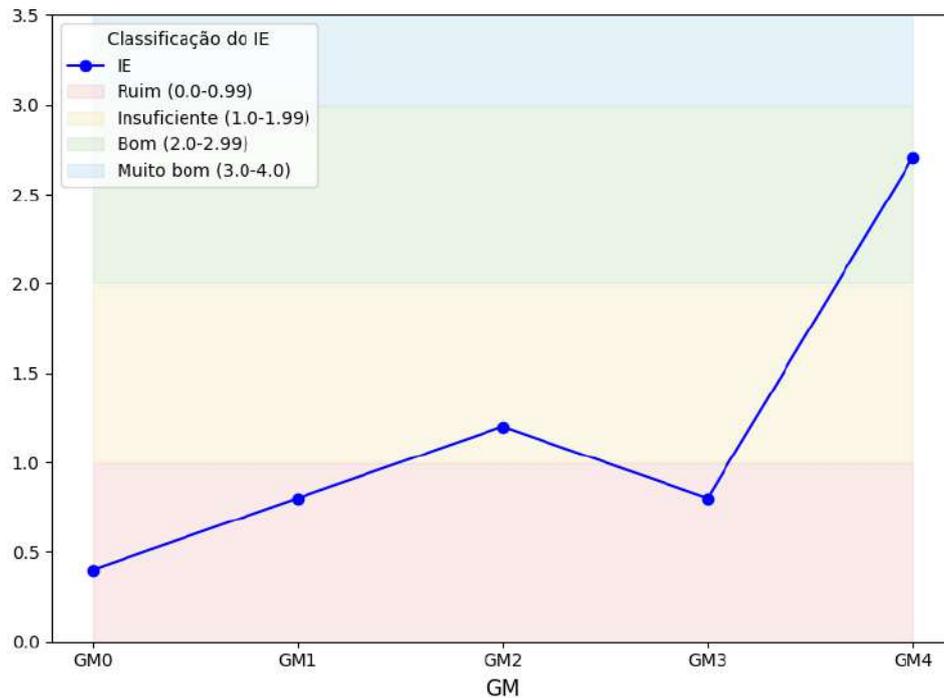
#### 5.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PESOS

A influência da população na escolha dos pesos para os indicadores e medidas no modelo UWU é crucial, pois reflete as prioridades e desejos da comunidade em relação à gestão de recursos hídricos. O índice de efetividade é calculado com base na visão da população, ou seja, nas metas que ela estabelece para o funcionamento dos indicadores, como a cobertura do sistema de água e esgoto, a carga de DBO e a vazão da exutória. Além de determinar quais indicadores são mais importantes, a população também define os pesos das medidas, priorizando aquelas que considera mais urgentes ou necessárias para melhorar a qualidade de vida local.

Conforme o Gráfico 7, em uma simulação, foi dada prioridade a carga de DBO e a vazão da exutória, aumentando o peso desses indicadores de 0,2 para 0,40, enquanto a cobertura do sistema de abastecimento de água e esgoto tiveram seus pesos reduzidos para 0,1. Como resultado, houve um aumento significativo na efetividade dos grupos de medidas. O GM1 e o GM2 tiveram um aumento no índice de efetividade, passando de 0,4 para 0,8 e de 0,6 para 1,2. O GM3, que antes obteve um índice de 0,4 subiu para 0,8 e o GM4 quase alcançou a classificação de "muito bom", com um índice de 2,1 para 2,7.

Esse resultado demonstra que a ferramenta UWU permite uma análise da situação de acordo com as necessidades e desejos da população local, proporcionando uma visão mais precisa e adaptada à realidade da comunidade. Ao permitir que a população escolha as prioridades e ajuste os pesos das medidas, o modelo torna-se uma ferramenta flexível e eficaz para a formulação de estratégias de intervenção que busquem atingir as metas estabelecidas da melhor forma possível, alinhando os resultados com as expectativas da comunidade.

Gráfico 7. Índice de efetividade da simulação com alteração dos pesos.



Essa abordagem integrada permitirá uma avaliação mais completa e precisa do impacto das intervenções e fornecerá subsídios para o aprimoramento das políticas públicas e estratégias de gestão ambiental para a Ilha do Mel.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas ao longo deste trabalho permitiram compreender as dinâmicas da gestão hídrica urbana na comunidade de Encantadas, Ilha do Mel, considerando diferentes cenários futuros e intervenções propostas. No cenário atual, constatou-se que os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário apresentam limitações que comprometem a sustentabilidade do desenvolvimento local, principalmente em períodos de maior demanda, como a alta temporada turística. As intervenções sugeridas, organizadas em diferentes Grupos de Medidas (GM), demonstraram impactos significativos na melhoria dos indicadores analisados, evidenciando o potencial das soluções integradas.

No abastecimento de água, os cenários futuros (aumento populacional, aumento da temperatura e intensificação pluviométrica) destacaram os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo aumento da pressão sobre os recursos naturais. Medidas como a redução do consumo efetivo de água, o uso da água da chuva e a expansão do sistema de abastecimento apresentaram resultados

promissores na ampliação da cobertura e na mitigação dos efeitos adversos. No entanto, os cenários sem intervenções (GM0) reforçaram a necessidade de ações urgentes, dado o impacto negativo da inércia no sistema hídrico.

A análise das cargas de poluentes também reforçou a eficácia das intervenções. Como alternativa, propõe-se a implementação de soluções coletivas de tratamento, como um sistema que combina um tanque séptico com sistema de wetlands. Essa abordagem pode representar uma estratégia eficaz para mitigar os desafios relacionados ao tratamento de efluentes.

Medidas que reduziram o coeficiente de *Runoff* nas vias de tráfego, presentes nos GM3 e GM4, demonstraram um impacto direto na diminuição das vazões e na mitigação de alagamentos em regiões críticas, evidenciando a importância de intervenções estruturais na drenagem.

Por fim, este estudo ressalta a importância de uma abordagem integrada e multidisciplinar na gestão hídrica urbana, que considere não apenas os fatores técnicos e ambientais, mas também a percepção e o engajamento da comunidade local. A utilização de ferramentas de apoio à decisão foi essencial para modelar diferentes cenários e avaliar os impactos das intervenções propostas, oferecendo base técnica para a tomada de decisões mais assertivas. Assim, conclui-se que a implementação das medidas discutidas neste trabalho pode contribuir significativamente para a sustentabilidade hídrica e ambiental da comunidade de Encantadas, promovendo um equilíbrio entre o desenvolvimento local e a conservação dos recursos naturais da Ilha do Mel. Uma vez que a ausência de medidas de intervenção eficazes para lidar com os desafios do ciclo urbano da água em Encantadas pode comprometer seriamente a sustentabilidade hídrica da região até 2054.

Além disso, uma vez que o modelo esteja devidamente parametrizado para a área de estudo, é possível realizar diversas simulações que permitem aprofundar a análise de diferentes cenários e intervenções. Essa flexibilidade possibilita explorar uma ampla gama de variáveis, como alterações nos padrões climáticos, mudanças nos hábitos de consumo da população ou até mesmo a introdução de novas tecnologias de gestão hídrica e sanitária.

Diante dos desafios apresentados pelo aumento do turismo e da carência de infraestrutura adequada na Ilha do Mel, este estudo buscou responder como a utilização atual da região afeta a sustentabilidade dos recursos hídricos e de que

forma a aplicação de uma ferramenta de apoio à decisão pode contribuir para uma gestão mais integrada e sustentável. A análise dos dados e os resultados obtidos valida a hipótese inicial de que a sustentabilidade da ilha está, de fato, sob risco, especialmente devido à pressão sobre os sistemas de saneamento básico.

As simulações realizadas com o modelo UWU demonstraram que intervenções planejadas de forma integrada e fundamentadas em uma abordagem que considere as dimensões sociais, ambientais e econômicas, podem mitigar esses riscos. Essas intervenções não apenas reduzem os impactos negativos, mas também promovem melhorias na qualidade de vida da comunidade local e a preservação ambiental.

Portanto, o primeiro objetivo foi atingido, com a coleta e análise de dados técnicos abrangentes sobre a Ilha do Mel, incluindo informações ambientais, geográficas e socioeconômicas. Essas informações formaram uma base de dados robusta, essencial para a adaptação do modelo UWU às particularidades locais. O segundo objetivo, que envolveu a aplicação do UWU, permitiu identificar e hierarquizar medidas de conservação e desenvolvimento sustentável adequadas às necessidades específicas da área de estudo.

Contudo, o último objetivo “propor diretrizes completas para promover a sustentabilidade ambiental na Ilha do Mel” não foi alcançado em sua totalidade. Embora o estudo tenha apontado caminhos promissores, com práticas de gestão integrada, a formulação de diretrizes abrangentes exige análises complementares e maior envolvimento da comunidade local. Dessa forma, o tal objetivo se mantém como uma sugestão para trabalhos futuros, reforçando a importância de estudos colaborativos e interdisciplinares para garantir a sustentabilidade da Ilha do Mel e de outras comunidades costeiras em contextos semelhantes.

Por fim, este trabalho reforça a necessidade de planejar o saneamento básico em Encantadas com base em dados quantitativos e análises técnicas, como as fornecidas pelo UWU. O estudo contribui como uma base técnica para futuros planos, evidenciando que a integração de soluções é fundamental para enfrentar os desafios do desenvolvimento sustentável, especialmente em áreas de proteção ambiental. Além disso, destaca-se que, embora as medidas propostas possam melhorar significativamente o desempenho dos sistemas, a gestão integrada requer também políticas públicas eficazes, maior prioridade governamental e a conscientização da comunidade local para alcançar resultados duradouros.

Assim, espera-se que este trabalho sirva como referência para embasar estudos técnicos, como Planos de Saneamento Básico, utilizando modelos matemáticos, como o UWU. Isso pode garantir que as decisões sejam fundamentadas em dados quantitativos, complementando as análises qualitativas e promovendo soluções mais eficientes e justificadas tecnicamente.

## REFERÊNCIAS

- BAHRI, A. Integrated Urban Water Management. Suécia: TEC Background Papers, 2012.
- BEHZADIAN, K.; KAPELAN, Z. Modelagem do desempenho baseado no metabolismo de um sistema de água urbano usando WaterMet2. Recursos, Conservação e Reciclagem, Elsevier, v. 99, p. 84–99, 2015.
- BELCHIOR, CC Gestão Costeira Integrada. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- Bonifácio, A. C., Santos, Y. S. Mobilização coletiva e a proteção judicial ambiental: os principais desafios nos termos da constituição federal de 1988. DOI: 10.18623/rvd.v17i37.1494.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidente da República, [2016].
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 1997.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Política Nacional de Saúde Ambiental para o setor saúde. Brasília: Secretaria de Políticas de Saúde, 1999.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. DATASUS, 2013.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB, 2014.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNSIS, 2015.
- BRANDON, K.; FONSECA, G.; RYLANDS, A.; SILVA, J. M. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. Megadiversidade, v. 1, p. 7-13, 2005.
- CARNEIRO, M. Sistemas Individuais Alternativos de Tratamento de Esgoto Sanitário. 2018. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- CAVALCANTE, J. S. I.; ALOUFA, M. A. I. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil: uma análise qualitativa do plano nacional de gerenciamento costeiro. Universidade do Contestado, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.24302/drd.v8i2.1815>>.

DESTRO, C. A. M. The Urban Water Use Model as a Tool to Support the Evaluation of Sustainable Drainage Measures in Brazilian Cities. 2016. 154 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

FERREIRA, G. L. B. Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. In: XIII Simpósio de Engenharia de Produção, UNESP, 2006.

FERREIRA, J. C. Estruturação de ferramenta baseada na infraestrutura verde e azul para a revitalização socioambiental de áreas urbanas. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

GADELHA, H. S.; MARQUES, A. T.; NETTO, F. C. B.; LIMA, M. F. O Novo Marco Regulatório do saneamento básico e o direito ao acesso à água. Research, Society and Development, 2021.

HOEPERS, T.; SANTOS, D.; FERNANDES, C. Processo de tomada de decisão para a adoção de uma gestão integrada das águas urbanas: estudo de caso sobre a participação de stakeholders em Curitiba e região metropolitana. 31º Congresso da ABES, 2021.

HOEPERS, T. R. Modelo conceitual para a elaboração de planos de saneamento urbano sob o enfoque sistêmico e o planejamento estratégico. Qualificação II de doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

HORTA, P.; PINHO, P.; GOUVEA, L. Mudanças climáticas e a zona costeira do Brasil: vulnerabilidades socioambientais e estratégias de ação. 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845.

KAWATOKO, IES Ferramentas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos para os planos municipais de saneamento básico, aplicadas ao estudo de caso de Campinas-SP. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.18.2015>.

LIRA, WS; CANDIDO, GA Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, 2013. 325 p. ISBN 9788578792824.

LOBATO. Sistema de apoio à decisão para planejamento, implementação e gestão de ações estruturais do sistema convencional e única alternativa de esgotamento sanitário e drenagem urbana para municípios. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, 2020.

LOFRANO, G.; BROWN, J. Gestão de águas residuais através dos tempos: Uma história da humanidade. Science of The Total Environment, 2010. DOI:10.1016/j.scitotenv.2010.07.062.

MOURA, VCS Impactos ambientais da urbanização: esforços da pesquisa brasileira e mapeamento e percepção de moradores na cidade de Santarém, Pará. 2019. Dissertação de Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida. Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

NETO, JMA; FERNANDEZ, M. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta e transporte, tratamento e reúso agrícola. 2. ed. São Paulo: Revista Ltda, 2011.

PARANAGUÁ. Prefeitura Municipal. Plano Municipal de Saneamento Básico de Paranaguá/PR. Produto D: Prognóstico com Anexos. Paranaguá, 2022.

PARANÁ. Governo do Estado. Plano de Controle Ambiental e Uso do Solo da Ilha do Mel. Curitiba: Imprensa Oficial do Estado, 2004.

PEREZ, ML; SILVA, JG; ROSSO, TCA Uma visão da implantação do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro no Brasil. Revista Internacional de Ciências da Engenharia e Gestão Industrial e de Sistemas do Rio, 2008.

RIBEIRO, H. Saúde Pública e meio ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. Saúde e Sociedade, 2004. DOI: 10.1590/s0104-12902004000100008.

RICHTER, K.; SANTOS, D. Modelo integrado de infraestrutura sanitária para a conservação das águas urbanas. II Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2019.

RICHTER, K.; SANTOS, D. Análise da eficiência de medidas de conservação de água em infraestrutura sanitária abordada sob o enfoque sistêmico. XVI Seminário Ibero-americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem, 2019.

RICHTER, K. Improving the urban water use model to explore synergies in urban water cycle for sustainable purpose. 283 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

SANTOS, D. C. dos; STEEN, P. Van Der. Understanding the IUWM Principles: An Activity Based on Role Play Approach. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2011.

SANTOS, Daniel. Concepção da infraestrutura sanitária urbana baseada nos sistemas prediais hidráulicos sanitários. Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, Porto Alegre: ANTAC, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1612.

SANTOS, J. C. N.; ESPERIDIÃO, F.; MOURA, F. R. Saneamento básico e os custos na saúde pública: uma análise para a região Nordeste do Brasil, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22481/ccsa.v18i31.7891>.

SENADO FEDERAL. Constituição: República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, 1988.

SPERB, M.; TELLES, D. Gestão de resíduos sólidos e turismo: o tratamento dado por meios de hospedagem e pelo setor público na Ilha do Mel, PR. Revista Rosa dos Ventos, 2014.

SILVA, R. Saneamento básico: a relação com o meio ambiente e a saúde. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2015.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. de M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. Cadernos de Saúde Pública, 2002. DOI: 10.1590/s0102-311x2002000600026.

TUCCI, C. E. M. Urban waters. Estudos Avançados, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gestão da drenagem urbana. CEPAL-IPEA, 2012.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014.

UHR, J. G. Z.; SCHMECHEL, M.; UHR, D. d. A. P. Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica. Cadernos de Saúde Pública, 2016.

VON SPERLING, M. Wastewater characteristics, treatment and disposal. Treatment and Disposal. Water Intelligence. London: IWA, 2007. DOI: 10.2166/9781780402086.

## APÊNDICE 1 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES

### A. Simulação geral

GRUPO MEDIDAS	INDICADOR	ATUAL	C1	C2	C3	VISION	N	PESOS	Nij	EI
GM0	Csaa	89,03121	37,30328	43,66295	43,66295	100	0	0,3	0	0,2
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	196,003584	196,003584	123,2557371	123,2557371	27,5	0	0,2	0	
	Qex	8,59981038	10,32666924	8,827518269	11,76121446	8,8	1	0,2	0,2	
GM1	Csaa	88,24623	73,44054	80,60036	85,96108	100	0	0,3	0	0,4
	Cses	83,04186971	69,10934427	69,83437158	80,89148042	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	26,21906284	31,50485688	30,75159939	26,91606074	27,5	1	0,2	0,2	
	Qex	7,690464872	9,234725364	7,894094887	10,51758151	8,8	1	0,2	0,2	
GM2	Csaa	71,90463	59,84068	65,16664	70,04265	100	0	0,3	0	0,6
	Cses	93,42210342	77,7480123	77,24385398	91,00291547	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	23,30583363	28,00431722	27,33475501	23,92538732	27,5	2	0,2	0,4	
	Qex	8,33639498	10,01035951	8,557128091	11,40096407	8,8	1	0,2	0,2	
GM3	Csaa	82,17672	68,38935	73,74280	80,04874	100	0	0,3	0	0,4
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	97,70208	117,3989347	114,5920143	100,2993561	27,5	0	0,2	0	
	Qex	6,669115984	8,008287608	6,845702473	9,120771259	8,8	2	0,2	0,4	
GM4	Csaa	89,03121	94,42355	101,81492	110,52138	100	2	0,3	0,6	2,1
	Cses	111,4244446	92,72997258	90,18083937	108,5390817	100	1	0,3	0,3	
	CDBO ed	19,540416	23,47978695	22,91840286	20,05987121	27,5	3	0,2	0,6	
	Qex	6,398258923	7,683041916	6,567673592	8,750343558	8,8	3	0,2	0,6	

### B. Simulação com influência dos fatores externos

GRUPO MEDIDAS	INDICADOR	ATUAL	C1	C2	C3	VISION	N	PESOS	Nij	EI
GM0	Csaa	89,03121	37,30328	43,66295	43,66295	100	0	0,3	0	0,2
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	196,003584	196,003584	123,2557371	123,2557371	27,5	0	0,2	0	
	Qex	8,59981038	10,32666924	8,827518269	15,85781725	8,8	1	0,2	0,2	
GM1	Csaa	88,24623	73,44054	80,33668	85,96108	100	0	0,3	0	0,4
	Cses	83,04186971	69,10934427	69,33555464	80,89148042	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	26,21906284	31,50485688	30,95346985	26,91606074	27,5	1	0,2	0,2	
	Qex	7,690464872	9,234725364	7,894094887	14,18100878	8,8	1	0,2	0,2	
GM2	Csaa	71,90463	59,84068	64,92875	70,04265	100	0	0,3	0	0,6
	Cses	93,42210342	77,7480123	76,63403408	91,00291547	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	23,30583363	28,00431722	27,33475501	23,92538732	27,5	2	0,2	0,4	
	Qex	8,33639498	10,01035951	8,557128091	15,37208639	8,8	1	0,2	0,2	
GM3	Csaa	82,17672	68,38935	73,43831	80,04874	100	0	0,3	0	0,4
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,3	0	
	CDBO ed	97,70208	117,3989347	114,5920143	100,2993561	27,5	0	0,2	0	
	Qex	6,669115984	8,008287608	6,845702473	12,29766911	8,8	2	0,2	0,4	
GM4	Csaa	89,03121	94,42355	101,39453	110,52138	100	2	0,3	0,6	1,9
	Cses	111,4244446	92,72997258	89,38512608	108,5390817	100	1	0,3	0,3	
	CDBO ed	19,540416	23,47978695	22,91840286	20,05987121	27,5	3	0,2	0,6	
	Qex	6,398258923	7,683041916	6,567673592	11,79821603	8,8	2	0,2	0,4	

### C. Simulação com influência dos pesos

GRUPO MEDIDAS	INDICADOR	ATUAL	C1	C2	C3	VISION	N	PESOS	Nij	EI
GM0	Csaa	89,03121	37,30328	43,66295	43,66295	100	0	0,1	0	0,4
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,1	0	
	CDBO ed	196,003584	196,003584	123,2557371	123,2557371	27,5	0	0,4	0	
	Qex	8,59981038	10,32666924	8,827518269	11,76121446	8,8	1	0,4	0,4	
GM1	Csaa	88,24623	73,44054	80,60036	85,96108	100	0	0,1	0	0,8
	Cses	83,04186971	69,10934427	69,83437158	80,89148042	100	0	0,1	0	
	CDBO ed	26,21906284	31,50485688	30,75159939	26,91606074	27,5	1	0,4	0,4	
	Qex	7,690464872	9,234725364	7,894094887	10,51758151	8,8	1	0,4	0,4	
GM2	Csaa	71,90463	59,84068	65,16664	70,04265	100	0	0,1	0	1,2
	Cses	93,42210342	77,7480123	77,24385398	91,00291547	100	0	0,1	0	
	CDBO ed	23,30583363	28,00431722	27,33475501	23,92538732	27,5	2	0,4	0,8	
	Qex	8,33639498	10,01035951	8,557128091	11,40096407	8,8	1	0,4	0,4	
GM3	Csaa	82,17672	68,38935	73,74280	80,04874	100	0	0,1	0	0,8
	Cses	0	0	0	0	100	0	0,1	0	
	CDBO ed	97,70208	117,3989347	114,5920143	100,2993561	27,5	0	0,4	0	
	Qex	6,669115984	8,008287608	6,845702473	9,120771259	8,8	2	0,4	0,8	
GM4	Csaa	89,03121	94,42355	101,81492	110,52138	100	2	0,1	0,2	2,7
	Cses	111,4244446	92,72997258	90,18083937	108,5390817	100	1	0,1	0,1	
	CDBO ed	19,540416	23,47978695	22,91840286	20,05987121	27,5	3	0,4	1,2	
	Qex	6,398258923	7,683041916	6,567673592	8,750343558	8,8	3	0,4	1,2	

## APÊNDICE 2 – MATERIAL DAS AUDIÊNCIAS PÚBLICAS

Exemplos dos relatórios de audiências públicas foram utilizados para atribuição dos pesos dos indicadores.

**PROPOSTAS**

Apresente suas propostas relacionadas ao Saneamento Básico no Município, envolvendo os setores: Água; Esgoto; Drenagem Urbana; Resíduos Sólidos e Limpeza Urbana.

Identificação Evento: Amail P. do Rosário / UTA DO AMPAS

Nome: \_\_\_\_\_

PROPOSTA 1:  
Tratamento de esgoto para aproximadamente  
150 famílias - (Esgoto sanitário).

PROPOSTA 2:  
Coleta de águas pluviais - (Sistema de drenagem para águas da chuva).

PROPOSTA 3:  
 a) Coleta de lixo seletiva.  
 b) Limpeza de boia e mangueiras (programa boia limpa).  
 c) Coleta dos resíduos sólidos.

PROPOSTA 4:  
Melhoria e ampliação do atual Sistema de abastecimento de água. (Coletas, distribuição e tratamento).

### **APÊNDICE 3 – MATRIZ DE CÁLCULOS E PARAMETRIZAÇÃO DOS DADOS**

A matriz de cálculo de simulação e a parametrização dos dados da comunidade de Encantadas para a simulação geral são detalhadas nas páginas seguintes.

SEM MEDIDAS		
CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
$SAA = \frac{Qao+Qai+Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).qe/(1-Ird)}$	$SAA = \frac{Qao+Qai+Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).(qe+a4T)/(1-Ird)}$	$SAA = \frac{Qao+Qai+Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).qe/(1-Ird)}$
$SES = \frac{Qeo-Qind-Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).qe.cr}$	$SES = \frac{Qeo-Qind-Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).(qe+a4T).cr}$	$SES = \frac{Qeo-Qind-Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).qe.cr}$
$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})]$	$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})]$	$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})]$
$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).i.Ad]$	$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).i.Ad]$	$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).i.Ad]$

COM MEDIDAS		
CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3
$SAA = \frac{Qao+Qai-Qind+Qaim+Qar+ \Delta Q1}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).[qe(1-\sum RMi)]/[1-Ird]}$	$SAA = \frac{Qao+Qai-Qind+Qaim+Qar+\Delta Q1}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).[qe(1-\sum RMi)+a4T]/[1-Ird]}$	$SAA = \frac{Qao+Qai-Qind+Qaim+Qar+ \Delta Q1}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).[qe(1-\sum RMi)]/[1-Ird]}$
$SES = \frac{Qeo+Qei-Qind-Qind+ \Delta Qe}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).cr.qe(1-\sum RMi).CRM1,3[1-Ird]}$	$SES = \frac{Qeo+Qei-Qind-Qind}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).cr.[qe(1-\sum RMi)+a4T]/[1-Ird].}$	$SES = \frac{Qeo+Qei-Qind-Qind+ \Delta Qe}{Po(1+\lambda g^{\Delta t}).cr.qe(1-\sum RMi).CRM1,3[1-Ird]}$
$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})].RCM.i.Ad$	$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})].RCM.i.Ad$	$CDBOed = [Qed.DBOed.(1-ER_{DBP})].RCM.i.Ad$
$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).CRM.(1-\sum RM).i.Ad]$	$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).CRM.(1-\sum RM).i.Ad]$	$Qex = [A(Po(1 + \lambda g^{\Delta t}) + Co).CRM.(1-\sum RM).i.Ad]$









