

Plataforma Digital Operacional de
Monitoramento e Avaliação
Socioambiental da Baía de Guanabara e
Região Costeira do Estado do Rio de Janeiro

**PLATAFORMA DIGITAL OPERACIONAL DE MONITORAMENTO E
AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DA BAÍA DE GUANABARA E
REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

**Relatório Técnico
Acompanhamento – R2
Agosto/2025**

Coordenador: Luiz Landau

Cliente:



**GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO**

Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Sumário

1. Introdução	4
1.1. Contextualização e Objetivo Geral do Projeto	4
1.2. Período de Execução do Relatório	5
2. Descrição das Etapas e Atividades Desenvolvidas	6
2.4. Atividades Desenvolvidas no período Junho a Agosto de 2025	7
2.4.1. Atividades Desenvolvidas no âmbito das Metas 1, 2, 3 e 6	9
2.4.1.1. Modelagem Ambiental	10
2.4.1.1.1. Modelagem Física Atmosférica	10
Grades Numéricas	11
Condições de Contorno	13
Parametrizações Físicas	15
Próximos Desenvolvimentos	16
2.4.1.1.2. Modelagem Regional Física Oceanográfica	16
Modelagem de Circulação Marinha - ROMS	17
Modelagem de Ondas	21
Operacionalização	21
Resultados Diários	21
Andamento do Projeto	25
2.4.2. Atividades Desenvolvidas no âmbito das Metas 8 e 9	26
2.4.2.1. Área de Abrangência do Projeto	29
2.4.2.2. Conceitos Fundamentais	30
Vulnerabilidade Social (VS)	32
Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)	33
2.4.2.3. Metodologias de Vulnerabilidade Social	34
Metodologia IVS (Cutter)	35
Metodologia IVS (VS-CES-OSIRIS)	36
2.4.2.4. Componentes da Vulnerabilidade Social	38
Criticidade (CRIT)	39
Capacidade de Suporte (CS)	40
2.4.2.5. Dados	43
Seleção da Unidade de Análise	43
Variáveis Extraídas do Censo 2010: Setor Censitário	43
Variáveis dos Municípios e Estado	46
2.4.2.5.1. Seleção das Variáveis de Entrada	46
Variáveis de Criticidade	47
Variáveis da Capacidade de Suporte	48
2.4.2.6. Elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)	51
Ferramentas Utilizadas	51

Aquisição e Integração das Informações	51
Análise Estatística: Variáveis Seleccionadas via Modelagem ACP	52
2.4.2.7. Classificação Cartográfica das Variáveis	57
2.4.2.8. Atividades Previstas para o Relatório 3	60
2.4.3. Atividades Desenvolvidas no âmbito da Meta 11	61
2.4.3.1. Planejamento da Rede de Estações Meteorológicas, Qualidade do Ar e Sensoriamento Local	62
2.4.3.2. Visitas Técnicas	63
2.4.3.2.1. Avaliação do ponto APA Guapimirim	63
2.4.3.2.2. Avaliação do Ponto na Região de Mauá (Magé)	64
2.4.3.5. Reunião de Alinhamento para a Visualização dos Produtos Gerados	66
2.4.3.6. Continuidade do Trabalho e Próximas Etapas	66
Anexo - Visitas Técnicas	68
3. Conclusões	69
Referências Bibliográficas	70

1. Introdução

Este documento corresponde ao 2º Relatório de Execução Técnica da **Plataforma Digital Operacional de Monitoramento e Avaliação Socioambiental da Baía de Guanabara e da Região Costeira do Estado do Rio de Janeiro**, elaborado pelo Laboratório de Métodos Computacionais (LAMCE) no âmbito do Contrato nº 001/2025 – Processo nº SE-070001/000893/2024, firmado com a Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade do Rio de Janeiro – SEAS/RJ.

1.1. Contextualização e Objetivo Geral do Projeto

A sobrevivência das populações humanas não depende exclusivamente da disponibilidade de alimentos. Mesmo que existam condições para garantir a segurança alimentar no futuro, outros fatores são igualmente fundamentais para a manutenção da vida no planeta. Atualmente, uma parcela significativa da população mundial enfrenta carências severas relacionadas à oferta de energia, água potável, moradia, educação, saúde, emprego, entre outras necessidades básicas. Diante desse cenário, o crescimento populacional – com a previsão de bilhões de novos habitantes – exercerá uma pressão ainda maior sobre os recursos naturais essenciais à vida, o que acentua as preocupações em relação aos impactos ambientais.

Nesse contexto, a questão ambiental se consolida como uma demanda cada vez mais urgente da sociedade contemporânea. As ferramentas e os avanços tecnológicos disponíveis tornam-se fundamentais para apoiar o gerenciamento dos recursos e serviços ecossistêmicos, com foco na preservação, recuperação e uso sustentável dos ambientes em que vivemos.

A produção e o acesso a informações ambientais qualificadas revelam, de forma clara, a fragilidade dos diferentes ambientes e suas dinâmicas geográficas e socioespaciais. Esses dados tornam-se instrumentos estratégicos, oferecendo subsídios fundamentais para soluções voltadas ao planejamento e à gestão ambiental. Nesse sentido, a adoção de ferramentas capazes de realizar uma análise ambiental integrada – especialmente em áreas sensíveis e complexas, como a Baía de Guanabara e a região costeira do Estado do Rio de Janeiro – é essencial para qualificar a tomada de decisão e a implementação de ações voltadas ao ordenamento e à sustentabilidade desses territórios.

Alinhado a essa perspectiva, o presente projeto tem como objetivo geral a implementação de uma plataforma digital integrada de observação e monitoramento meteorológico, oceanográfico e socioeconômico para a Baía de Guanabara e região costeira do Estado do Rio de Janeiro, utilizando tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT). A plataforma permitirá a aplicação de técnicas avançadas de modelagem computacional da dinâmica oceânica e atmosférica, integrando a aquisição de dados em tempo real, modelagem e visualização científica. Essa estrutura inédita viabilizará o uso contínuo e sistemático dos dados gerados, promovendo sua aplicação em programas de estímulo ao uso de dados abertos, com foco em educação, inovação, negócios e engajamento cidadão.

O desenvolvimento deste projeto está diretamente associado às diretrizes estabelecidas no item VII do artigo 4º do Decreto nº 48.666/2023, que institui o Centro Integrado de Gestão da Baía de Guanabara – CIG-BG, reforçando seu papel estratégico no fortalecimento da governança ambiental da região.

1.2. Período de Execução do Relatório

O período de execução do projeto, abrangido por este relatório, corresponde aos meses de **junho a agosto de 2025**.

2. Descrição das Etapas e Atividades Desenvolvidas

As atividades descritas neste relatório concentram-se em três frentes principais, interdependentes e complementares: o aprimoramento da modelagem ambiental, o desenvolvimento da modelagem socioambiental e a implantação da rede observacional.

No eixo de modelagem ambiental, consolidou-se a operacionalização integrada de três modelos numéricos: o atmosférico (WRF), o hidrodinâmico (ROMS) e o de ondas (WW3/SWAN). Foram implementadas melhorias significativas, como a atualização das grades numéricas, a incorporação de bases topográficas e de uso do solo mais detalhadas, o refinamento das parametrizações físicas e a ampliação do detalhamento vertical do modelo atmosférico. Na modelagem oceanográfica, destaca-se a incorporação progressiva de dados fluviométricos fornecidos pelo INEA, ampliando a precisão da

simulação da circulação marinha. Já no campo da modelagem de ondas, o sistema passou a fornecer previsões horárias automatizadas, com potencial aplicação em planejamento e segurança de operações marítimas e costeiras.

No eixo de modelagem socioambiental (Metas 8 e 9), avançou-se na coleta, sistematização e integração de dados estatísticos, cartográficos, ambientais e de campo, voltados à construção de indicadores e análises integradas. A metodologia aplicada articula duas dimensões centrais: Criticidade, relacionada às vulnerabilidades socioeconômicas e demográficas, e Capacidade de Suporte, referente às infraestruturas e serviços disponíveis nos territórios. A partir desses parâmetros, será estruturado o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), construído por meio de análise multivariada e geoprocessamento, capaz de identificar padrões de vulnerabilidade, hierarquizar áreas críticas e apoiar a formulação de políticas públicas. A área de abrangência inclui 25 municípios do estado do Rio de Janeiro, contemplando tanto o entorno da Baía de Guanabara quanto a faixa litorânea do estado.

Por fim, no eixo observacional, foram realizadas visitas técnicas a diferentes pontos da Baía de Guanabara e seu entorno, com o objetivo de avaliar e validar locais estratégicos para a instalação de estações meteorológicas e sensores de qualidade do ar. Nessas vistorias, analisaram-se aspectos como acessibilidade, segurança patrimonial, condições de instalação e representatividade ambiental. A partir desse trabalho, foram definidos pontos prioritários, como a APA de Guapimirim e o Parque Natural Municipal Barão de Mauá, garantindo que a rede observacional seja capaz de capturar a variabilidade atmosférica e costeira em diferentes contextos territoriais. Além disso, avançou-se na estruturação da plataforma Baía Digital, destinada à disponibilização dos dados em tempo real, de forma acessível a gestores, pesquisadores e ao público em geral.

De forma integrada, essas etapas estabelecem a base física, computacional e analítica necessária para a consolidação do sistema de monitoramento e análise da Baía de Guanabara.

2.4. Atividades Desenvolvidas no período Junho a Agosto de 2025

As atividades desenvolvidas até o momento correspondem à execução parcial das seguintes etapas:

- **Meta 1:** Desenvolvimento de sistema computacional operacional de circulação atmosférica;
- **Meta 2:** Desenvolvimento de sistema computacional operacional de circulação marinha;
- **Meta 3:** Desenvolvimento de sistema computacional operacional de ondas;
- **Meta 4:** Desenvolvimento de sistema computacional operacional de dispersão de poluentes do mar;
- **Meta 6:** Desenvolver um sistema de informações em tempo real sobre as condições hidrodinâmicas da Baía de Guanabara e região costeira como suporte à gestão ambiental;
- **Meta 8:** Geração de Dados e Modelagem Socioambiental para geração de informação e indicadores socioambientais;
- **Meta 9:** Desenvolvimento do modelo de análise multivariada das componentes Criticidade e Capacidade de Suporte para desastres e emergências, que busca criar índices comparativos de vulnerabilidade socioambiental entre os sete municípios da Baía de Guanabara;
- **Meta 11:** Desenvolvimento do Sistema de Monitoramento Meteo-Oceanográfico In-Situ e Orbital.

2.4.1. Atividades Desenvolvidas no âmbito das Metas 1, 2, 3 e 6

Considerando a **Meta 1** (Desenvolvimento de sistema computacional operacional de circulação atmosférica), **Meta 2 (Desenvolvimento de sistema computacional operacional de circulação marinha)**, **Meta 3** (Desenvolvimento de sistema computacional operacional de ondas) e **Meta 6** (Desenvolver um sistema de informações em tempo real sobre as condições hidrodinâmicas da Baía de Guanabara e região costeira como suporte à gestão ambiental), o sistema de modelagem ambiental desenvolvido no âmbito do projeto constitui uma ferramenta fundamental para compreender e prever as dinâmicas atmosféricas, hidrodinâmicas e oceânicas da Baía de Guanabara. Sua estrutura integra três modelos numéricos principais – atmosférico, hidrodinâmico e de ondas – permitindo o diagnóstico detalhado das condições ambientais e a geração de cenários de previsão com base em dados de alta resolução espacial e temporal.

Ao longo do segundo trimestre, foram realizadas melhorias significativas na modelagem atmosférica, com destaque para a atualização das grades numéricas e do detalhamento vertical, a incorporação de bases topográficas e de uso do solo mais representativas da realidade regional e a adoção de novos esquemas de parametrização física. Tais avanços aumentam a capacidade do modelo WRF em simular fenômenos meteorológicos de menor escala e aprimoram a qualidade das previsões operacionais.

No âmbito da modelagem oceanográfica, o sistema ROMS passou a considerar vazões de rios estratégicos para a dinâmica da Baía, com integração progressiva de dados fluviométricos disponibilizados pelo INEA. Esse aprimoramento fortalece a representação da circulação marinha e do intercâmbio entre águas continentais e costeiras. Paralelamente, a modelagem de ondas, realizada com os modelos WW3 e SWAN, vem sendo operacionalizada de forma automatizada, fornecendo previsões horárias de parâmetros relevantes, como altura significativa e direção média das ondas.

Esses desenvolvimentos consolidam a infraestrutura computacional de previsão e análise, ao mesmo tempo em que preparam o sistema para futuras etapas de validação com dados observacionais e para a ampliação de sua resolução espacial. Trata-se de um componente estratégico para apoiar a gestão integrada da Baía de Guanabara, contribuindo para a segurança de operações marítimas, o planejamento urbano e costeiro e o enfrentamento de desafios climáticos.

2.4.1.1. Modelagem Ambiental

O sistema de modelagem computacional operacional do projeto é composto por 3 (três) diferentes modelos numéricos, a saber: modelo atmosférico, modelo hidrodinâmico e modelo de ondas. Os modelos estão implementados para a região foco do projeto, a Baía de Guanabara (RJ). Nesta seção, serão apresentados os **desenvolvimentos realizados no segundo trimestre do projeto em relação às atividades relacionadas ao sistema de modelagem ambiental**, bem como alguns detalhes sobre suas melhorias e operacionalização.

2.4.1.1.1. Modelagem Física Atmosférica

No relatório anterior, apresentou-se de forma geral a estrutura de funcionamento do modelo atmosférico WRF (Skamarock et al., 2021), incluindo a configuração das grades (domínios) numéricas e a descrição das condições de contorno utilizadas no sistema de modelagem anterior. Também foram discutidas propostas de melhorias nesse sistema, a fim de possibilitar um desempenho mais eficiente do modelo no contexto do projeto. A seguir, descrevem-se as atividades já desenvolvidas e consolidadas até o momento, com foco na otimização do modelo atmosférico WRF.

Grades Numéricas

Conforme já explicitado em relatório anterior, a configuração antiga do modelo WRF foi desenhada para funcionar com quatro grades numéricas aninhadas, cujas resoluções espaciais horizontais são: 27, 9, 3 e 1 km (**Figura 1a**). Na configuração proposta para o atual projeto, em vez de quatro grades, são empregadas três grades numéricas, de resoluções espaciais horizontais de 9, 3 e 1 km (**Figura 1b**). Essa redução no número de grades tornou-se possível devido à atualização do modelo global GFS, utilizado como fonte das Condições Iniciais e de Contorno (CI e CC) atmosféricas do WRF. Anteriormente, eram utilizados dados do GFS com resolução horizontal de $0,5^\circ$ (aproximadamente 55 km). Atualmente, encontram-se disponíveis campos com resolução de $0,25^\circ$ (cerca de 25 km). Essa melhoria na resolução dos dados possibilitou a eliminação da grade de 27 km,

sem que o salto entre a resolução do GFS e a da primeira grade do WRF gerasse problemas numéricos decorrentes da discrepância entre escalas horizontais. Destaca-se ainda que a redução de uma grade numérica contribuiu para diminuir o custo computacional do sistema. Tal economia é especialmente relevante, pois compensa, em parte, o aumento do custo decorrente da ampliação das grades remanescentes, necessária para abarcar feições fisiográficas adjacentes de importância para a modelagem. Um exemplo é a Serra dos Órgãos, que exerce influência significativa sobre as condições atmosféricas da Baía de Guanabara e que, na configuração atual, passou a estar contemplada na grade de maior resolução do modelo (d03: 1 km) (**Figura 1b**). Cabe destacar que, ao longo do período de desenvolvimento, foi proposta e testada uma configuração alternativa de grades numéricas; contudo, esta acabou sendo remodelada e substituída pela configuração atualmente apresentada na **Figura 1b**.

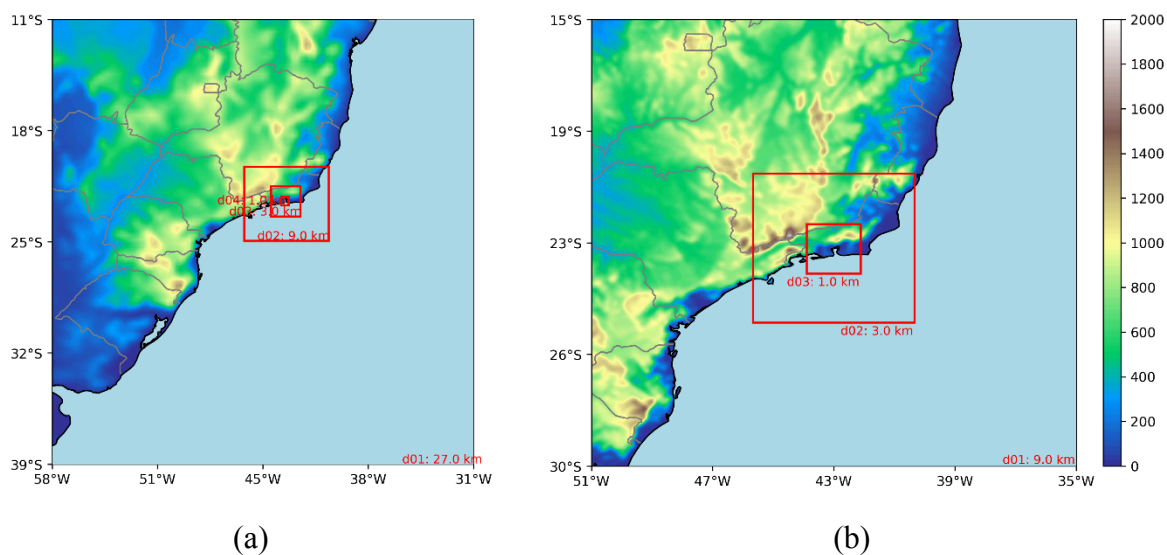


Figura 1: Domínios das grades numéricas configuradas no modelo WRF, em (a), no sistema antigo e, em (b), no sistema novo.

Outra atualização implementada nas grades numéricas do sistema de modelagem atmosférica refere-se à resolução vertical. No sistema anterior, o perfil atmosférico era representado por 30 níveis, enquanto na configuração atual passou a ser descrito por 45 níveis (**Figura 2**). Esse incremento de 50% no detalhamento vertical possibilita uma melhor representação dos fenômenos atmosféricos de menor escala. Apenas como exemplo, verifica-se que até os primeiros 1000 metros, isto é, a ordem de grandeza média da altura

da camada limite atmosférica, tem-se 11 níveis no sistema novo, enquanto o sistema antigo apresenta apenas 8 níveis para representar o perfil atmosférico.

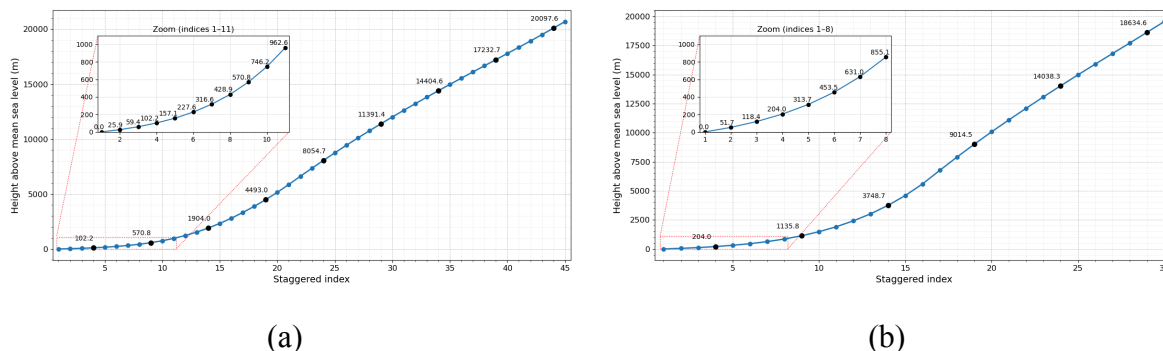


Figura 2: Níveis verticais configurados no modelo WRF, em (a), no sistema antigo e, em (b), no sistema novo.

Condições de Contorno

No sistema antigo, a condição de contorno de terreno era representada pelo Modelo Digital de Elevação (MDE) *Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 – GMTED2010* (Danielson; Gesch, 2011), com resolução aproximada de 1 km, base padrão do modelo WRF. Devido à limitação desta resolução espacial, foram desenvolvidos procedimentos computacionais para assimilar uma base mais detalhada: o *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM* (Farr *et al.*, 2007), elaborado por agências americanas como NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), entre outras. Atualmente, a base SRTM está disponível na versão 3, que inclui correções e preenchimento de lacunas, oferecendo resoluções globais de 90 e 30 metros. No presente projeto, por uma questão de custo-benefício, optou-se pela versão com resolução espacial de 90 metros para implementação no modelo WRF. A **Figura 3** apresenta a comparação entre os campos de topografia do sistema antigo e do novo para a grade numérica de maior resolução (d03: 1 km).

Para fins de comparação, considerou-se para a base topográfica do sistema antigo os mesmos parâmetros de grade adotados na base do sistema novo (**Figura 3**). Essa padronização permite avaliar ambas em mapas com dimensões espaciais equivalentes. Observa-se que as diferenças absolutas podem atingir cerca de 60 metros, mesmo após a degradação da resolução da base SRTM – originalmente de 90 metros – para 1 km, de forma a ajustá-la à grade numérica do WRF.

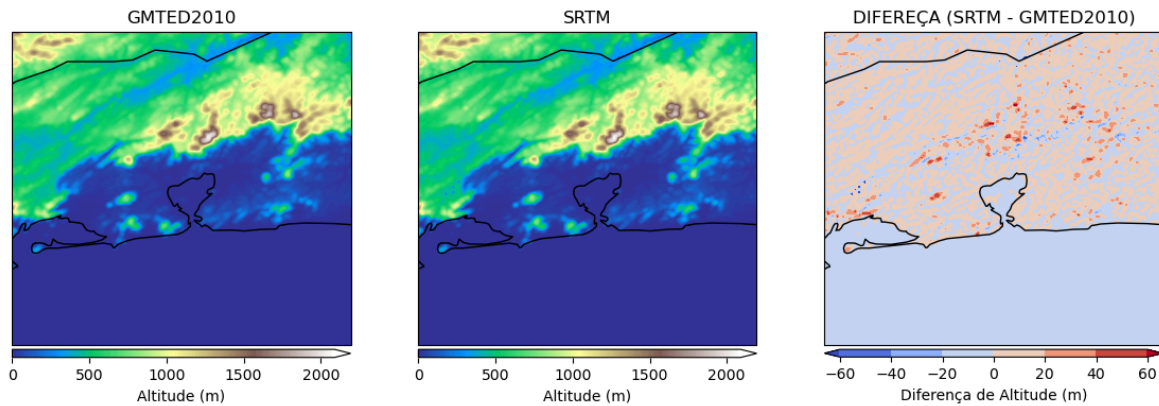


Figura 3: Bases topográficas utilizadas no modelo WRF: à esquerda, a configuração antiga (GMTED2010); ao centro, a nova configuração (SRTM); e à direita, a diferença entre as duas bases.

Em relação ao uso e cobertura da terra, o sistema antigo adota a base derivada de dados de sensoriamento remoto do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), referente ao ano de 2001, com resolução espacial de 500 metros. Apesar de a resolução da base MODIS ser adequada em relação à grade mais resolvida do modelo, os dados estão desatualizados e apresentam uma classificação incompatível com a realidade brasileira. Por exemplo, áreas atualmente urbanizadas são representadas como rurais, e regiões de pastagem aparecem classificadas como savanas.

Diante da baixa representatividade dessa base para o território brasileiro, e especificamente para o estado do Rio de Janeiro, foram desenvolvidos procedimentos computacionais para permitir a assimilação de bases mais precisas no modelo WRF. A base selecionada para substituir a antiga é a disponibilizada pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas), com resolução espacial de 30 metros (Souza *et al.*, 2020), tendo possibilidade de atualização recorrente e conforme novos mapeamentos e levantamentos forem incorporados à base. A **Figura 4** apresenta a comparação entre os campos de uso e cobertura do solo do sistema antigo e do novo para a grade numérica de maior resolução (d03: 1 km).

Para fins de comparação, a base de uso do solo do sistema antigo foi configurada com os mesmos parâmetros de grade utilizados na base mais recente (**Figura 4**). Essa padronização permite avaliar ambas em mapas com dimensões espaciais equivalentes. Observa-se que as diferenças entre as bases são substanciais, sendo mais frequente a

ocorrência de células de grade com representações divergentes do que coincidentes. A principal discrepância está associada às categorias de uso do solo savana e pastagem: enquanto a base MODIS classifica diversas áreas como savana (em lilás), a base MapBiomas as representa predominantemente como pastagem (em marrom). Considerando que regiões de savana são inexistentes ou extremamente raras no Brasil, essa atualização evidencia uma melhoria significativa na representação do uso e da cobertura do solo por parte do modelo.

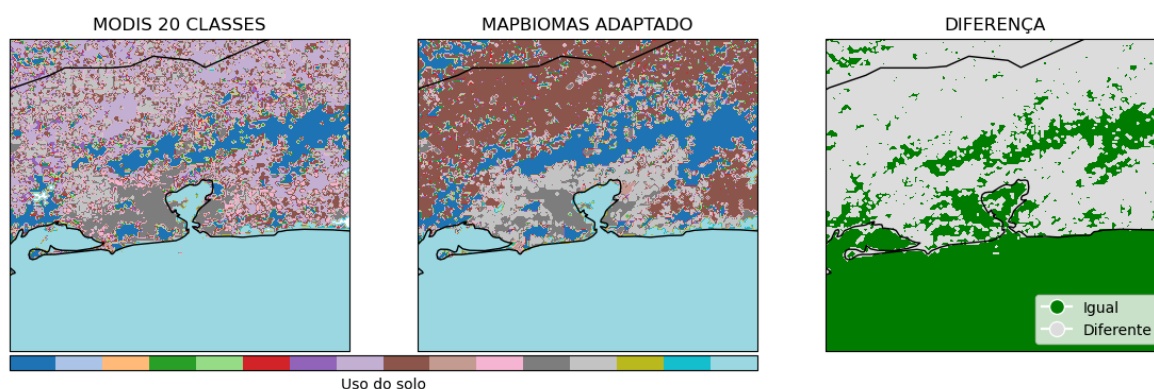


Figura 4: Bases de uso do solo utilizadas no modelo WRF: à esquerda, a configuração antiga (MODIS); ao centro, a nova configuração (MapBiomas); e à direita, a diferença entre as duas bases.

Parametrizações Físicas

Outra atualização implementada no modelo refere-se ao conjunto de parametrizações físicas adotadas no sistema de modelagem. Com base em um estudo recente desenvolvido e publicado por integrantes do Núcleo de Modelagem Ambiental do LAMCE (De Souza *et al.*, 2024), foram definidos novos esquemas paramétricos para o sistema atualizado, com destaque para aqueles relacionados aos processos de precipitação. A **Tabela 1** apresenta as parametrizações físicas utilizadas no sistema antigo e as adotadas na configuração atual. Maiores detalhes sobre cada parametrização física podem ser encontrados no seguinte endereço eletrônico: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/physics/phys_references.html.

Tabela I: conjunto de parametrizações físicas adotadas no sistema antigo e novo.

Tipo de Parametrização	Sistema Antigo	Sistema Novo
Radiação	RRTMG	RRTMG
Modelo de Solo	Noah–MP Land Surface Model	Noah–MP Land Surface Model
Camada Superficial	Revised MM5	Revised MM5
Camada Limite Atmosférica	Yonsei University Scheme (YSU)	Yonsei University Scheme (YSU)
Microfísica de nuvens	WRF Single–moment 3–class	Morrison 2–moment
Cumulus	Kain–Fritsch	Multi–scale Kain–Fritsch

Próximos Desenvolvimentos

Em conjunto com a equipe de TI do LAMCE, os esforços atuais do grupo de modelagem atmosférica estão voltados para o desenvolvimento de um dashboard com novos campos meteorológicos e produtos, como meteogramas, com o objetivo de subsidiar melhores previsões de tempo.

2.4.1.1.2. Modelagem Regional Física Oceanográfica

Os principais detalhes sobre as modelagens físicas oceanográficas regionais de circulação marinha e de onda a serem realizadas para a região de interesse do projeto, a Baía de Guanabara, são apresentados nos próximos itens.

Modelagem de Circulação Marinha - ROMS

Um dos avanços na modelagem de circulação marinha no presente projeto é a incorporação da vazão de alguns rios que deságuam na Baía de Guanabara ao modelo. Conforme descrito no relatório anterior, 15 (quinze) rios foram considerados no modelo, sendo eles: Canal do Cunha, Rio Irajá, Rio São João de Meriti, Rio Sarapuí, Rio Iguaçu, Rio Estrela, Rio Suruí, Rio Iriri, Rio Roncador, Rio Guapimirim, Rio Caceribu, Rio Guaxindiba, Rio Imboaçú, Canal do Mangue e Rio Guaraí. Dentre os rios considerados, destacam-se os rios Iguaçu, Caceribu, Guapimirim, Estrela, Sarapuí e São João de Meriti, uma vez que são os que mais contribuem para o escoamento de águas para a Baía (Sampaio, 2003¹). Até a

¹ Sampaio, Marcelle. Estudo da Circulação Hidrodinâmica e Trocas de Massas d'Água na Baía de Guanabara – RJ, [Rio de Janeiro] 2003 VII, 213 p. COPPE/UFRJ. MSc., Engenharia Civil, 2003. Tese.

entrega do relatório anterior, a maior parte dos dados de vazão considerados foram obtidos através do levantamento bibliográfico realizado por Toste (2017)², conforme apresentado na Tabela II.

Tabela II. Vazões que serão utilizadas, até o presente momento, para alguns dos rios que serão considerados no modelo.

Corpo Hídrico	Vazão (m ³ /s)
Canal do Cunha	1,439
Rio Irajá	0,649
Rio São João de Meriti	3,88
Rio Sarapuí	3,8
Rio Iguaçu	12,942
Rio Estrela	8,145
Rio Suruí	1,265
Rio Iriri	0,2
Rio Roncador	2,545
Rio Guapimirim	29,34
Rio Caceribu	18,037
Rio Guaxindiba	0,281
Rio Imboaçu	0,276

Em agosto foi disponibilizado, pela Diretoria de Segurança Hídrica e Qualidade Ambiental do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o acesso ao banco de dados das estações fluviométricas da região hidrográfica da Baía de Guanabara. A avaliação das informações disponibilizadas está sendo realizada, para que sejam identificados e tratados os dados que serão incorporados ao modelo. De maneira geral, o conteúdo do banco de dados é composto pelas seguintes informações:

- Curva-chave para alguns rios;
 - ◆ Equação que correlaciona a cota e a vazão de cada rio.
- Dados Pluviométricos: Precipitação;
- Dados Fluviométricos: Cota do rio (elevação do nível);
- Tipos de Estações:
 - ◆ Telemétricas: dados a cada 15 min – a partir de 2008.
 - ◆ Convencionais: dados diários – até 2007 (Microsoft Access – .mdb).

² Santos, Raquel Toste Ferreira dos. Efeitos da subida do nível do mar na inundação costeira na costa leste do Brasil devido às mudanças climáticas. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017. XXVIII, 184 p. Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, 2017.

Para a estimativa de séries de vazões, podem ser empregadas as curvas-chave. Através delas, é possível transformar as leituras de níveis das seções fluviométricas em vazões do escoamento fluvial. Nesse sentido, foram identificados os rios que já possuem curvas-chave ajustadas (Figura 5), sendo eles: Rio Tatu, Rio Soarinho, Rio Macacu (2 estações), Rio Guapiaçu (2 estações), Rio Caboclo, Rio Iconha, Rio Anil, **Rio Caceribu** (2 estações) e **Rio Guapimirim**, sendo que os últimos dois integram o conjunto de rios já considerados no modelo ROMS. Nesse caso, através da atualização dos valores de vazões usados no modelo pelos obtidos a partir da curva-chave, serão considerados dados mais acurados sobre estes rios.

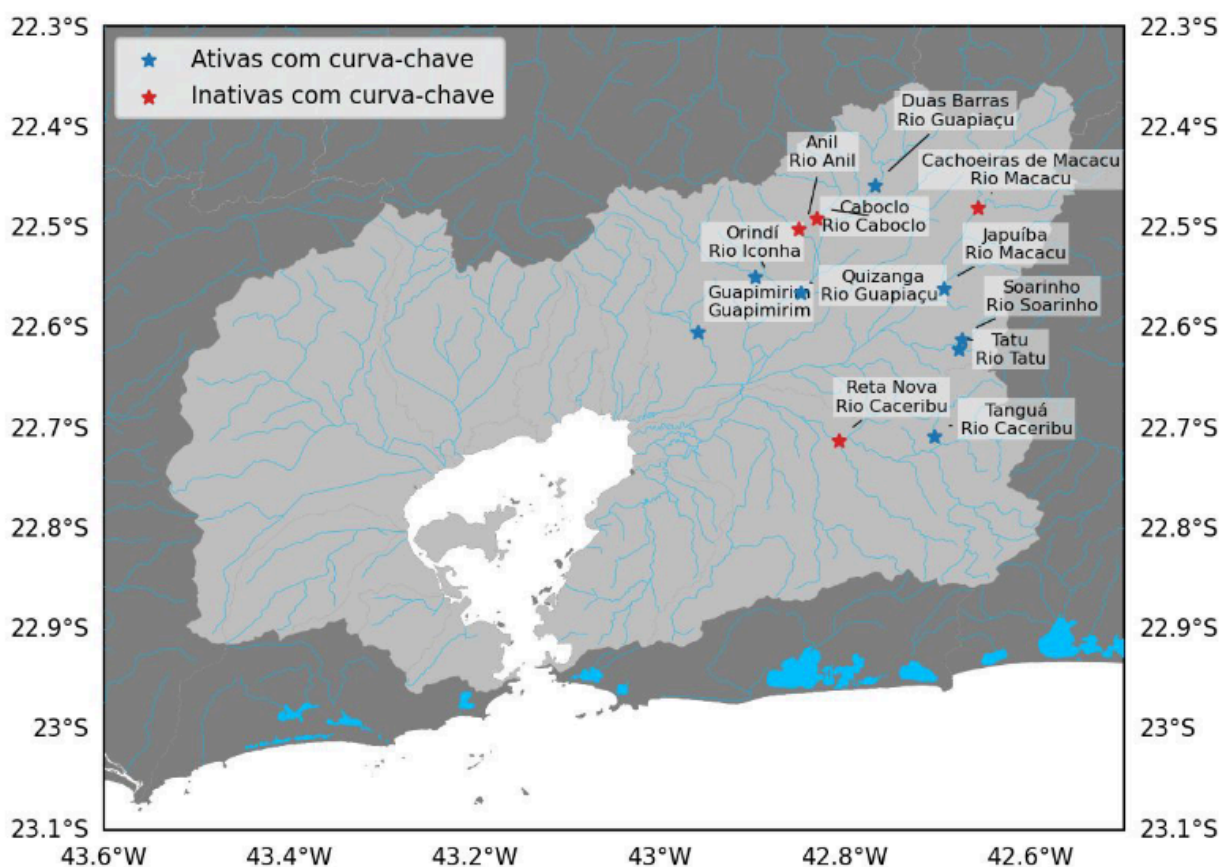


Figura 5: Localização das estações fluviométricas das quais já foram calculadas as curvas-chave. Em azul, estações ativas e em vermelho, estações inativas.

Em outros rios, a partir dos dados disponíveis nas pastas “Medição de Descarga Líquida” e “Telemétrica” do banco de dados, talvez seja possível estimar a curva-chave (Figura 6). Entretanto tal desenvolvimento requer uma análise mais detalhada sobre os tipos de dados e a viabilidade para tal. Enquadrados neste caso, são: Rio da Bota, Rio

Cachoeira, Rio Capivari, Rio Duques, Rio Engenhoca, Rio Guapiaçu (2 estações), Rio Iconha, Rio Inhomirim, Rio Macacu (3 estações), Rio Maracanã, Rio Mumbuca, Rio Poço Fundo, Rio Saracuruna, Rio Soarinho, Rio Tanguá, Rio Tatu, **Rio Guapimirim**, **Rio Caceribu** (2 estações), **Rio Roncador** e **Rio Suruí**, sendo que os últimos quatro integram o conjunto de rios já considerados no modelo ROMS.

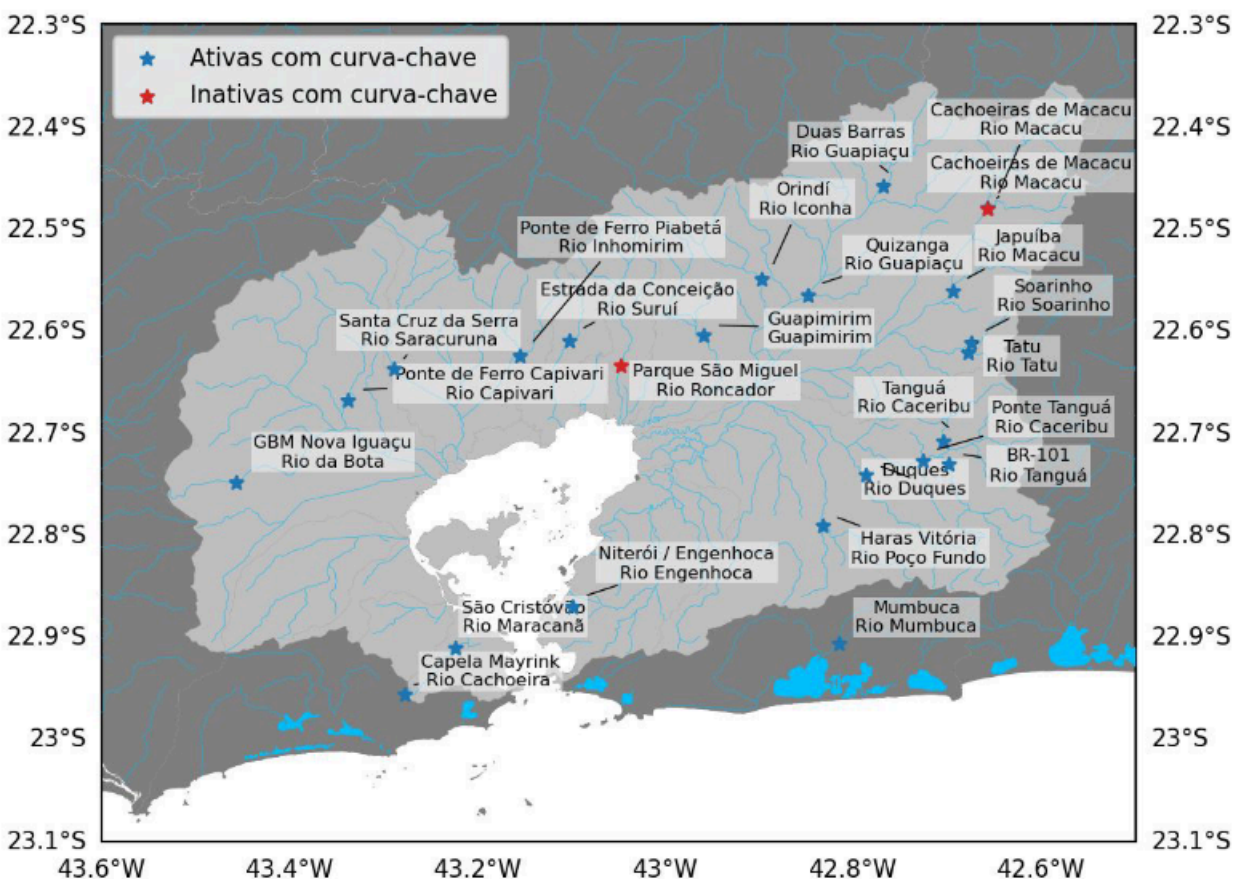


Figura 6: Localização das estações fluviométricas cujos dados disponibilizados talvez possam ser usados para o cálculo das curvas-chave. Em azul, estações ativas e em vermelho, estações inativas.

A partir desta análise preliminar feita sobre as informações das estações fluviométricas do INEA, os próximos passos incluem o tratamento dos dados para a determinação da vazão dos rios que já possuem a curva-chave estimada (rios Caceribu e Guapimirim). Após isto, os valores de vazão obtidos serão incorporados ao modelo ROMS. Em paralelo, como existe certa sobreposição de pastas, arquivos e relatórios no banco de dados, será necessário dedicar mais tempo para avaliar por completo tudo o que há disponível, para que sejam traçadas as etapas subsequentes.

Modelagem de Ondas

Atividades marítimas, tanto na zona costeira quanto em offshore, exigem o conhecimento prévio das condições do mar. Modelos numéricos, tais como WaveWatch III (WW3) e o Simulating Waves Nearshore (SWAN) servem não somente para a compreensão das ondas, mas também para permitir o planejamento de operações. Modelos espectrais resolvem as equações de equilíbrio de densidade de ação para cada ponto de grade e para cada passo de tempo, fornecendo o espectro e seus respectivos parâmetros espectrais, tais como altura significativa (H_s), período de pico (T_p) e direção de pico (D_p). Neste contexto, o presente relatório descreve o funcionamento de um sistema operacional de previsão de ondas, com saídas diárias do campo de ondas com resolução temporal de 1 hora.

Operacionalização

O sistema operacional funciona a partir da utilização de rotinas desenvolvidas em Python e Shell, com execução automatizada via agendamento de tarefas no crontab. O sistema inclui o download de campos de vento e cobertura de gelo obtidos de sistemas globais de previsão, a execução do modelo WW3 utilizando estas variáveis e o pós-processamento dos resultados. Os espectros obtidos pelo WW3 servem de condição de contorno para o SWAN, este por sua vez propaga os espectros para a região costeira do Rio de Janeiro, incluindo a Baía de Guanabara.

Resultados Diários

A previsão do campo de ondas é gerada operacionalmente de forma diária, cada arquivo netCDF possui campos para cada hora da previsão (dia atual + 1 dia) com informações de H_s , T_m e D_m . A nível de ilustração do funcionamento do sistema, os campos de ondas referentes às grades do Estado do Rio de Janeiro e da Baía de Guanabara são mostrados nas Figuras 7, 8, 9 e 10. Os campos mostram a altura significativa e direção média para os horários 09:00 e 15:00 para cada grade do sistema de previsão.

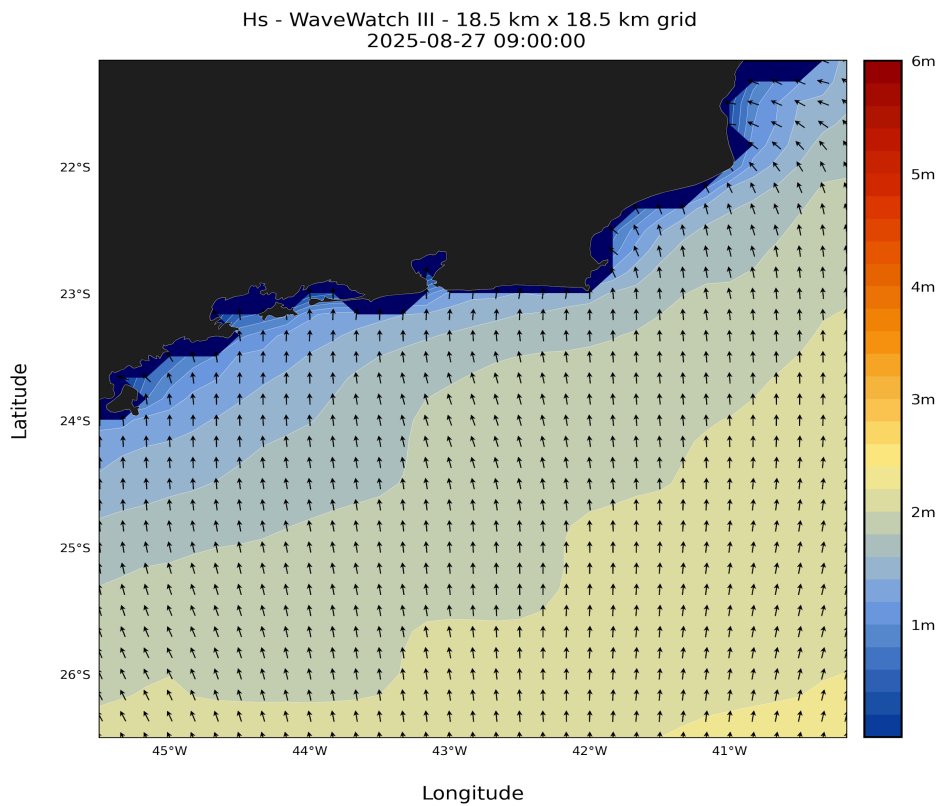


Figura 7: Campo da altura significativa de ondas para às 09:00 do dia 27 de agosto de 2025 da grade regional. À direita, a barra de cores com a escala da altura significativa. As setas representam a direção média das ondas.

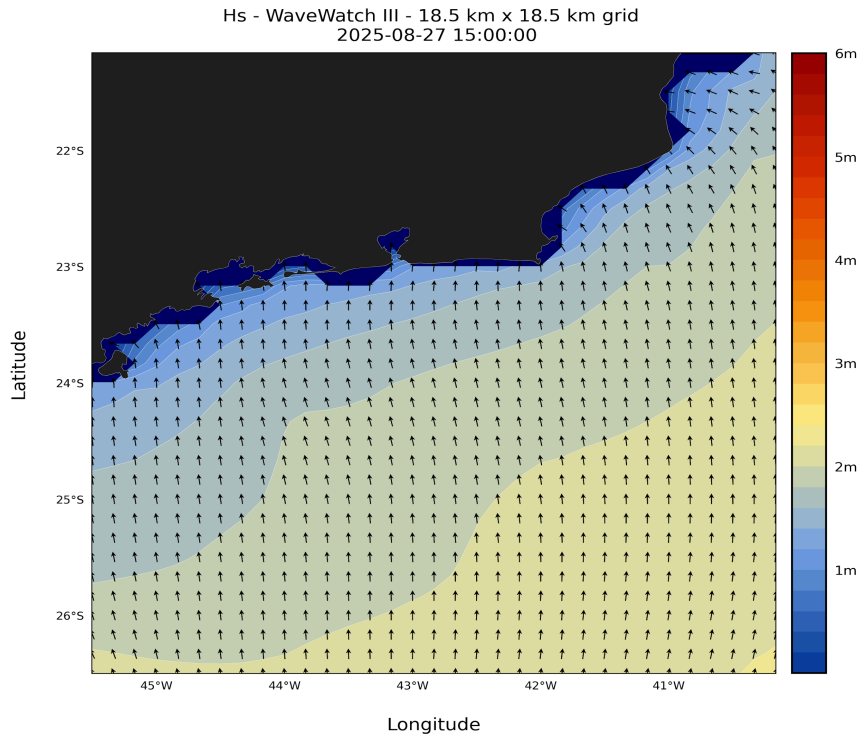


Figura 8: Campo da altura significativa de ondas para às 15:00 do dia 27 de agosto de 2025 da grade regional. À direita, a barra de cores com a escala da altura significativa. As setas representam a direção média das ondas.

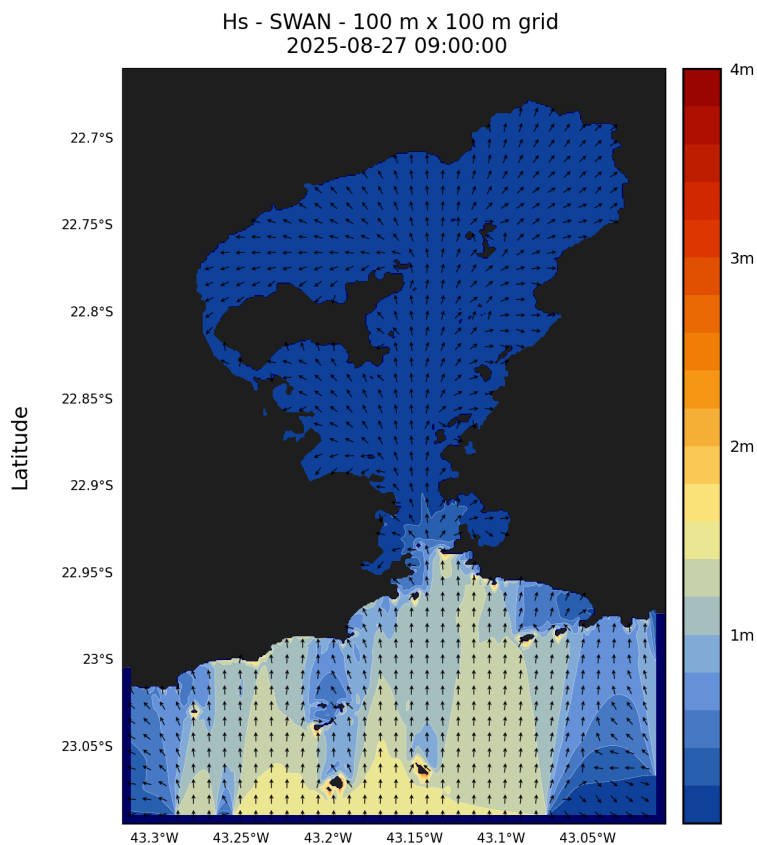


Figura 9: Campo da altura significativa de ondas para às 09:00 do dia 27 de agosto de 2025 da grade da Baía de Guanabara. À direita, a barra de cores com a escala da altura significativa. As setas representam a direção média das ondas.

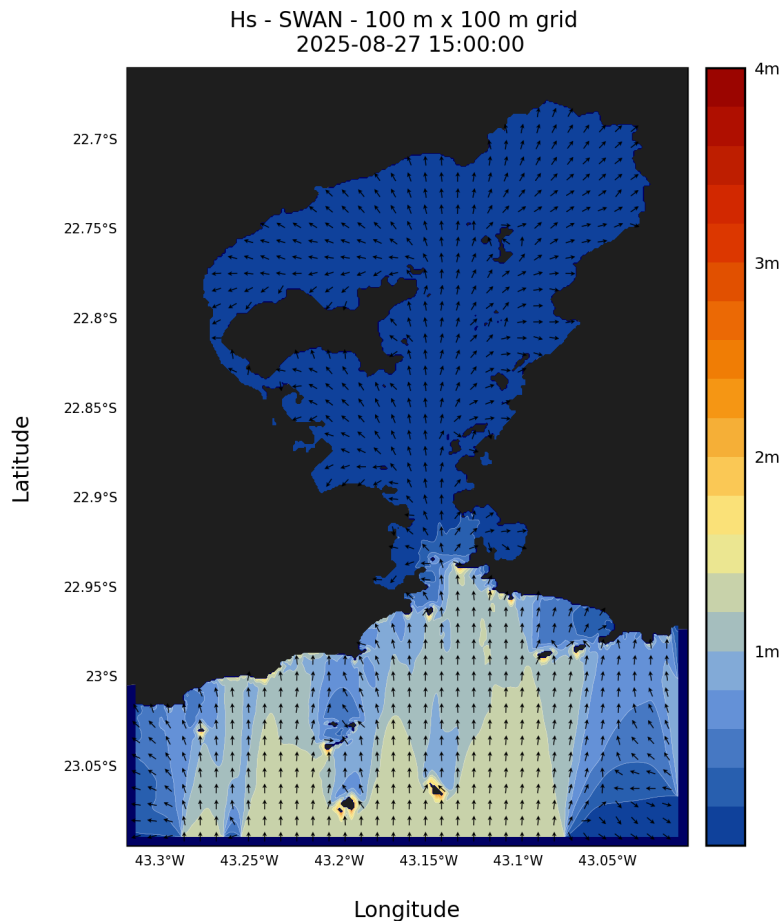


Figura 10: Campo da altura significativa de ondas para às 15:00 do dia 27 de agosto de 2025 da grade da Baía de Guanabara. À direita, a barra de cores com a escala da altura significativa. As setas representam a direção média das ondas.

Andamento do Projeto

O sistema passou por melhorias ao longo do tempo. O modelo passou a realizar previsões a cada hora ao invés de a cada três horas; e as condições de contorno fornecidas pelo WW3 para o SWAN passaram de parâmetros espectrais para espectros direcionais em vários pontos da grade. Dois últimos passos estão previstos: Aumentar a resolução espacial de todas as grades do sistema para que a previsão seja mais próxima da realidade e a validação do sistema com boias do sistema PNBOIA e SiMCosta.

2.4.2. Atividades Desenvolvidas no âmbito das Metas 8 e 9

No âmbito das Metas 8 e 9, relacionadas à Geração de Dados e a Modelagem Socioambiental, voltadas à produção de informações qualificadas e de indicadores socioambientais, bem como sobre a construção de um modelo de análise multivariada que integra as dimensões de Criticidade e Capacidade de Suporte, com a finalidade de estabelecer índices comparativos de vulnerabilidade socioambiental entre os municípios de interesse, nesta seção serão apresentados os conceitos e as metodologias que constituem a base para o desenvolvimento das atividades previstas no âmbito do projeto.

A **geração de dados e a modelagem socioambiental** (Meta 8) constituem etapas centrais para a construção de análises integradas sobre as dinâmicas sociais, ambientais e territoriais. A geração de dados compreende a coleta, sistematização e integração de informações provenientes de diferentes fontes: registros estatísticos, monitoramentos ambientais, sensoriamento remoto, bases cartográficas e levantamentos de campo. Essa etapa garante a formação de uma base robusta e confiável, fundamental para assegurar a representatividade e a consistência das análises da realidade estudada.

A modelagem socioambiental, por sua vez, corresponde ao tratamento e à análise desses dados por meio de métodos quantitativos, qualitativos e geotecnológicos, com destaque para o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de técnicas de análise multivariada. Essa modelagem permite identificar padrões espaciais, correlações entre variáveis socioambientais e projeções de cenários, ampliando a capacidade de compreensão das interações sociedade-meio ambiente.

O resultado desse processo é a produção de informações qualificadas e indicadores socioambientais, que sintetizam fenômenos complexos e subsidiam o planejamento territorial, a formulação de políticas públicas e a gestão integrada de recursos e territórios. Esses indicadores podem abranger aspectos como vulnerabilidade socioambiental, capacidade de suporte dos ecossistemas, criticidade de áreas sujeitas a desastres, além de parâmetros relacionados à qualidade de vida da população.

Assim, a integração entre geração de dados e modelagem socioambiental não apenas amplia o entendimento sobre as interações sociedade-meio ambiente, mas também fortalece a capacidade preditiva e preventiva das análises, garantindo maior precisão e aplicabilidade dos resultados no contexto da gestão socioambiental.

Neste contexto, o objetivo desta meta é produzir informações e indicadores socioambientais para apoiar análise, gestão e tomada de decisão, cujas principais etapas são:

- Geração de dados
 - Coleta e integração de informações estatísticas, ambientais, cartográficas e de campo
 - Uso de sensoriamento remoto e bases oficiais
 - Organização em banco de dados estruturado
- Modelagem socioambiental
 - Aplicação de métodos quantitativos, qualitativos e geotecnológicos
 - Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e análise multivariada
 - Identificação de padrões espaciais e correlações socioambientais
- Produção de informações e indicadores
 - Síntese de fenômenos complexos em métricas comparativas
 - Indicadores de vulnerabilidade, criticidade e capacidade de suporte
 - Apoio ao planejamento territorial, políticas públicas e gestão de riscos

Os principais resultados esperados incluem:

- Melhoria da compreensão das interações sociedade-meio ambiente
- Subsídios para cenários prospectivos e medidas preventivas
- Maior precisão e aplicabilidade das análises socioambientais

O **desenvolvimento do modelo de análise multivariada das dimensões de Criticidade e Capacidade de Suporte para desastres e emergências** (Meta 9) constitui uma abordagem metodológica que busca articular diferentes dimensões socioambientais, de forma a avaliar vulnerabilidades e desigualdades territoriais, bem como a capacidade de suporte das áreas estudadas.

A dimensão de Criticidade é associada ao grau de vulnerabilidade socioambiental dos territórios, considerando aspectos como:

- Características físicas e ambientais (relevo, cobertura do solo, hidrografia, geologia);
- Aspectos socioeconômicos e demográficos (densidade populacional, infraestrutura habitacional, renda, escolaridade).

Essa dimensão busca identificar áreas mais suscetíveis a impactos negativos, permitindo hierarquizar territórios conforme o risco de ocorrência de eventos críticos.

A dimensão de Capacidade de Suporte, por sua vez, está relacionada ao potencial de determinado território em sustentar pressões e demandas, levando em conta:

- Infraestrutura de suporte e serviços essenciais (saúde, saneamento);

O modelo multivariado integra essas dimensões por meio de técnicas estatísticas e geoespaciais – como análise fatorial, regressão multivariada, álgebra de mapas e geoprocessamento em SIG – permitindo a criação de índices comparativos de vulnerabilidade socioambiental entre diferentes territórios ou municípios. Essa abordagem resulta na elaboração de mapas temáticos e indicadores sintéticos, que tornam visível a relação entre a criticidade e a capacidade de suporte das áreas analisadas, fornecendo subsídios para:

- Identificação de zonas de maior vulnerabilidade socioambiental;
- Comparação entre diferentes municípios e regiões;
- Apoio a processos de planejamento territorial e formulação de políticas públicas;
- Priorização de ações e investimentos em áreas críticas.

O objetivo desta meta, portanto, é avaliar vulnerabilidades socioambientais e a resiliência territorial frente a desastres e emergências, cujos principais resultados esperados incluem:

- Mapas temáticos e indicadores sintéticos.
- Identificação de áreas mais vulneráveis.
- Comparação entre municípios/regiões.
- Apoio ao planejamento territorial e políticas públicas.
- Priorização de investimentos em áreas críticas.

2.4.2.1. Área de Abrangência do Projeto

O desenvolvimento do projeto, no âmbito das etapas definidas pelas Metas 8 e 9, será implementado em 25 municípios do estado do Rio de Janeiro (Figura 1), contemplando todos aqueles localizados no entorno da Baía de Guanabara, bem como os

que estão situados na faixa litorânea do estado. O conjunto de todos os municípios é relacionado abaixo:

- 1) Paraty
- 2) Angra dos Reis
- 3) Mangaratiba
- 4) Itaguaí
- 5) Rio de Janeiro
- 6) Duque de Caxias
- 7) Magé
- 8) Guapimirim
- 9) Itaboraí
- 10) São Gonçalo
- 11) Niterói
- 12) Maricá
- 13) Saquarema
- 14) Araruama
- 15) Arraial do Cabo
- 16) Cabo Frio
- 17) Armação dos Búzios
- 18) Casimiro de Abreu
- 19) Rio das Ostras
- 20) Macaé
- 21) Carapebus
- 22) Quissamã
- 23) Campos dos Goytacazes
- 24) São João da Barra
- 25) São Francisco de
Itabapoana

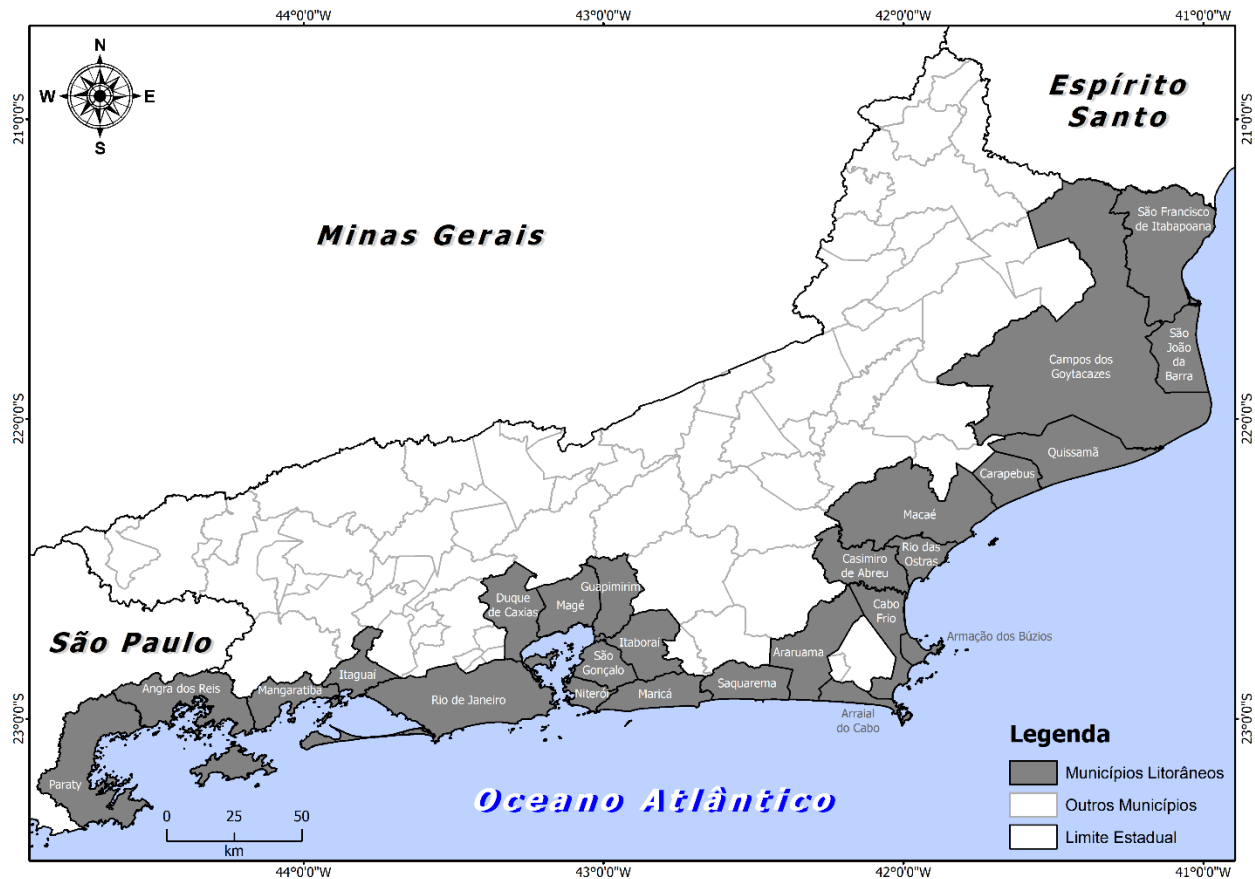


Figura 1. Municípios do estado do Rio de Janeiro incluídos nas Metas 8 e 9, abrangendo a região da Baía de Guanabara e demais áreas costeiras do estado.

2.4.2.2. Conceitos Fundamentais

O conceito de vulnerabilidade foi inicialmente desenvolvido por cientistas sociais e, a partir da década de 1970, passou a ser reconhecido como uma ferramenta para compreender as percepções de risco das populações diante de desastres (Wisner et al., 2004; Schneiderbauer & Ehrlich, 2004; Birkmann, 2006). Entretanto, a vulnerabilidade de comunidades e indivíduos não está condicionada apenas à sua proximidade em relação a riscos potenciais, mas também decorre de suas condições de Vulnerabilidade Social (VS) (Yoon, 2012; Juran & Trivedi, 2015). Nesse sentido, compreender a VS pode auxiliar na explicação de por que um mesmo perigo pode afetar comunidades de maneira distinta (Morrow, 2008).

A vulnerabilidade é um conceito multidimensional, que se expressa em diferentes escalas e níveis de análise – desde o individual até o institucional, e do âmbito local ao nacional. A dimensão física da vulnerabilidade está associada à exposição, entendida como a medida do perigo natural ou dos estressores ambientais (Watts & Bohle, 1993). Já a vulnerabilidade biofísica refere-se à avaliação da probabilidade e da magnitude de ocorrência de um perigo (Brooks, 2003).

No campo social, a vulnerabilidade assume distintas denominações: vulnerabilidade social (Blaikie et al., 1994; Kelly & Adger, 2000), vulnerabilidade contextual (O'Brien et al., 2007) ou adaptação de segunda geração (Burton et al., 2002). Essa dimensão está relacionada ao estado pré-existente ou à capacidade de resposta dos sistemas sociais, considerando fatores econômicos, demográficos e institucionais que moldam a resiliência de indivíduos, comunidades e instituições (Burton et al., 1993; Singh et al., 2014; Tompkins & Hurlston, 2005; UNDP, 2013). A vulnerabilidade social, portanto, está intrinsecamente ligada à capacidade das pessoas de enfrentar situações de estresse (Cutter & Finch, 2008).

Além disso, a vulnerabilidade social é entendida como uma condição estrutural pré-existente, derivada de desigualdades históricas e injustiças sociais, nas quais arranjos políticos, culturais e institucionais marginalizam determinados grupos, em função de suas características individuais, posição social e acesso desigual a recursos humanos e financeiros (Bullard, 2008; Rahimi-Golkhandan et al., 2021; Drakes & Tate, 2022).

Assim, a vulnerabilidade social resulta de múltiplos fatores socioeconômicos e demográficos, os quais influenciam diretamente a capacidade de resposta da população. Tais fatores podem variar entre indivíduos e grupos sociais expostos ao mesmo perigo, produzindo impactos e desfechos diferenciados.

Quando considerados em conjunto, esses fatores e suas características permitem descrever a vulnerabilidade dos territórios (Birkmann, 2006). Assim, a análise de como tais fatores contribuem para a vulnerabilidade social específica – e de como esta se modifica ao longo do tempo e do espaço – é fundamental para compreender e prever os impactos diferenciais sobre as populações expostas (Otto et al., 2017; Terti et al., 2015; Tanir et al., 2021a, 2021b). Esse tipo de abordagem contribui para o aprimoramento das práticas de redução de riscos, como no caso dos desastres, e orienta a formulação de

políticas públicas de mitigação de longo prazo e estratégias de planejamento adaptativo (Cardona, 2013; Vogel & O'Brien, 2004).

Vulnerabilidade Social (VS)

Conceitualmente, a vulnerabilidade social caracteriza-se como um tema complexo, por integrar múltiplas concepções e dimensões associadas a aspectos ambientais, econômicos, de direitos, saúde, entre outros. Dada sua amplitude e complexidade, trata-se de um conceito em constante construção. As primeiras abordagens sobre o tema emergiram a partir da preocupação em tratar a pobreza de forma abrangente, articulando diferentes características relacionadas às desvantagens sociais e ao conjunto de categorias vinculadas à estrutura social, aos direitos e ao acesso desigual a recursos (Monteiro, 2011).

De acordo com Cutter et al. (2003), Cardona et al. (2012) e Turner et al. (2003), a vulnerabilidade social abrange as características sociais, políticas, culturais, econômicas e institucionais de um território e de sua população, as quais condicionam diferentes capacidades de preparação, enfrentamento e recuperação frente a situações de perigo.

Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

Embora a vulnerabilidade social não possa ser diretamente observada ou mensurada, os índices de vulnerabilidade permitem estimar quantitativamente sua manifestação relativa, a partir das características inferidas por variáveis disponíveis. No entanto, a construção de um índice composto de vulnerabilidade social depende fortemente da seleção dos fatores e indicadores utilizados (Reckien, 2018), os quais variam de acordo com o contexto local ou regional (Cutter et al., 2003).

Os índices de vulnerabilidade social consolidaram-se como importantes ferramentas de apoio à decisão, tanto para formuladores de políticas quanto para pesquisadores (Rufat et al., 2015; Oulahen et al., 2019). Estruturados a partir de múltiplas variáveis representativas da vulnerabilidade social, esses índices permitem mapear sua expressão no espaço e no tempo, frequentemente por meio de unidades de área censitárias (Cutter & Finch, 2008). Além de possibilitar análises comparativas, tais índices evidenciam as desigualdades e injustiças que resultam em impactos diferenciados entre

grupos sociais, chamando a atenção para a distribuição espacialmente desigual da vulnerabilidade e da exposição (Chakraborty et al., 2019).

Diversos índices têm sido desenvolvidos ao longo do tempo para avaliar a vulnerabilidade, entre os quais se destacam: o Índice de Vulnerabilidade Composto (IVC) (Wells, 1997), o Índice de Vulnerabilidade da Comunidade (IVCo) (Atkins et al., 2000), o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) (Cutter et al., 2003), o Índice de Vulnerabilidade Socioeconômica (IVSe), o Índice de Vulnerabilidade do Ambiente Construído (IVAc) (Holand et al., 2011), o Índice de Vulnerabilidade Climática (IVCI) (Sullivan & Meigh, 2005) e o Índice de Desempenho Ambiental (IDA) (Wendling et al., 2020), entre outros.

Entre esses, o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), desenvolvido por Cutter et al. (2003), destaca-se como uma das ferramentas mais utilizadas e consolidadas para a avaliação da vulnerabilidade. Apesar de algumas limitações, sua ampla aceitação decorre da utilização de dados censitários e de metodologias de acesso público, além da capacidade de traduzir conceitos complexos de vulnerabilidade social em métricas de fácil interpretação (Spielman et al., 2020).

2.4.2.3. Metodologias de Vulnerabilidade Social

O contexto das metodologias de vulnerabilidade social tem como referência o Laboratório Pessoas – Ambiente – Planeta (PÆP LAB), cujo conceito abrange: a integração das dimensões sociais (Pessoas), ecológicas/ambientais (Ambiente) e globais/sistêmicas (Planeta).

O PÆP LAB é um espaço interdisciplinar dedicado ao estudo, planejamento e análise integrada das relações entre sociedade, meio ambiente e os desafios globais do desenvolvimento sustentável. A sigla PÆP sintetiza três eixos fundamentais:

- Pessoas (P): dimensão social, que envolve qualidade de vida, bem-estar, justiça social, vulnerabilidades socioeconômicas e inclusão.
- Ambiente (Æ): dimensão ambiental, contemplando recursos naturais, ecossistemas, biodiversidade, clima e dinâmicas territoriais.
- Planeta (P): dimensão global, que articula mudanças climáticas, transições energéticas, sustentabilidade e a conexão entre escalas local, regional e mundial.

O PÆP LAB busca produzir conhecimento aplicado e metodologias inovadoras para compreender e enfrentar problemas complexos que atravessam simultaneamente pessoas, ambientes e o planeta, sempre com foco em sustentabilidade, resiliência e justiça socioambiental.

O PÆP LAB se configura como um núcleo de referência científica e tecnológica, articulando pesquisa acadêmica, inovação metodológica e apoio à gestão pública. Sua missão é promover a harmonia entre pessoas, ambiente e planeta, contribuindo para um futuro mais equilibrado, justo e sustentável.

No âmbito dos estudos sobre vulnerabilidade social, algumas metodologias alinhadas ao Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) ganharam notoriedade e ampla difusão. Destacam-se o próprio IVS, proposto por Cutter et al. (2003), bem como a metodologia VS-CES-OSIRIS, desenvolvida pelo Observatório do Risco (OSIRIS). Esta última, inspirada na estrutura do IVS, foi concebida em parceria entre o CES (Centro de Estudos Sociais) da Universidade de Coimbra e o IGOT (Instituto de Geografia e Ordenamento do Território) da Universidade de Lisboa.

Metodologia IVS (Cutter)

Na metodologia proposta por Cutter et al. (2003), as diferentes possibilidades de adaptação, controle e suporte frente a eventos perigosos refletem a estrutura e a organização socioespacial dos riscos e da vulnerabilidade em determinado território (Cutter et al., 2003; Cutter, 2005; 2011).

O modelo do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) permite organizar e estruturar a análise da vulnerabilidade por meio da associação de variáveis demográficas e socioeconômicas, integrando dimensões de exposição ao risco com as características da população residente. Entre os aspectos considerados, incluem-se indicadores de rendimento, etnia/raça/cor, alfabetização, gênero, estrutura etária, nível de formação, origem e status social. Além disso, são incorporados parâmetros relativos à qualidade ambiental – como coleta de resíduos, abastecimento de água, arborização, iluminação pública e disponibilidade de equipamentos adaptados – e às condições de moradia, incluindo tipos de domicílios e a presença de infraestruturas adequadas (Cutter et al., 2003; 2009; Cutter & Finch, 2008).

De modo geral, os perfis populacionais utilizados no IVS são construídos a partir de dados censitários, integrados a outras bases de dados que incluem informações sobre saúde, mobilidade, transporte e direitos sociais. Tais variáveis, após submetidas a procedimentos estatísticos específicos, como análises multivariadas, são reduzidas a um conjunto mais enxuto de fatores ou componentes, empregados para descrever a configuração da vulnerabilidade social de cada localidade (Cutter et al., 2003).

Desde sua formulação inicial, o IVS tem contribuído para explicar como a vulnerabilidade se manifesta em diferentes contextos territoriais. Nos Estados Unidos, foi aplicado em diversos municípios, permitindo compreender sua configuração regional. Posteriormente, a metodologia foi adaptada e aplicada em outros países e regiões, incluindo Portugal (Mendes et al., 2011), a bacia do rio Maranguapinho, na região metropolitana de Fortaleza (Almeida, 2012), diferentes municípios do Brasil (Hummel et al., 2016) e municípios do estado do Rio de Janeiro (Armond, 2018).

Metodologia IVS (VS-CES-OSIRIS)

De acordo com esta metodologia, desenvolvida em conjunto pelo CES (Centro de Estudos Sociais), da Universidades de Coimbra, e IGOT (Instituto de Geografia e Ordenamento do Território), da Universidades de Lisboa., a vulnerabilidade social constitui um indicador essencial para orientar a governança do risco em situações decorrentes de eventos de origem natural, tecnológica ou ambiental (OSIRIS, 2014). A escolha da escala municipal como unidade de análise relaciona-se à necessidade de fortalecer a interação entre poder público, academia e comunidades, de modo a instrumentalizar os processos de gestão, prevenção, mitigação e redução de riscos. Nesse contexto, busca-se também a construção de indicadores que expressem a capacidade de resposta comunitária e a promoção de condições de resiliência de indivíduos e coletividades.

A vulnerabilidade social é compreendida como o nível de resiliência ou resistência de indivíduos e comunidades diante da exposição a processos ou eventos adversos. No âmbito da metodologia, designada IVS-CES-OSIRIS, adota-se um modelo de análise multivariada que articula dois componentes: (i) a Criticidade, relacionada às vulnerabilidades sociais das comunidades; e (ii) a Capacidade de Suporte, voltada à análise da vulnerabilidade territorial em face de emergências, desastres naturais e eventos

extremos (OSIRIS, 2014; Mendes et al., 2011; Portella et al., 2021). A metodologia incorpora ainda os efeitos de escala na mensuração das dimensões territoriais associadas à vulnerabilidade, reconhecendo a relevância da espacialidade no processo analítico (Mendes, 2018). Por definição:

A **criticidade** é definida pelo conjunto de características e comportamentos dos indivíduos que condicionam o seu grau de resistência e resiliência em responder ou lidar com desastres e cenários catastróficos.

A **capacidade de suporte** define-se pela cobertura e diversidade de infraestruturas e equipamentos que alavancam a resposta das comunidades aos desastres e catástrofes (OSIRIS, 2014).

De acordo com a metodologia VS-CES-OSIRIS, a quantificação da Vulnerabilidade Social é um processo complexo, uma vez que envolve a mensuração de variáveis intangíveis com o propósito de prever consequências bastante tangíveis. Entre os aspectos intangíveis considerados, destacam-se o grau de envelhecimento populacional, a taxa de alfabetização dos responsáveis pelos domicílios e a cobertura de equipamentos de apoio em determinada área, entre outros. A partir dessa base, busca-se compreender e projetar consequências tangíveis, tais como perdas de vidas humanas, ocorrência de mortes e ferimentos, danos materiais e a capacidade de resiliência frente a impactos negativos (OSIRIS, 2014).

O principal objetivo do Índice de Vulnerabilidade Social, desenvolvido no âmbito dessa metodologia, é oferecer uma análise multidisciplinar da vulnerabilidade, em articulação com os perigos de origem natural e tecnológica. Para tanto, adota-se uma perspectiva que valoriza o conhecimento aprofundado dos territórios, superando as limitações das escalas subnacionais de análise e enfatizando a dimensão sociológica do modelo analítico proposto (MENDES, 2018).

A formulação da metodologia VS-CES-OSIRIS fundamentou-se em referenciais teóricos consolidados sobre o tema, com destaque para Cutter et al. (2003), a partir dos quais Mendes (2009) e Mendes et al. (2011) desenvolveram uma abordagem baseada nas dimensões da vulnerabilidade social aplicada ao Concelho de Cascais, em Portugal. Nessa linha, a metodologia foi igualmente adotada e aplicada para a análise da vulnerabilidade social nos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis e Teresópolis, no estado do Rio de Janeiro pela equipe do LAMCE.

No Brasil, a aplicação da metodologia foi realizada por Bortoletto (2016), que empregou técnicas estatísticas, especialmente a Análise dos Componentes Principais

(ACP), aliadas a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para avaliar a vulnerabilidade social em Caraguatatuba – SP.

2.4.2.4. Componentes da Vulnerabilidade Social

A vulnerabilidade social pode ser compreendida como o nível de resiliência ou resistência de indivíduos e comunidades diante da exposição a processos ou eventos potencialmente danosos. De acordo com OSIRIS (2014), essa vulnerabilidade é determinada por duas componentes principais: Criticidade (CRIT) e Capacidade de Suporte (CS).

A dimensão de Criticidade expressa a condição do município em termos de variáveis associadas a faixas etárias vulneráveis, estrutura familiar, níveis de escolaridade, poder econômico, condições de habitabilidade, dinâmica urbana, estrutura ocupacional, presença de áreas urbanas desfavorecidas e número de beneficiários de sistemas de proteção social.

Por sua vez, a dimensão de Capacidade de Suporte está relacionada às infraestruturas e serviços voltados à segurança pública, proteção civil, educação, saúde e apoio social, além da disponibilidade e acessibilidade a serviços, comércio, sistemas vitais (lifelines) e infraestruturas de resposta, como aquelas voltadas ao combate a incêndios (OSIRIS, 2014).

Cabe ressaltar que, em função das especificidades territoriais e da diversidade de bases de dados disponíveis em cada contexto, nem sempre é possível contemplar todos os elementos de análise previstos na metodologia.

Criticidade (CRIT)

No âmbito da vulnerabilidade social, a Criticidade corresponde ao conjunto de características e condições dos indivíduos que influenciam diretamente sua resistência e capacidade de resiliência diante de desastres ou cenários catastróficos (OSIRIS, 2014; MENDES, 2018).

A seleção das variáveis utilizadas na avaliação da Criticidade depende da disponibilidade de informações e do recorte espacial adotado. Em geral, contemplam-se

os seguintes domínios: apoio social, condição do patrimônio edificado, demografia, economia, educação, habitação, justiça e saúde (OSIRIS, 2014).

Para melhor compreensão do conceito, pode-se observar, por exemplo, que na dimensão demográfica a idade é um fator determinante: crianças e idosos integram, independentemente de sua condição econômica ou habitacional, grupos vulneráveis devido a possíveis limitações de mobilidade e autonomia, como alimentar-se ou deslocar-se sozinhos. De modo semelhante, no domínio econômico, o rendimento nominal mensal constitui uma variável relevante, mas não suficiente, uma vez que elevado poder aquisitivo não implica automaticamente ausência de vulnerabilidade. Assim, a análise da Criticidade exige a consideração integrada e comparativa dos diferentes domínios.

A hierarquização do nível de Criticidade é fundamental para estimar o que está em risco em termos de perdas humanas, ferimentos, danos materiais ou ao patrimônio. Nessa perspectiva, a metodologia OSIRIS (2014) define os seguintes níveis de Criticidade:

- **Nível de Criticidade muito baixo:** Somente no caso de uma catástrofe de caráter excepcional, haveria ferimentos em seres humanos, interrupções nos sistemas de produção, econômico e sociais, além de danos no sistema ambiental;
- **Nível de Criticidade baixo:** As consequências dos danos causados pela catástrofe no meio ambiente e na segurança das pessoas e do patrimônio edificado são reduzidas, o que exige recursos reduzidos para o retorno às condições originais do sistema;
- **Nível de Criticidade médio:** implicaria danos territoriais que demandariam intervenção de autoridades, como a Defesa Civil, especialmente em áreas com elevado número de idosos, crianças ou beneficiários de programas sociais;
- **Nível de Criticidade elevado:** corresponderia a territórios que já apresentam fragilidades estruturais antes do evento adverso, aumentando a probabilidade de feridos, desalojamentos e ruptura dos sistemas econômicos locais;
- **Nível de Criticidade muito elevado:** refere-se a áreas altamente vulneráveis, nas quais enchentes ou deslizamentos podem acarretar colapso sistêmico, com destruição de edificações, mortes, feridos e severos prejuízos econômicos. São típicas de contextos marcados por habitações precárias (em madeira, papel, pau-a-pique, entre outros materiais frágeis), sem adequada fixação ao solo, situadas em encostas íngremes ou

planícies de inundação, com grande parte da população vivendo em condições de pobreza ou miséria.

LAMCE

COPPETEC

Capacidade de Suporte (CS)

A Capacidade de Suporte (CS) corresponde ao conjunto de infraestruturas territoriais que possibilitam às comunidades reagirem diante de situações adversas, como desastres ou catástrofes. É definida pela cobertura, diversidade e funcionalidade das infraestruturas e equipamentos que potencializam a resposta comunitária a eventos críticos. Assim, a CS é composta por variáveis descritivas de equipamentos, redes e serviços essenciais que assumem papel central no apoio às populações durante tais ocorrências.

Os principais domínios que expressam a Capacidade de Suporte incluem: economia, condição do patrimônio edificado, equipamentos sociais, infraestruturas de fornecimento de água, eletricidade e comunicações (as denominadas lifelines), habitação, proteção civil e saúde. Em análises intramunicipais, outros domínios podem ser incorporados, a depender da especificidade dos dados disponíveis.

A CS atua como um contrapeso à Criticidade. Contudo, investimentos em capacidade de suporte ou estratégias para sua ampliação não substituem a importância de políticas públicas voltadas à redução da Criticidade, devendo ambas as dimensões ser tratadas de forma complementar.

A avaliação da Capacidade de Suporte permite estimar a magnitude de danos potenciais, como o número de mortos ou o período de tempo em que uma população pode permanecer sem eletricidade. De modo geral, territórios com alta capacidade de suporte tendem a apresentar maior resiliência, transformando determinados eventos prejudiciais em ocorrências de caráter acidental ou pontual. Em contraste, territórios com baixa capacidade de suporte tendem a intensificar fragilidades preexistentes, ampliando a probabilidade de descontinuidade das funções socioeconômicas locais. Nessa perspectiva, a densidade e a localização das infraestruturas refletem a organização estrutural de uma sociedade e de seu território.

Segundo Mendes et al. (2014), os níveis de Capacidade de Suporte expressam tanto o potencial de resposta emergencial quanto os mecanismos de contingência que mitigam

a interrupção das funções socioeconômicas, revelando também diferentes graus de resiliência. Esses níveis podem ser caracterizados da seguinte forma:

- **Nível de capacidade de suporte muito baixo:** territórios desprovidos de infraestruturas capazes de apoiar a comunidade na superação de adversidades. Devido à escassez de recursos, as perdas assumem proporções significativas, com elevada probabilidade de efeitos catastróficos comprometerem o funcionamento do sistema territorial no médio e longo prazo;
- **Nível de capacidade de suporte baixo:** áreas que dispõem apenas parcialmente de infraestruturas essenciais. Embora algumas atividades socioeconômicas não sejam afetadas no médio e longo prazo, os prejuízos imediatos são relevantes e, em certos casos, irreversíveis com os recursos locais;
- **Nível de capacidade de suporte médio:** os danos decorrentes de eventos catastróficos são recuperáveis de acordo com a disponibilidade de recursos do território, ainda que a custos elevados. Atividades socioeconômicas tendem a sofrer interrupções temporárias em períodos de maior severidade;
- **Nível de capacidade de suporte elevado:** os efeitos de eventos críticos podem ser mitigados por meio de estratégias de reencaminhamento, como observado em áreas com alta densidade viária, onde interrupções em trechos específicos encontram alternativas na própria rede. Danos tendem a ser de menor intensidade, com custos reduzidos e recuperação relativamente rápida, sem comprometer atividades socioeconômicas centrais;
- **Nível de capacidade de suporte muito elevado:** prejuízos observados são pouco significativos, geralmente limitados a bens de menor valor, como edificações abandonadas. A continuidade das funções socioeconômicas não sofre impactos relevantes.

2.4.2.5. Dados

Seleção da Unidade de Análise

A unidade de análise adotada neste estudo é o Setor Censitário, definido pelo IBGE como a unidade territorial de controle cadastral e de coleta de informações do Censo

Cliente:



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Demográfico. Cada Setor Censitário é composto por áreas contíguas que respeitam os limites da divisão político-administrativa, a configuração legal dos espaços urbanos e rurais, além de atender a parâmetros técnicos que garantem a viabilidade operacional da coleta de dados (IBGE, 2011). Considerando que os resultados do Censo 2022 ainda não se encontram disponíveis de forma consolidada, optou-se pela utilização dos dados provenientes do Censo Demográfico de 2010. Uma vez que os resultados do Censo Demográfico de 2022 estiverem disponíveis, o IVS será atualizado a partir desses novos dados. Essa atualização permitirá não apenas a incorporação de informações mais recentes para os municípios, mas também a realização de análises temporais comparativas.

Variáveis Extraídas do Censo 2010: Setor Censitário

O Censo Demográfico de 2010, regido por legislação específica, assegura o sigilo das informações coletadas, que são produzidas exclusivamente para fins estatísticos. No Brasil, a periodicidade de realização dos Censos é estabelecida em intervalos máximos de 10 anos.

Na apresentação dos resultados do Universo por Setor Censitário, o IBGE disponibiliza arquivos em formato de planilhas (.xls e .csv) e camadas vetoriais (shapefile), que contemplam as informações territoriais de todas as Unidades da Federação. No estado do Rio de Janeiro, o Censo 2010 registrou um total de 27.770 setores censitários. Os resultados definitivos do Conjunto do Universo, abrangendo aproximadamente 3.000 variáveis, estão disponíveis na publicação Censo Demográfico 2010 – Características da população e dos domicílios – Resultados do universo, organizada em diferentes escalas: Grandes Regiões, Unidades da Federação, Municípios, Distritos, Subdistritos, Bairros e Regiões Metropolitanas (IBGE, 2011).

As variáveis de identificação geográfica disponibilizadas incluem: Grandes Regiões, Unidades da Federação, Mesorregiões, Microrregiões, Regiões Metropolitanas ou RIDEs, Municípios, Distritos, Subdistritos, Bairros, Setores Censitários, Situação do Setor e Tipo do Setor.

Entre as variáveis apresentadas, destacam-se informações sobre a população residente, como sexo, idade, cor ou raça, posição no domicílio, características dos

responsáveis, alfabetização, registro de nascimento de crianças até 10 anos, além de aspectos relativos aos domicílios particulares (IBGE, 2011).

A base territorial disponibilizada pelo IBGE é composta por um sistema integrado de mapas, cadastros e bancos de dados, concebido para sustentar e organizar as atividades de planejamento operacional, coleta, processamento e divulgação dos resultados do Censo Demográfico.

No que se refere à divisão territorial do Brasil, o país encontra-se estruturado em Unidades da Federação, que se subdividem em municípios, os quais, por sua vez, são segmentados em distritos e subdistritos. A caracterização detalhada dessa estrutura é apresentada a seguir.

- **Municípios:** constituem as unidades autônomas de menor hierarquia dentro da organização político-administrativa do Brasil. Sua criação, incorporação, fusão ou desmembramento dependem de leis estaduais, que devem observar o período determinado por lei complementar federal e a necessidade de consulta prévia, mediante plebiscito, às populações envolvidas, após divulgação dos estudos de viabilidade municipal, apresentados e publicados na forma da lei. Os municípios são regidos por leis orgânicas, observados os princípios estabelecidos na Constituição Federal e na constituição do estado onde se situam, e podem criar, organizar e suprimir distritos (IBGE, 2011);
- **Distritos:** são unidades administrativas dos municípios. Sua criação, desmembramento ou fusão dependem de leis municipais, que devem observar a continuidade territorial e os requisitos previstos em lei complementar estadual. Podem ser subdivididos em unidades administrativas denominadas subdistritos, regiões administrativas, zonas ou outra denominação específica (IBGE, 2011).
- **Subdistritos:** são unidades administrativas municipais, normalmente estabelecidas nas grandes cidades, criadas através de leis ordinárias das Câmaras Municipais e sancionadas pelo prefeito (IBGE, 2011);
- **Bairros:** são subdivisões intraurbanas legalmente estabelecidas através de leis ordinárias das Câmaras Municipais e sancionadas pelo Prefeito (IBGE, 2011).

O Censo Demográfico abrange a totalidade da população residente no país, bem como as características dos domicílios em todo o território nacional. A data de referência do Censo 2010 foi 31 de julho de 2010. Para fins de coleta, o IBGE definiu como domicílio

“todo local estruturalmente separado e independente, destinado a servir de habitação a uma ou mais pessoas, ou que esteja sendo utilizado como tal” (IBGE, 2011).

O arquivo Base de Informações por Setores Censitários reúne os resultados completos da pesquisa, organizados em 18 planilhas temáticas (ou cadernos). Neste trabalho, serão utilizados dados provenientes desses cadernos, contemplando as seguintes informações:

- Básico: códigos e nomes das subdivisões geográficas, além de informações cadastrais das áreas (totais, médias e variâncias);
- Domicílio: características dos domicílios e distribuição dos moradores por sexo e idade;
- Responsável: perfil dos responsáveis por domicílios particulares permanentes, incluindo sexo, idade e nível de alfabetização;
- Pessoa: população residente por sexo e idade;
- Entorno: variáveis referentes às condições ambientais e estruturais do entorno das quadras/faces dos setores censitários;
- Renda: informações sobre rendimento domiciliar, individual e dos responsáveis.

A partir desses dados, serão elaboradas parte das variáveis que compõem os índices utilizados no presente trabalho.

Variáveis dos Municípios e Estado

Os dados referentes aos equipamentos de Saúde (postos de saúde e hospitais), de Assistência Social (CRAS e CREAS) e de Proteção Civil (Corpo de Bombeiros, Polícia Civil e Polícia Militar) serão obtidos junto às administrações municipais e estaduais competentes ou, alternativamente, por meio da identificação de seus endereços e respectivas coordenadas geográficas.

Cliente:



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

2.4.2.5.1. Seleção das Variáveis de Entrada

As variáveis utilizadas na avaliação dos indicadores de Criticidade e Capacidade de Suporte serão obtidas a partir de duas fontes principais: (i) o Censo Demográfico do IBGE de 2010 e (ii) dados complementares fornecidos pelas Prefeituras e Governo do Estado, referentes sobretudo à Capacidade de Suporte, incluindo informações sobre equipamentos de assistência social, educação e saúde. As principais características dessas variáveis são apresentadas a seguir.

Variáveis de Criticidade

A seleção das variáveis de Criticidade exigirá um estudo prévio dos dados disponibilizados pelo Censo 2010, considerando-se as características sociais que, segundo Mendes (2009), podem “contribuir para o colapso do sistema”. No quadro 1, abaixo, colocamos um exemplo dessas informações.

Quadro 1. Exemplo de variáveis utilizadas como entrada no modelo de análise da Criticidade (CRIT).

Variável
Pessoas Residentes
Densidade populacional (hab./km ²)
Proporção (%) de população residente de cor ou raça – branca
Proporção (%) de população residente de cor ou raça – PRETA e PARDA
Proporção (%) de população residente com idade até 5 anos – 1ª infância
Proporção (%) de população residente com idade entre 6 e 12 anos – 2ª infância
Proporção (%) de população residente com idade entre 13 e 17 anos – adolescência
Proporção (%) de população residente com idade igual ou superior a 65 anos – idosos
Proporção (%) pessoas alfabetizadas com 15 ou + de idade
Proporção (%) pessoas responsáveis alfabetizadas
Proporção (%) pessoas responsáveis com 10 a 20 anos de idade
Proporção (%) de pessoas responsáveis do sexo feminino
Domicílios com rendimento nominal mensal per capita de até 1/4 do SM – abaixo da linha miséria

Domicílios com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 do SM - abaixo da linha da pobreza
Domicílios com rendimento nominal mensal domiciliar per capita acima de 5 SM
Rendimento médio das pessoas responsáveis, do sexo feminino
Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento).
Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
Domicílios com 1 a 4 moradores
Domicílios com 5 ou mais moradores

Variáveis da Capacidade de Suporte

O Índice de Capacidade de Suporte (CS) foi elaborado a partir de informações do Censo Demográfico do IBGE de 2010, contemplando dimensões relacionadas à condição dos logradouros e ao acesso dos domicílios a serviços básicos, tais como abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de lixo, situação do logradouro, arborização e acessibilidade para cadeirantes. Foram também incorporadas as áreas de abrangência dos equipamentos de Assistência Social e de Saúde do município de Nova Friburgo. As variáveis consideradas encontram-se detalhadas no quadro 2.

Quadro 2. Exemplo de variáveis utilizadas como entrada no modelo de análise da Capacidade de Suporte (CS)

Descrição
Domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água
Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e SEM esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial
Domicílios particulares permanentes sem lixo coletado por serviço de limpeza
Domicílios particulares permanentes – Não Existe identificação do logradouro
Domicílios particulares permanentes – Não Existe iluminação pública
Domicílios particulares permanentes – Não existe pavimentação
Domicílios particulares permanentes – Não existe calçada
Domicílios particulares permanentes – Não existe meio-fio/guia
Domicílios particulares permanentes – Não existe bueiro/boca-de-lobo
Domicílios particulares permanentes – Não existe rampa para cadeirante

Domicílios particulares permanentes – Não existe arborização	
Domicílios particulares permanentes – Existe esgoto a céu aberto	LANCE COPPETEC
Domicílios particulares permanentes – Existe lixo acumulado nos logradouros	
Assistência Social – áreas de influência (média ponderada)	

É importante destacar que as variáveis relacionadas às características urbanísticas – tais como pavimentação, calçadas, meio-fio/guia, bueiros/bocas-de-lobo, rampas de acessibilidade, arborização, esgoto a céu aberto e acúmulo de lixo nos logradouros – geralmente são coletadas exclusivamente nos setores censitários classificados como urbanos, mas que também podem ser registradas em setores de tipologia rural, especificamente na categoria “aglomerado rural de extensão urbana”.

Além das variáveis derivadas do Censo Demográfico de 2010, voltadas principalmente ao domínio da infraestrutura urbana, o conjunto de indicadores incorpora variáveis relacionadas aos equipamentos públicos assistência social e saúde, construídas por meio de modelagem Fuzzy.

No campo da Assistência Social, os equipamentos têm como objetivo garantir suporte à população no acesso a serviços, benefícios e programas governamentais. Destacam-se, nesse contexto, os Centros de Referência de Assistência Social (CRAS), unidades públicas responsáveis pela oferta de serviços de proteção social básica no âmbito do Sistema Único de Assistência Social (SUAS). Esses centros atuam no atendimento às necessidades familiares e no fortalecimento comunitário, com foco especial em territórios marcados por maior vulnerabilidade social. O CRAS exerce, ainda, papel articulador da rede socioassistencial e integrador de políticas públicas, ofertando serviços como o Proteção e Atendimento Integral à Família (PAIF) e os Serviços de Convivência e Fortalecimento de Vínculos. Em situações de desastres ou epidemias, desempenha papel fundamental ao oferecer apoio direto tanto à população já em condição de vulnerabilidade quanto àqueles que passam a necessitar de assistência em decorrência desses eventos.

No caso dos equipamentos de saúde, incluem-se os estabelecimentos destinados à oferta de serviços médico-sanitários à população, entre os quais se destacam:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

- Hospitais: unidades que oferecem atendimento médico e hospitalar, internações, cirurgias, tratamentos intensivos, entre outros serviços para pacientes com diferentes condições de saúde;
- Unidades Básicas de Saúde (UBS): compõem a Atenção Primária à Saúde e oferecem serviços de consultas médicas, vacinação, pré-natal, planejamento familiar e acompanhamento de doenças crônicas;
- Unidades de Pronto Atendimento (UPA): prestam atendimento de urgência e emergência, sem necessidade de agendamento prévio;
- Clínicas e Consultórios: estabelecimentos onde médicos, dentistas e outros profissionais de saúde oferecem consultas e tratamentos específicos.

O procedimento metodológico adotado para a elaboração das variáveis relacionadas aos equipamentos de Assistência Social e Saúde, fundamentado na modelagem Fuzzy, foi estruturado em uma sequência de etapas específicas:

- Identificação das distâncias de influência e abrangência dos equipamentos;
- Definição dos raios de influência (*buffers*) de cada equipamento através da plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG);
- Definição das áreas de pertinência dos equipamentos e suas regiões de influência específica para a Modelagem *Fuzzy*. Neste procedimento, desenvolveu-se as etapas de:
 - Transformação das coordenadas geométricas em planimétricas;
 - Conversão dos arquivos em formato vetorial para o formato matricial;
 - Aplicação do método de distância euclidiana entre os equipamentos e sua influência nas regiões de abrangência;
 - Aplicação da lógica difusa e função sigmoide, para segmentar as regiões e a intensidade de influência dos equipamentos sobre a população, mediante a reclassificação dos resultados;
 - Recorte e calibração da influência dos equipamentos a partir dos ambientes urbanos;
 - Recorte dos resultados no nível do setor censitário;
 - Aplicação de uma Métrica/Índice, onde foi adotada a média ponderada (M.P.) das áreas de pertinência, considerando os setores censitários.

Cliente:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

2.4.2.6. Elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

Ferramentas Utilizadas

O desenvolvimento e a elaboração do IVS envolverão a utilização de diferentes programas computacionais, cada um desempenhando funções específicas no processo metodológico. O Microsoft Excel (versão Microsoft 365) será empregado como editor de planilhas para a organização e o tratamento preliminar dos dados. O JASP (versão 0.18.3.0), software de código aberto, será utilizado para a análise estatística e a aplicação de testes de significância. Já o ArcGIS Pro (versão 3.4.3), plataforma de sistemas de informação geográfica, será adotado para o mapeamento, análise espacial, estruturação dos dados geográficos e a elaboração dos mapas temáticos.

Aquisição e Integração das Informações

A estruturação da base de dados para a construção do IVS se iniciará com a seleção preliminar das variáveis do Censo Demográfico de 2010 consideradas mais representativas para os municípios, priorizando aquelas capazes de refletir de forma mais fiel a realidade local e atender ao escopo da elaboração do índice de vulnerabilidade social. Adicionalmente, serão incorporadas variáveis complementares fornecidas pelas administrações municipais e estadual, relacionadas aos equipamentos públicos.

Em um primeiro momento, será feita a leitura dos Cadernos de Resultados do IBGE (2010), com a seleção de variáveis referentes aos domínios Domicílio, Responsável, Pessoa, Entorno e Renda. A base de dados geográficos será organizada no programa Excel, em formato de Tabela Matriz, contendo as variáveis brutas do Censo 2010, correspondentes aos setores censitários de cada município, identificados pelos geocódigos oficiais. Posteriormente, serão geradas novas variáveis derivadas de operações como soma, razão, proporção e média ponderada. No total, serão sistematizadas todas as variáveis que servirão de fundamento para a etapa seguinte de seleção.

Após a identificação das principais variáveis provenientes do IBGE e das Prefeituras, com potencial para subsidiar a análise e a construção dos índices de vulnerabilidade

social, será realizada a seleção inicial das variáveis de entrada para o modelo estatístico, conforme descrito a seguir.

Análise Estatística: Variáveis Seleccionadas via Modelagem ACP

A partir de um universo de variáveis de entrada – associadas à Criticidade e à Capacidade de Suporte – será realizada a modelagem estatística que resultará na construção dos Índices de Criticidade, de Capacidade de Suporte e de Vulnerabilidade Social.

O primeiro passo consiste na normalização das variáveis de entrada do modelo estatístico, realizada por meio do método Z-Score, conforme a seguinte fórmula:

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{S}$$

Onde:

Z = Z-Score.

X = Valor da variável.

\bar{X} = média de todos os valores do conjunto da variável.

S = Desvio padrão de todos os valores do conjunto da variável.

A abordagem estatística adotada para a construção do índice foi a Análise Fatorial por Componentes Principais (ACP), conforme proposta em Field (2009). Essa técnica tem como finalidade identificar dimensões subjacentes e comuns aos dados, servindo como critério para a seleção das variáveis que integrarão o índice.

A ACP busca condensar a informação contida em um grande número de variáveis originais em um conjunto reduzido de componentes estatísticos, com a menor perda possível de informação. Essa redução é obtida a partir da identificação de componentes lineares presentes nos dados e da análise de como os resultados fatoriais podem contribuir para a estruturação do índice. A partir desse processo, são extraídos os componentes fatoriais correspondentes a cada variável.

Um passo fundamental na aplicação da ACP consiste na identificação de variáveis altamente correlacionadas, pois elas podem representar o mesmo fenômeno e comprometer a robustez do modelo. Para tanto, utiliza-se a Matriz de Correlação, que apresenta os coeficientes de correlação entre pares de variáveis. Essa matriz, fundamentada nos estudos estatísticos de Karl Pearson e Francis Galton (Stanton, 2001),

fornece uma medida da intensidade e da direção da relação linear entre as variáveis. O coeficiente de correlação de Pearson (r) varia de -1 a 1 , sendo que valores próximos a -1 ou a 1 indicam correlação linear perfeita, enquanto valores próximos a 0 sugerem ausência de correlação linear significativa.

A Matriz de Correlação será utilizada também como ferramenta de diagnóstico para identificar casos de multicolinearidade — isto é, correlações elevadas entre variáveis, geralmente acima de $0,5$, que podem comprometer a objetividade da análise (Bortoletto, 2016). No presente trabalho, serão considerados apenas os pares de variáveis que apresentarem coeficientes de correlação superiores a $0,9$ na Matriz de Pearson. Nessas situações, uma das variáveis será excluída do conjunto, a partir de uma análise contextual que privilegia aquela mais relevante para a compreensão da vulnerabilidade social.

Após a análise das correlações, as variáveis selecionadas serão submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP). Para verificar a adequação da amostragem ao uso da técnica, serão aplicados dois testes estatísticos: o índice de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e o teste de Esfericidade de Bartlett.

- **Índice KMO:** varia entre 0 e 1 , sendo que valores próximos de 0 indicam correlações parciais elevadas e padrões inadequados à análise fatorial, enquanto valores próximos de 1 sugerem correlações compactas, favoráveis à extração de fatores robustos (Field, 2009). Em amostras com menos de 30 casos, o uso do KMO é considerado adequado desde que as comunalidades sejam superiores a $0,7$. Os resultados do KMO são interpretados em diferentes faixas:
 - $0,5$ a $0,7$: insignificantes;
 - $0,7$ a $0,8$: bons;
 - $0,8$ a $0,9$: ótimos;
 - acima de $0,9$: excelentes.

Segundo a metodologia CES-OSIRIS (2014), valores superiores a $0,6$ já são considerados aceitáveis para aplicação do modelo.

- **Teste de Esfericidade de Bartlett:** avalia a hipótese nula de que a matriz de correlação (R) é uma matriz identidade — em que todos os coeficientes de correlação entre variáveis são zero, exceto os da diagonal principal (Field, 2009). Para que a ACP seja aplicável, o teste deve apresentar significância estatística inferior a $0,05$, indicando correlações suficientes entre as variáveis.

As componentes extraídas para os domínios de Criticidade e Capacidade de Suporte são aquelas que apresentarem autovalores (eigenvalues) iguais ou superiores a 1, critério que assegura a retenção de fatores com capacidade explicativa relevante. A partir da matriz de componentes, serão selecionadas variáveis com cargas fatoriais (loadings) iguais ou superiores a 0,5 (ou iguais ou inferiores a -0,5), indicando forte associação com os componentes retidos.

Na etapa seguinte, será realizada a interpretação da cardinalidade de cada componente, considerando o sentido da contribuição das variáveis – se aumentam ou reduzem os níveis de Criticidade e Capacidade de Suporte. Serão atribuídos sinais positivos às variáveis que contribuírem para o aumento dos índices e sinais negativos àquelas que indiquem redução. Essa definição será guiada, sobretudo, pelas variáveis de maior carga fatorial, que exerçam influência mais significativa em cada componente.

Com base nisso, o score de cada setor censitário será obtido por meio da soma algébrica dos valores de cada componente principal. Esse procedimento resultará nos índices de Criticidade (ICRIT) e de Capacidade de Suporte (ICS) para todos os setores censitários analisados.

Por fim, a fim de padronizar os valores dos índices em uma escala comum, variando entre 0 e 1, será aplicada uma transformação linear quadrática, conforme a seguinte equação:

$$f(x_i) = 0,5 \left(\frac{x_i}{A} + [1] \right)^c$$

Onde:

x_i = score de cada setor censitário,

$$A = - \min(x_i),$$

$$c = \frac{\ln 2}{\ln \left(\frac{B}{A} + 1 \right)},$$

$$B = \max(x_i).$$

O cálculo do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) seguiu a formulação proposta pela metodologia VS-CES-OSIRIS, expressa pela seguinte equação:

$$IVS = ICRIT \times (1 - ICS)$$

em que *ICRIT* corresponde ao Índice de Criticidade e *ICS* Índice de Capacidade de Suporte.

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) será desenvolvido a partir da integração das tabelas de cada índice com a camada shapefile dos setores censitários dos municípios, utilizando o campo do geocódigo como chave de junção. O georreferenciamento dos resultados das variáveis de Criticidade e de Capacidade de Suporte, bem como dos respectivos índices – Índice de Criticidade (ICRIT), Índice de Capacidade de Suporte (ICS) e Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) – possibilitará a espacialização das informações, por meio do método de classificação pelo Desvio Padrão.

Em síntese, todas as etapas do processo de construção do IVS encontram-se sintetizadas a seguir, e no fluxograma da Figura 2.

1. Seleção e Aquisição das Variáveis de Entrada: Seleção de variáveis do Censo 2010 e de bases de dados municipais que representam a vulnerabilidade social;
2. Normalização dos Dados: Padronização das variáveis de entrada utilizando o método Z-Score;
3. Análise da Matriz de Correlação e Remoção da Multicolinearidade: Avaliação da matriz de correlação de Pearson para identificar e eliminar variáveis com alta multicolinearidade;
4. Modelagem Estatística por meio da ACP: Aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP), incluindo os testes Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de Esfericidade de Bartlett, para extração de componentes e seleção de variáveis significativas;
5. Interpretação das Cardinalidades: Determinação da cardinalidade (contribuição) de cada componente;
6. Cálculo dos scores por Setor Censitário: Computação dos scores para cada setor censitário, resultando no Índice de Criticidade (ICRIT) e no Índice de Capacidade de Suporte (ICS);
7. Transformação Linear Quadrática: Aplicação de transformação linear quadrática para escalonar os valores de ICRIT e ICS entre 0 e 1;
8. Cálculo do IVS: Utilização da fórmula VS-CES-OSIRIS para calcular o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) com base nos valores de ICRIT e ICS;
9. Mapeamento dos Índices: Desenvolvimento de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), integrando as tabelas dos índices à camada shapefile dos setores censitários. Representação espacial dos valores de Criticidade, Capacidade de Suporte e IVS por meio do método de classificação pelo Desvio Padrão.



Figura 2. Fluxo metodológico de construção do IVS.

2.4.2.7. Classificação Cartográfica das Variáveis

Para a cartografia da Vulnerabilidade Social, os resultados serão organizados em dois blocos de informações: o primeiro referente às variáveis de saída e o segundo aos índices. As variáveis de saída serão representadas cartograficamente por meio de classificações manuais, levando em consideração seus contextos, temas e características específicas.

No segundo bloco, os índices de Criticidade, Capacidade de Suporte e Vulnerabilidade Social serão hierarquizados em faixas de vulnerabilidade, definidas com base em intervalos de 1 Desvio Padrão (D.P.). Esses intervalos serão representados por meio de uma escala cromática, de modo a facilitar a interpretação e a compreensão espacial da situação de vulnerabilidade social no território analisado.

O Índice de Criticidade (ICRIT) será classificado em cinco faixas de vulnerabilidade, de acordo com valores de D.P., conforme ilustrado no quadro 3. A categorização resultou na atribuição de cada setor censitário a uma dessas faixas: (i) Criticidade muito baixa, para valores $\leq -1,5$ D.P.; (ii) Criticidade baixa, entre $-1,5$ e $-0,5$ D.P.; (iii) Criticidade média, entre

-0,5 e 0,5 D.P.; (iv) Criticidade alta, entre 0,5 e 1,5 D.P.; e (v) Criticidade muito alta, para valores $\geq 1,5$ D.P.

Quadro 3. Classificação do Índice de Criticidade

Hierarquização	Classes	Legenda
Muito baixa	$\leq -1,5$ D.P.	
Baixa	-1,5, -0,5 D.P.	
Média	-0,5, 0,5 D.P.	
Alta	0,5, 1,5 D.P.	
Muito alta	$\geq 1,5$ D.P.	

O Índice de Capacidade de Suporte (ICS) será classificado a partir do método do Desvio Padrão (D.P.), distribuído em cinco faixas de vulnerabilidade, cada uma definida em intervalos de 1 D.P., em um gradiente que varia de -1,5 a 1,5 D.P. (conforme apresentado no quadro 4).






A aplicação desse procedimento resultará na classificação de cada setor censitário em faixas de vulnerabilidade relacionadas à Capacidade de Suporte, conforme segue: (i) Capacidade de Suporte muito baixa, para valores $\leq -1,5$ D.P.; (ii) Capacidade de Suporte baixa, entre -1,5 e -0,5 D.P.; (iii) Capacidade de Suporte média, entre -0,5 e 0,5 D.P.; (iv) Capacidade de Suporte alta, entre 0,5 e 1,5 D.P.; e (v) Capacidade de Suporte muito alta, para valores $\geq 1,5$ D.P. (quadro 4).

Quadro 4. Classificação do Índice de Capacidade de Suporte.

Hierarquização	Classes	Legenda
Muito baixa	$\leq -1,5$ D.P.	
Baixa	-1,5, -0,5 D.P.	
Média	-0,5, 0,5 D.P.	
Alta	0,5, 1,5 D.P.	
Muito alta	$\geq 1,5$ D.P.	

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) será classificado por meio do método do Desvio Padrão (D.P.), distribuído em cinco faixas de vulnerabilidade, cada uma definida em intervalos de 1 D.P., variando entre -1,5 e 1,5 D.P. (conforme ilustrado no quadro 5).

Quadro 5. Classificação do Índice de Vulnerabilidade Social.

Hierarquização	Classes	Legenda
Muito baixa	$\leq -1,5$ D.P.	
Baixa	-1,5, -0,5 D.P.	
Média	-0,5, 0,5 D.P.	
Alta	0,5, 1,5 D.P.	
Muito alta	$\geq 1,5$ D.P.	

A elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) resultará na classificação de cada setor censitário em faixas de vulnerabilidade, conforme os valores de Desvio Padrão (D.P.). Os setores com valores $\leq -1,5$ D.P. foram classificados como de Vulnerabilidade Social muito baixa. Aqueles situados entre -1,5 e -0,5 D.P., classificados como de Vulnerabilidade Social baixa. Valores entre -0,5 e 0,5 D.P. correspondem à Vulnerabilidade Social média. Os setores compreendidos entre 0,5 e 1,5 D.P. são categorizados como de Vulnerabilidade Social alta, enquanto os setores com valores $\geq 1,5$ D.P. são classificados como de Vulnerabilidade Social muito alta.

2.4.2.8. Atividades Previstas para o Relatório 3

Considerando as atividades previstas para o próximo trimestre, cujos resultados serão apresentados no Relatório 3, será realizada a elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para os municípios de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba.



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

2.4.3. Atividades Desenvolvidas no âmbito da Meta 11

A consolidação da Plataforma de Monitoramento Ambiental da Baía de Guanabara avança por meio da estruturação de uma rede integrada de estações meteorológicas, sensores de qualidade do ar e instrumentos de sensoriamento remoto. Essa iniciativa tem como objetivo ampliar a coleta sistemática de dados ambientais e fortalecer a capacidade de diagnóstico e prognóstico das condições atmosféricas e costeiras da região.

Como parte desse processo, foram conduzidas visitas técnicas de campo em locais estratégicos, com a participação de pesquisadores do LAMCE/COPPE/UFRJ e representantes da SEAS-RJ, além de órgãos parceiros como ICMBio e secretarias municipais de meio ambiente. Nessas atividades, buscou-se avaliar a viabilidade técnica, logística e operacional para a instalação dos equipamentos, garantindo não apenas a qualidade das medições, mas também a segurança patrimonial e a representatividade ambiental dos pontos selecionados.

Além das vistorias, o trabalho incluiu reuniões de alinhamento voltadas à organização e disponibilização dos dados na plataforma Baía Digital, com ênfase na usabilidade, interoperabilidade e segurança da informação. Paralelamente, foram definidas próximas etapas de implantação, incluindo a instalação de novas estações em áreas estratégicas como o campus do Gragoatá, em Niterói.

Essa fase representa um marco essencial para a consolidação de uma infraestrutura observacional robusta e contínua, capaz de subsidiar tanto a pesquisa científica quanto a gestão pública, contribuindo para o enfrentamento de desafios relacionados à saúde ambiental, planejamento urbano e adaptação às mudanças climáticas.

2.4.3.1. Planejamento da Rede de Estações Meteorológicas, Qualidade do Ar e Sensoriamento Local

Como parte da etapa de implementação da rede observacional prevista no escopo da Plataforma de Monitoramento Ambiental da Baía de Guanabara, foram conduzidas visitas técnicas de campo com o objetivo de acelerar o processo de coleta sistemática de dados ambientais. Essas atividades buscaram garantir a instalação estratégica de equipamentos de medição em áreas representativas da diversidade ambiental da região,

contemplando diferentes condições locais que caracterizam a complexidade metropolitana da Baía.

As visitas contaram com a participação conjunta de técnicos e pesquisadores do Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE/COPPE/UFRJ) e representantes da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS-RJ). A partir de análises em campo, foram avaliados e qualificados os locais previamente mapeados como potenciais pontos de instalação de estações meteorológicas e sensores de qualidade do ar, considerando não apenas a viabilidade técnica, mas também as condições logísticas e operacionais exigidas para a sustentação do sistema em longo prazo.

A metodologia adotada incluiu a análise detalhada do entorno físico, uso e cobertura do solo, acessibilidade para operações de instalação e manutenção dos sensores, grau de exposição aos fatores ambientais, conectividade e segurança patrimonial. Tais critérios são fundamentais para garantir a estabilidade das medições, a minimização de interferências externas e o acesso contínuo às informações em tempo real. Os pontos selecionados abrangem desde áreas urbanas densamente povoadas até regiões costeiras e estuarinas com relevante influência hidrometeorológica, ampliando a cobertura espacial da rede e sua capacidade de diagnóstico ambiental integrado.

Essa fase de reconhecimento e validação de campo representa um componente estruturante do projeto, pois define a base física sobre a qual se assenta a qualidade dos dados coletados. A implantação das estações e sensores em pontos adequadamente selecionados garante não apenas a confiabilidade das informações produzidas, como também aumenta a representatividade das variabilidades meteorológicas e atmosféricas da Baía de Guanabara. Ao se estabelecer a rede de monitoramento, cria-se uma infraestrutura sólida para subsidiar a modelagem numérica de alta resolução, a geração de cenários prognósticos e a avaliação de impactos ambientais.

2.4.3.2. Visitas Técnicas

No período entre julho e agosto de 2025 foram realizadas duas visitas técnicas a potenciais locais de instalação das estações meteorológicas na região do Fundo da Baía de Guanabara, pré-definidas anteriormente:

Cliente:



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro

Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

- 08 de julho – Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim.
- 08 de agosto – Bairro de Mauá, município de Magé.

LANCE

COPPETEC

2.4.3.2.1. Avaliação do ponto APA Guapimirim

Durante a visita técnica realizada à Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, foi promovida uma reunião institucional entre a equipe do projeto e representantes do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com o objetivo de apresentar os objetivos gerais da iniciativa, discutir a necessidade de infraestrutura local para apoio à rede de monitoramento ambiental e identificar oportunidades de cooperação técnica.

No contexto da vistoria em campo, foi verificado que a região atualmente não dispõe de estação meteorológica ativa. A estação anteriormente existente, de responsabilidade da Petrobras, encontra-se desativada, o que evidencia a lacuna na cobertura observacional local. A análise das condições do terreno apontou limitações relevantes à instalação de novos sensores ao nível do solo, devido a dois fatores principais: (i) recorrência de alagamentos na área, o que comprometeria a estabilidade e a integridade dos equipamentos, e (ii) presença de dossel arbóreo denso com copas elevadas, que afetaria negativamente a qualidade e representatividade das medições atmosféricas, em especial aquelas relacionadas à radiação solar, temperatura do ar e vento.

Como alternativa técnica viável, foi identificada a possibilidade de aproveitamento de uma torre de observação já existente nas dependências da sede do ICMBio. Esta estrutura apresenta fácil acesso para a equipe técnica e manutenção regular, além de permitir a instalação dos sensores em altura aproximada de 10 metros, o que garantiria a captação de dados em condições livres de obstruções vegetacionais e alagamentos.

Contudo, devido à necessidade de adaptações estruturais na torre para assegurar a fixação adequada dos equipamentos e garantir a segurança operacional do sistema, definiu-se que a implementação deste ponto de monitoramento será postergada para uma fase subsequente do projeto, condicionada à viabilização das adequações técnicas exigidas.

2.4.3.2.2. Avaliação do Ponto na Região de Mauá (Magé)

Durante a fase inicial de definição da malha de monitoramento ambiental na Baía de Guanabara, a região da Praia de Mauá / Guia de Pacobaíba, no município de Magé, foi inicialmente considerada como um ponto estratégico e potencialmente adequado para a instalação de uma estação meteorológica e de qualidade do ar. A escolha preliminar se deu em função da sua localização geográfica privilegiada, proximidade com a Baía e facilidade logística para acesso da equipe técnica em atividades de manutenção e calibração.

No entanto, a avaliação de campo indicou que a área apresenta condições que inviabilizam a instalação segura e contínua dos equipamentos, especialmente no que se refere à proteção dos dispositivos contra ações externas. Foram identificadas fragilidades relacionadas à segurança patrimonial, uma vez que se trata de uma área aberta ao público, com alta circulação de pessoas, sobretudo nos finais de semana, e sem qualquer controle sistemático de acesso. Tais condições colocariam em risco a integridade dos sensores e dificultariam ações de manutenção rotineira.

Em função dessas limitações, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Magé sugeriu como alternativa o uso de instalações no interior do Parque Natural Municipal Barão de Mauá, situado na Rua Antonieta Gomes de Oliveira, s/nº – Jardim da Paz, Magé – RJ. A equipe do projeto realizou uma visita técnica ao parque, acompanhada por representantes da Secretaria e da administração da unidade de conservação, com o intuito de apresentar os objetivos do projeto, os requisitos técnicos para instalação e os benefícios esperados em termos de fortalecimento do monitoramento ambiental da Baía de Guanabara.

A vistoria técnica identificou condições operacionais significativamente mais adequadas no interior do parque. A área é cercada, dispõe de controle de entrada e saída de pessoas, conta com vigilância patrimonial própria, e está situada próxima ao estuário da Baía de Guanabara, o que assegura representatividade ambiental das medições. Além disso, o ambiente institucional favorece parcerias institucionais para fins educacionais e de extensão científica junto à comunidade local.

Entretanto, devido à altura elevada da cobertura vegetal do manguezal nas proximidades, verificou-se a necessidade de instalação dos sensores em altura superior à

copa das árvores, de modo a evitar interferências nas medições atmosféricas. Assim, definiu-se a instalação de uma torre meteorológica, a ser implantada na área segura e tecnicamente apropriada, viabilizando a coleta de dados meteorológicos e de qualidade do ar de forma precisa, contínua e protegida contra obstruções ambientais.

2.4.3.5. Reunião de Alinhamento para a Visualização dos Produtos Gerados

Em 13 de agosto de 2025, foi realizada uma reunião de alinhamento com o Núcleo de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) com o objetivo de reestruturar a organização e o layout da plataforma Baía Digital, com foco na disseminação de produtos derivados de dados meteorológicos, de qualidade do ar e provenientes de sensoriamento remoto orbital.

Durante a reunião, foram apresentados os conjuntos de dados atualmente disponíveis, bem como aqueles em fase de integração à plataforma. Discutiu-se a estrutura lógica de organização dos painéis de visualização, com ênfase na usabilidade para diferentes perfis de usuários, desde o público geral, passando por gestores públicos e tomadores de decisão, até pesquisadores e especialistas técnicos.

Os tópicos discutidos incluíram critérios para apresentação de dados em tempo real e séries temporais, a categorização temática por camadas ambientais (atmosfera, qualidade do ar, oceano, satélite) e a aplicação de ferramentas interativas para permitir exploração e cruzamento das informações. Foram também abordados aspectos técnicos relativos à interoperabilidade dos sistemas, à segurança da informação e à escalabilidade da infraestrutura web.

2.4.3.6. Continuidade do Trabalho e Próximas Etapas

As atividades relacionadas ao monitoramento ambiental da Baía de Guanabara vêm sendo executadas conforme o cronograma técnico estabelecido, contemplando as fases de aprimoramento dos processos de coleta, transmissão e visualização de dados, bem como ações de manutenção preventiva e corretiva dos sistemas em operação. As aquisições de novos equipamentos e a instalação progressiva de sensores seguem os parâmetros definidos para garantir a continuidade e confiabilidade das séries temporais geradas.

Entre as próximas etapas planejadas, destaca-se a implantação de uma nova estação integrada de monitoramento meteorológico e da qualidade do ar no campus do Gragoatá, em Niterói. Essa unidade terá papel estratégico no preenchimento de lacunas observacionais na porção leste da Baía de Guanabara e permitirá um acompanhamento mais detalhado dos gradientes ambientais costeiros em região de alta densidade populacional.

Está prevista a ativação do sistema de monitoramento local imediatamente após a instalação dos sensores, com a devida integração das rotinas de aquisição e envio automático de dados à plataforma digital operacional. Reuniões técnicas periódicas continuarão sendo realizadas com foco na estruturação das interfaces de visualização em tempo real desses dados.

Adicionalmente, estão em andamento articulações com setores técnicos das agências estaduais responsáveis por meteorologia e controle da qualidade do ar, com o objetivo de consolidar protocolos de compartilhamento de dados. Essa cooperação visa potencializar o uso das informações ambientais geradas pelo projeto no contexto da gestão integrada da Baía de Guanabara e no apoio à tomada de decisão em políticas públicas relacionadas à saúde ambiental, ao planejamento urbano e ao enfrentamento de riscos climáticos.

Anexo - Visitas Técnicas

Local da instalação: Parque Natural Municipal Barão de Mauá.





Plano Operacional de Gestão e Avaliação Ambiental da Baía de Guanabara e do Estado do Rio de Janeiro



Cliente:



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO
Governador: Cláudio Castro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental



LANCE COPPETEC

onal de
Avaliação
Baía de Guanabara e
do Rio de Janeiro



Cliente:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

3. Conclusões

O presente relatório evidencia avanços decisivos na consolidação da Plataforma de Monitoramento Ambiental da Baía de Guanabara, estruturada em três eixos complementares. No campo observacional, as visitas técnicas permitiram a seleção criteriosa de locais estratégicos para a instalação de estações meteorológicas e sensores de qualidade do ar, assegurando a representatividade espacial e a continuidade das séries temporais. No eixo da modelagem ambiental, foram implementadas melhorias substanciais nos modelos atmosférico, hidrodinâmico e de ondas, com destaque para a atualização das grades numéricas, o uso de bases topográficas e de uso do solo mais detalhadas e a incorporação de dados fluviométricos regionais, o que ampliou a precisão e a confiabilidade das simulações. Já no âmbito da modelagem socioambiental, avançou-se na integração de bases estatísticas, cartográficas e ambientais, estruturando metodologias que culminam na elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), capaz de identificar desigualdades territoriais e apoiar a formulação de políticas públicas.

Em conjunto, essas ações fortalecem a infraestrutura física e computacional do projeto, ampliam a capacidade de diagnóstico e de prognóstico sobre as dinâmicas ambientais e sociais e fornecem subsídios qualificados para o planejamento territorial e a gestão integrada da Baía de Guanabara. O relatório, portanto, marca uma etapa fundamental no avanço da plataforma, consolidando-a como instrumento estratégico de apoio à sustentabilidade, à resiliência e ao desenvolvimento socioambiental da região.



Referências Bibliográficas

Almeida, L.Q.D. (2012). Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações. Coleção PROPG Digital (UNESP).

Armond, N. (2018). Dinâmica climática, excepcionalidades e vulnerabilidade: contribuições para uma classificação geográfica do clima do estado do Rio de Janeiro. Universidade Estadual Paulista (Unesp). Tese de doutorado.

Atkins, J.P., Mazzi, S., & Easter, C.D. (2000). Commonwealth vulnerability index for developing countries: The position of small states. Economic Paper.

Birkmann, J. (2006). Measuring vulnerability to promote disaster resilient societies: Conceptual frameworks and definitions. In J. Birkmann (Ed.), Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies, 1(9), 3-7. Tokyo: United Nations University Press.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (2014). At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. London: Routledge.

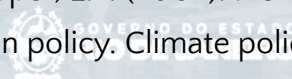
Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for climate change research working paper, 38(38), 1-16.

Bullard, R.D. (2008). Differential vulnerabilities: Environmental and economic inequality and government response to unnatural disasters. Social Research: An International Quarterly, 75(3), 753-784.

Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., & Schipper, E.L. (2002). From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. Climate policy, 2(2-3), 145-159.

Burton, I. (1993). The environment as hazard. The Guilford Press, New York, NY.

Cliente:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Cardona, O.D. (2013). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In Mapping vulnerability (pp. 37-51). Routledge.

Cardona, O.D., van Aalst, M.K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., Pulwarty, R.S., Schipper, E.L.F., and Sinh, B.T. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., and Midgley, P.M. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.

Chakraborty, L., Rus, H., Henstra, D., Thistlethwaite, J., and Scott, D. (2019). A place-based socioeconomic status index: Measuring social vulnerability to flood hazards in the context of environmental justice. *Int. J. Disaster Risk Red.* 43, 101394. doi: 10.1016/j.ijdrr.2019.101394.

Cutter, S.L., Boruff, B.J., & Shirley, W.L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social science quarterly*, 84(2), 242-261.

Cutter, S.L., & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the national academy of sciences*, 105(7), 2301-2306.

Cutter, S.L., Emrich, C.T., Webb, J., and Morath, D. (2009). Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. Hazards and Vulnerability Research Institute, University of South Carolina, Columbia.

Cutter, S.L. (2011). A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, (93), 59-69.

Danielson, Jeffrey J.; GESCH, Dean B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073. Reston: [S.n.].

Cliente:



Governo do Estado do Rio de Janeiro
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

De Souza, Lucio Silva et al. Evaluation of Cumulus and Microphysical Parameterization Schemes of the WRF Model for Precipitation Prediction in the Paraíba do Sul River Basin, Southeastern Brazil. *Pure and Applied Geophysics*, v. 181, n. 2, p. 679–700, 2024.

Drakes, O., & Tate, E. (2022). Social vulnerability in a multi-hazard context: a systematic review. *Environmental research letters*, 17(3), 033001.

Farr, Tom G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, 1 jun. 2007.

Holand, I.S., Lujala, P., & Rod, J.K. (2011). Social vulnerability assessment for Norway: A quantitative approach. *Norwegian Journal of Geography*, 65(1), 1–17.

Hummell, B.M.L., Cutter, S.L., & Emrich, C.T. (2016). Social vulnerability to natural hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*, 7, 111–122.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2011). Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html> Caminho: Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/RJ_20171016.

Juran, L., & Trivedi, J. (2015). Women, gender norms, and natural disasters in Bangladesh. *Geographical Review*, 105(4), 601–611.

Kelly, P.M., & Adger, W.N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic change*, 47(4), 325–352.

Cliente:

GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Mendes, J.M. (2018). Risco, vulnerabilidade social e resiliência: conceitos e desafios. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 7, 463-492.



Mendes, J.M.O. (2009). Social vulnerability indexes as planning tools: beyond the preparedness paradigm. *Journal of Risk Research*, 12(1), 43-58.

Mendes, J.M. de O., Tavares, A.O.T., Freiria, L.C., Freiria, S.F. (2011). A vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 93, Junho 2011. P. 95-128

Monteiro, S.R.D.R.P. (2011). O marco conceitual da vulnerabilidade social. *Sociedade em Debate*, 17(2), 29-40.

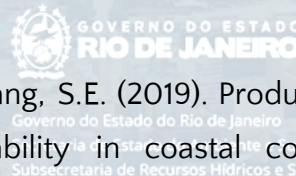
Morrow, B. (2008). Community resilience: A social justice perspective (The community and regional resilience initiative research report 4). Oak Ridge, TN: Community and Regional Resilience Initiative.

O'brien, K., Eriksen, S., Nygaard, L. P., & Schjolden, A. N. E. (2007). Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate policy*, 7(1), 73-88.

Observatório do Risco (OSIRIS). (2014). Avaliação da Vulnerabilidade Social no Concelho de Cascais. Relatório Final. Universidade de Coimbra. Centro de Estudos Sociais. Laboratório Associado. Coimbra.

Otto, I.M., Reckien, D., Reyer, C.P., Marcus, R., Le Masson, V., Jones, L., Norton, A., & Serdeczny, O. (2017). Social vulnerability to climate change: a review of concepts and evidence. *Regional environmental change*, 17, 1651-1662.

Oulahen, G., McBean, G., Shrubsole, D., & Chang, S.E. (2019). Production of risk: multiple interacting exposures and unequal vulnerability in coastal communities. *Regional Environmental Change*, 19, 867-877.



Portella, S., Mendes, J. M., Santos, P., Grave, M., & Ichihara, M.Y.T. (2021). Metodologias para Índices de Vulnerabilidades Socioambientais, Dinâmicas de contágio da COVID 19 e Índice Brasileiro de Privação em Saúde. *Ciência & Trópico*, 45(2), p. 55-78, 2021. DOI: [https://doi.org/10.33148/cetropicov45n2\(2021\)art4](https://doi.org/10.33148/cetropicov45n2(2021)art4).

Rahimi-Golkhandan, A., Aslani, B., & Mohebbi, S. (2022). Predictive resilience of interdependent water and transportation infrastructures: A sociotechnical approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 80, 101166.

Reckien, D. (2018). What is in an index? Construction method, data metric, and weighting scheme determine the outcome of composite social vulnerability indices in New York City. *Regional environmental change*, 18, 1439-1451.

Rufat, S., Tate, E., Burton, C.G., & Maroof, A.S. (2015). Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. *International journal of disaster risk reduction*, 14, 470-486.

Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards. A review of definitions, concepts and data. European Commission Joint Research Centre. EUR, 21410, 40.

Skamarock, William C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 4.3 (No. NCAR/TN-556+STR). Boulder: [S.n.]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5065/1dfh-6p97>.

Souza, Carlos M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, 2020.



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Spielman, S.E., Tuccillo, J., Folch, D.C., Schweikert, A., Davies, R., Wood, N., & Tate, E. (2020). Evaluating social vulnerability indicators: criteria and their application to the Social Vulnerability Index. *Natural Hazards*, 100, 417-436.

Sullivan, C., & Meigh, J. (2005). Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science and Technology*, 51(5), 69-78.

Tanir, T., de Lima, A.D.S., Coelho, G. de A., Uzun, S., Cassalho, F., & Ferreira, C.M. (2021). Assessing the spatiotemporal socioeconomic flood vulnerability of agricultural communities in the Potomac River Watershed. *Natural Hazards*, 108(1), 225-251.

Terti, G., Ruin, I., Anquetin, S., & Gourley, J.J. (2015). Dynamic vulnerability factors for impact-based flash flood prediction. *Natural hazards*, 79, 1481-1497.

Tompkins, E.L., & Hurlston, L.A. (2005). Natural hazards and climate change: what knowledge is transferable. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper, 69, 20.


Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079.

Vogel, C., & O'Brien, K. (2004). Vulnerability and global environmental change: rhetoric and reality. *Aviso: an information bulletin on global environmental change and human security*, issue no. 13, March 2004.

Watts, M.J., & Bohle, H.G. (1993). The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in human geography*, 17(1), 43-67.

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2004). *At Risk*. London: Routledge.

Cliente:


GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO
GOVERNADOR
Sérgio Cabral Filho
Governador do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
Subsecretaria de Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental

Yoon, D.K. (2012). Assessment of social vulnerability to natural disasters: A comparative study. *Natural Hazards*, 63, 823–843.

Wells, J. (1997). Composite vulnerability index: A revised report. Commonwealth Secretariat, London.

Wendling, Z.A., Emerson, J.W., de Sherbinin, A., Esty, D.C. (2020). 2020 Environmental Performance Index. Yale Center for Environmental Law & Policy. epi.yale.edu, New Haven, CT.

