

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS
AMBIENTAIS

VICTOR MATHEUS DA CRUZ DE CARVALHO

O IMPACTO DOS EVENTOS EXTREMOS E DO REGIME DE MARÉ OCEÂNICA
NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES EM BACIAS EXORREICAS

UBERLÂNDIA/MG

2023

VICTOR MATHEUS DA CRUZ DE CARVALHO

**O IMPACTO DOS EVENTOS EXTREMOS E DO REGIME DE MARÉ OCEÂNICA
NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES EM BACIAS EXORREICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.
Área de Concentração: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães.

Coorientador: Prof. Dr. João Vitor Meza Bravo.

UBERLÂNDIA/MG

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C331i
2023 Carvalho, Victor Matheus da Cruz de, 1995-
 O impacto dos eventos extremos e do regime de maré oceânica na
 ocorrência de inundações em bacias exorreicas [recurso eletrônico] /
 Victor Matheus da Cruz de Carvalho. - 2023.

Orientador: Gabriel do Nascimento Guimarães.

Coorientador: João Vitor MezaBravo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.7042>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Guimarães, Gabriel do Nascimento, 1984-, (Orient.).
II. Bravo, João Vitor Meza, 1989-, (Coorient.). III. Universidade Federal
de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. IV. Título.

CDU: 910.1

Glória Aparecida
Bibliotecária Documentalista - CRB-6/2047

VICTOR MATHEUS DA CRUZ DE CARVALHO

**O IMPACTO DOS EVENTOS EXTREMOS E DO REGIME DE MARÉ OCEÂNICA
NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES EM BACIAS EXORREICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.
Área de Concentração: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Aprovada em :

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Alan Silveira
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Fabio Luiz Albarici
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas (IFSULDEMINAS)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico; Número 536, PPGGEO				
Data:	24 de março de 2023	Hora de início:	14h:00m	Hora de encerramento:	16h:22m
Matrícula do Discente:	12112GEO007				
Nome do Discente:	VICTOR MATHEUS DA CRUZ DE CARVALHO				
Título do Trabalho:	O IMPACTO DE EVENTOS EXTREMOS E DO REGIME DE MARÉ OCEÂNICA NA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES EM BACIAS EXORREICAS				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECNOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Campus Santa Mônica via <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/gabriel-do-nascimento-guimaraes>, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Fabio Luiz Albarici - IFSuldeMinas - MG; Alan Silveira - IG/UFU e Gabriel do Nascimento Guimarães - IG/UFU orientador(a) do(a) candidato(a). A Defesa aconteceu de forma remota.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Gabriel do Nascimento Guimarães - IG/UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Luiz Albarici, Usuário Externo**, em 24/03/2023, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel do Nascimento Guimarães, Presidente**, em 24/03/2023, às 16:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alan Silveira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/03/2023, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4311374** e o código CRC **11C59817**.

DEDICATÓRIA

À minha avó Lucy por todos os seus ensinamentos e dedicação, sempre dando apoio por toda a minha trajetória!

AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida, pela minha família, pelos meus amigos e por tudo o que eu tenho conquistado durante esses anos de vida, tendo Nele o meu refúgio e forças para aguentar todas as tormentas e dificuldades que surgem.

Aos meus pais Ana Lúcia e Ricardo por serem a base sólida para a edificação da minha vida, por serem os principais guias durante toda a minha jornada, por contribuírem na formação do meu caráter e por se dedicarem para a realização dos meus sonhos.

Ao meu irmão Jean por todo seu companheirismo e participação na minha história, por ser uma pessoa radiante na família e, por toda a sua torcida e apoio que me dá.

Ao restante da minha família por sempre me apoiar em todas as decisões que tomei, sempre buscando o melhor para mim, e sempre presentes na minha vida.

Ao Rafael, por toda a sinceridade, carinho, companheirismo e amizade que me contagia radiantemente e me ajuda a prosseguir com minha vida de forma mais leve e proveitosa.

Aos meus professores e orientadores Gabriel e João Vitor, que durante esta jornada pelo mestrado me incentivaram, me instigaram e trouxeram novas perspectivas sobre a carreira acadêmica, com muita dedicação e ternura me ajudaram nesta caminhada.

Aos meus amigos que estiveram próximos durante esses anos de graduação e pós-graduação, e me ajudaram a perceber melhor o sentido da amizade, do companheirismo, e da diversão, com destaque o grupo Só Resenhadores, que levarei comigo para o resto da vida.

À todos os professores do curso de Pós-Graduação em Geografia pela dedicação no ensino das disciplinas que me foram passadas e pela contribuição com a minha formação como profissional.

À Universidade Federal de Uberlândia por ter me concedido o espaço e os meios para permanecer e estudar na instituição.

À CAPES pelo incentivo desta pesquisa através da concessão de bolsa, me dando o amparo financeiro para continuar as investigações.

Enfim, agradeço a todos as pessoas que participaram da minha jornada acadêmica sem exceção, pois de uma forma ou outra, contribuíram para o meu crescimento como ser humano, como discente, como orientando e como profissional.

*“Independentemente das nossas limitações,
nós sempre podemos ser de alguma utilidade.
Nosso poder pode parecer insignificante, mas
ele pode se revelar útil no grande esquema das
coisas”. – Shikamaru Nara. NARUTO.
(M. KISHIMOTO, 2013. p. 6)*

RESUMO

Sabe-se que as inundações são um dos desastres naturais mais prejudiciais ao ser humano, e que a intensificação das chuvas e o aumento do nível médio do mar provocados pelo aumento das temperaturas globais, pode fazer surgir ou piorar a ocorrência de inundações em cidades litorâneas. A região da Reta do João XXIII localizada no Rio de Janeiro / RJ, sofreu duas ocorrências de inundação nos últimos anos, sendo uma em abril de 2019 e outra em março de 2020. Para entender o que poderia estar ocasionando esses fenômenos, essa pesquisa teve como objetivo investigar a ocorrência de inundações na área urbana da Reta do João XXIII, localizada nas baixas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim (RJ). E para alcançar esse objetivo foram propostos alguns procedimentos metodológicos que se basearam principalmente na aquisição de dados referentes a registros de precipitação, oscilação da maré oceânica, declividade, altimetria, uso e cobertura do solo, tipo de solo, entre demais variáveis influentes sobre as bacias hidrográficas. Consecutivamente, foi realizada a interpretação e sistematização dos dados, elaboração da base cartográfica da área de estudo, tratamento e processamento de dados, que utilizou do método de Análise Hierárquica de Pesos, finalizando os procedimentos com a análise dos resultados. Através do processo de análise hierárquica, foi possível elaborar um mapa de suscetibilidade à inundação das bacias hidrográficas exorréicas dos rios Guandu e Guandu-Mirim, demonstrando que a região onde está localizada a Reta do João XXIII é altamente suscetível à inundação. Outro mapa elaborado através do método de análise hierárquica foi o de risco à inundação na Reta, do qual pode-se observar que a região está sob alto risco de inundação. Na elaboração do mapa de risco a inundação, também foi considerado a atuação do processo de inundação provocado pela ação das marés oceânicas que atuam nos leitos dos rios investigados. Quanto aos eventos ocorridos em 2019 e 2020, pode-se considerar que a precipitação extrema foi preponderante para a ocorrência dos fenômenos. Também foi considerado que a maré oceânica teve um papel importante durante a inundação de 2019, com picos de preia-mar influentes sobre a região estudada, porém, no evento de 2020 a atuação da maré foi de menor impacto sobre a ocorrência. Ainda assim, dados apontam para o aumento dos registros de precipitação extrema nos últimos anos na cidade do Rio de Janeiro, o que levanta um alerta para uma possível interferência da mudança climática em escala local.

Palavras Chave: Inundação, Eventos Extremos, Maré Oceânica, Bacias Hidrográficas

RESUMÉN

Se sabe que las inundaciones son uno de los desastres naturales más perjudiciales para los seres humanos, y que la intensificación de las precipitaciones y el aumento del nivel medio del mar causado por el aumento de la temperatura global pueden provocar la aparición o el empeoramiento de las inundaciones en las ciudades costeras. La región de Reta do João XXIII, situada en Río de Janeiro / RJ, ha sufrido dos episodios de inundaciones en los últimos años, uno en abril de 2019 y otro en marzo de 2020. Para entender lo que podría estar causando estos fenómenos, esta investigación tuvo como objetivo investigar la ocurrencia de inundaciones en el área urbana de Reta do João XXIII, ubicada en las cuencas bajas de los ríos Guandu y Guandu-Mirim (RJ). Para alcanzar este objetivo se propusieron algunos procedimientos metodológicos que se basaron principalmente en la adquisición de datos relativos a registros de precipitación, oscilación oceánica de las mareas, pendiente, altimetría, uso y cobertura del suelo, tipo de suelo, entre otras variables que influyen en las cuencas hidrográficas. Consecutivamente, se realizó la interpretación y sistematización de datos, elaboración de la base cartográfica del área de estudio, tratamiento y procesamiento de datos, que utilizó el método de Análisis Jerárquico de Pesos, finalizando los procedimientos con el análisis de los resultados. A través do processo de análise jerárquica, foi possível elaborar um mapa de susceptibilidade às inundações para as bacias hidrográficas exorreiras dos rios Guandu e Guandu-Mirim, demonstrando que a região onde se localiza o Estreito João XXIII é altamente susceptible às inundações. Otro mapa elaborado a través del método de análisis jerárquico fue el de riesgo de inundación en el Estrecho, a partir del cual se puede observar que la región se encuentra bajo alto riesgo de inundación. En la elaboración del mapa de riesgo de inundación también se consideró la acción del proceso de inundación causado por la acción de las mareas oceánicas que actúan sobre los lechos de los ríos investigados. En cuanto a los eventos ocurridos en 2019 y 2020, se puede considerar que las precipitaciones extremas fueron preponderantes para la ocurrencia de los fenómenos. También se consideró que la marea oceánica jugó un papel importante durante la inundación de 2019, con picos de marea alta influyentes sobre la región estudiada, sin embargo, en el evento de 2020 la acción de la marea fue de menor impacto en la ocurrencia. Aún así, los datos apuntan a un aumento de los registros de precipitaciones extremas en los últimos años en la ciudad de Río de Janeiro, lo que alerta sobre una posible interferencia del cambio climático a escala local.

Palabras clave: Inundaciones, Eventos Extremos, Marea Oceánica, Cuencas Hidrográficas

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da Reta do João XXIII.....	17
Figura 02 – Localização das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu e Guandu-Mirim.....	26
Figura 03 – Dragagem e retificação do Rio Guandu-Mirim (1935-1938).....	28
Figura 04 – Inundação ocorrida em abril de 2019 na região da Reta do João XXIII.....	29
Figura 05 – Saturação do solo próximo às margens do Rio Guandu-Mirim.....	30
Figura 06 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	31
Figura 07 – Mapa de declividade das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	42
Figura 08 – Mapa de hipsometria das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	44
Figura 09 – Crescimento Urbano nas baixas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	46
Figura 10 – Mapa de uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim em 2005.....	47
Figura 11 – Mapa de uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim em 2020.....	48
Figura 12 – Mapa de solos das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	50
Figura 13 – Mapa de relevos das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	52
Figura 14 – Mapa de formações rochosas das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	54
Figura 15 – Representação da Tábua de Maré do Porto de Itaguaí.....	57
Figura 16 – Mapa de declividade da Reta do João XXIII.....	61
Figura 17 – Mapa de hipsometria da Reta do João XXIII.....	63
Figura 18 – Mapa de uso e cobertura da terra em 2020 na Reta do João XXIII.....	65
Figura 19 – Renda domiciliar na Reta do João XXIII.....	67
Figura 20 – Mapa de influência de pico de maré alta (2,00 m) na Reta do João XXIII.....	69
Figura 21 – Mapa de suscetibilidade à inundação das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	72
Figura 22 – Curso do Rio Guandu-Mirim com vista para montante.....	74
Figura 23 – Comunidades ribeirinhas às margens do Rio Guandu-Mirim.....	74
Figura 24 – Leito do Rio Guandu-Mirim com vista para jusante.....	75
Figura 25 – Leito do Rio Guandu com vista para montante.....	76
Figura 26 – Comunidade ribeirinhas às margens do Rio Guandu.....	76
Figura 27 – Leito do Rio Guandu com vista para jusante.....	77

Figura 28 – Canal do Miécimo e Canal de São Fernando.....	78
Figura 29 – Cocoicultura e Mandiocultura na Reta do João XXIII.....	79
Figura 30 – Mapa de risco à inundação na Reta do João XXIII.....	81
Figura 31 – Mapa de influência da maré alta (1,6 m) durante o evento de inundação em 2019 na Reta do João XXIII.....	86
Figura 32 – Mapa de influência da maré alta (1,2 m) durante o evento de inundação em 2020 na Reta do João XXIII.....	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Registros de precipitação acumulada em 24h próximo à área de pesquisa durante evento de inundação de 2019.....	83
Gráfico 02 – Comportamento das marés oceânicas em intervalo de 30 dias durante a inundação de 2019.....	84
Gráfico 03 – Registros de precipitação próximos a área de pesquisa no evento de inundação de 2020.....	87
Gráfico 04 – Comportamento das marés oceânicas em intervalo de 30 dias durante a inundação de 2020.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Dados altimétricos disponibilizados pelo INPE.....	32
Quadro 02 – Dados altimétricos disponibilizados pelo IPP.....	33
Quadro 03 – Dados pluviométricos disponibilizados pelo Sistema Alerta Rio.....	33
Quadro 04 – Dados de marés oceânicas disponibilizados pela Marinha do Brasil.....	34
Quadro 05 – Dados de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo MAPBIOMAS.....	35
Quadro 06 – Dados da estrutura física da área de pesquisa disponibilizado pelo IBGE.....	35
Quadro 07 – Dados de renda domiciliar disponibilizado pelo IBGE.....	36
Quadro 08 – Critérios utilizados no método AHP para gerar o mapa de suscetibilidade à inundação.....	40
Quadro 09 – Escala de ordem de importância.....	55
Quadro 10 – Critérios utilizados no método AHP para gerar o mapa de risco � inundação.....	59
Quadro 11 – As dez maiores precipitações pluviométricas em uma hora no município do Rio de Janeiro.....	92
Quadro 12 – As dez maiores precipitações pluviométricas em um dia no município do Rio de Janeiro.....	93
Quadro 13 – Comparativo entre a média mensal pluviométrica para o mês de abril (1997-2018) e o registrado em abril de 2019.....	94
Quadro 14 – Comparativo entre a média mensal pluviométrica para o mês de març�o (1997-2019) e o registrado em març�o de 2020.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índices de consistência randômico para matrizes quadradas.....	38
Tabela 02 – Atribuição de valores às classes de Declividade.....	41
Tabela 03 – Atribuição de valores às classes Hipsométricas.....	43
Tabela 04 – Atribuição de valores às classes de Uso e Ocupação da Terra.....	45
Tabela 05 – Classificação do uso e cobertura da terra nos anos de 2005 e 2020.....	46
Tabela 06 – Atribuição de valores às classes de Solos.....	49
Tabela 07 – Atribuição de valores às classes de Relevos.....	51
Tabela 08 – Atribuição de valores às classes litológicas.....	53
Tabela 09 – Matriz de comparação pareada.....	55
Tabela 10 – Atribuição de valores às classes de Declividade.....	60
Tabela 11 – Atribuição de valores às classes Hipsométricas.....	62
Tabela 12 – Atribuição de valores às classes de Uso e Ocupação da Terra.....	64
Tabela 13 – Atribuição de valores às classes de Renda Domiciliar (per capita) 2010.....	66
Tabela 14 – Atribuição de valores às classes de Áreas Suscetíveis à Inundação por Maré Oceânica (per capita) 2010.....	68
Tabela 15 – Matriz de comparação pareada.....	70
Tabela 16 – Amplitude da maré oceânica durante o período de inundação em 2019.....	85
Tabela 17 – Amplitude da maré oceânica durante o período de inundação em 2020.....	89

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	18
1.2	Motivação da pesquisa.....	19
2.	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	20
2.1	Mudanças climáticas.....	20
2.1.1	<i>Mudanças climáticas em áreas tropicais.....</i>	<i>21</i>
2.2	Eventos extremos.....	22
2.3	Marés oceânicas.....	23
2.4	Inundações.....	24
2.5	Suscetibilidade x Risco.....	25
2.6	Área de Estudo.....	25
3.	MÉTODO.....	30
3.1	Procedimentos metodológicos.....	30
3.1.1	<i>Coleta de dados.....</i>	<i>31</i>
3.1.1.1	<i>Aquisição de dados altimétricos.....</i>	<i>32</i>
3.1.1.2	<i>Aquisição de dados meteorológicos.....</i>	<i>33</i>
3.1.1.3	<i>Aquisição de dados oceanográficos.....</i>	<i>34</i>
3.1.1.4	<i>Aquisição de dados de uso da terra e demais características físicas.....</i>	<i>34</i>
3.1.1.5	<i>Aquisição de dados censitários sobre a Reta do João XXIII.....</i>	<i>35</i>
3.1.2	<i>Interpretação e sistematização de dados.....</i>	<i>36</i>
3.1.3	<i>Elaboração da base cartográfica.....</i>	<i>36</i>
3.1.3.1	<i>Elaboração de mapas temáticos das bacias.....</i>	<i>36</i>
3.1.3.2	<i>Geração de um MDE para a Reta do João XXIII.....</i>	<i>37</i>
3.1.4	<i>Reambulação.....</i>	<i>37</i>
3.1.5	<i>Tratamento e processamento de dados.....</i>	<i>37</i>
3.1.5.1	<i>Elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação.....</i>	<i>39</i>
3.1.5.2	<i>Elaboração do mapa de risco à inundação.....</i>	<i>56</i>
3.1.6	<i>Análise dos resultados obtidos.....</i>	<i>71</i>
4.	RESULTADOS.....	71
4.1	Suscetibilidade à inundação nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.....	71

4.2	Trabalho de campo.....	73
4.3	Risco à inundação na Reta do João XXIII.....	79
4.4	Análise da inundação de 2019.....	82
4.5	Análise da inundação de 2020.....	87
4.6	Considerações sobre o regime pluviométrico da região.....	92
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
	REFERÊNCIAS.....	98

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, muito se discute sobre o papel que o ser humano exerce sobre a natureza e os impactos negativos dessas ações. Entre os impactos negativos está o aumento das temperaturas em nível global, mudanças climáticas provocada pelo aumento das emissões de dióxido de carbono, lançados na atmosfera ao longo dos anos. Devido ao aumento das temperaturas, as mudanças climáticas se tornaram um tema muito debatido e pesquisado presentemente, mobilizando não somente instituições como também autoridades institucionais e governamentais ao redor do globo.

Entre as implicações das mudanças climáticas estão o aumento da temperatura média e das ocorrências de eventos extremos, como intensas ondas de calor, aumento da seca e diminuição da precipitação em alguns locais. Além disso, ressalta-se a ocorrência de inundações e impactos negativos na biodiversidade e ecossistemas, com expectativas de extinção em massa de espécies entre outros agravantes. O ser humano, suas relações sociais e sistemas econômicos também são afetados negativamente pelas mudanças climáticas (BARBIER, 2014; JEVREJEVA et al., 2016; AUFFHAMMER, 2018; IPCC, 2018; CHEUNG et al., 2021; FORZIERI et al., 2022).

As mudanças climáticas têm sido apontadas como um dos principais potencializadores de eventos de precipitação extrema e aumento do nível médio do mar (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007; CAZENAVE et al., 2014). Em relação ao nível do mar, espera-se que com o desenrolar das mudanças climáticas os países em desenvolvimento sejam fortemente afetados por problemas relacionados às inundações em áreas costeiras (DAHL, FITZPATRICK & SPANGER-SIEGFRIED, 2017; JEVREJEVA et al., 2016). Por outro lado, as inundações podem ser consideradas um dos desastres naturais mais frequentes do mundo, afetando a vida de várias pessoas ano após ano. Esse fenômeno hidrológico é caracterizado pelo extravasamento das águas da calha de um rio ou demais cursos d'água, alagando áreas de terra normalmente seca, ou áreas de várzea. Inundações, podem ser distinguidas em dois tipos, sendo elas as bruscas e as graduais, além de também possuírem conotação tanto negativa quanto positiva (WHO, 2020; GOERL & KOBIYAMA, 2005; LICCO & MAC DOWELL, 2015).

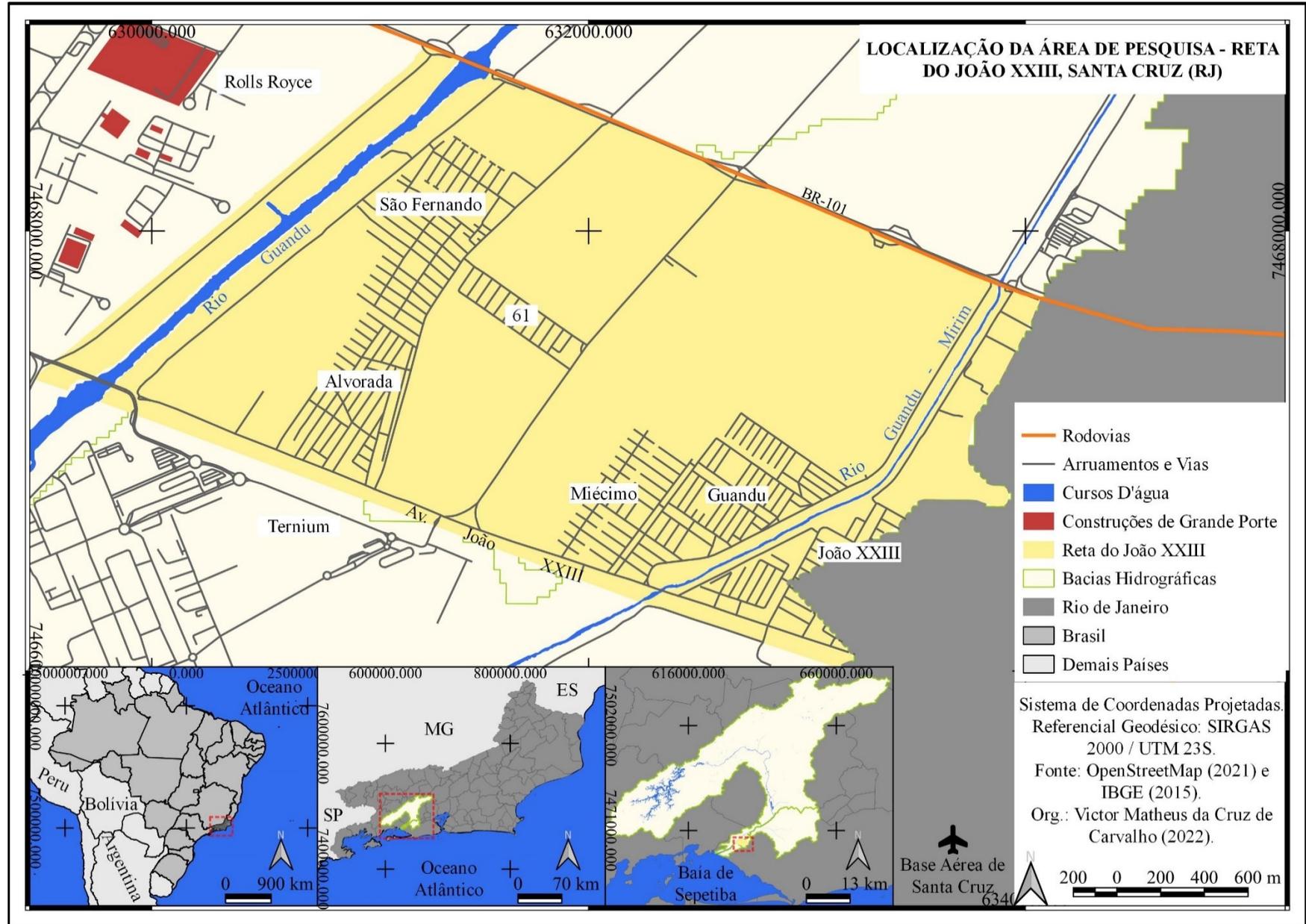
A comunidade científica vem durante alguns anos estudando os processos que levam à inundação, e entre as principais causas está o evento de precipitação extrema que aumenta muito o risco de inundação em áreas próximas aos cursos d'água que recebem toda a descarga (KVOČKA, FALCONER & BRAY, 2016; LYU et al., 2016). Outros fatores considerados influentes sobre as inundações são a morfologia da bacia hidrográfica e também a forma de uso

e cobertura da terra (WOLLMANN, 2015; APOLLONIO et al., 2016; ZIMMERMANN et al., 2016).

Outro fator considerado pela sua influência sobre as inundações é a oscilação da maré oceânica que, devido às condições astronômicas, como a combinação da força gravitacional entre a Terra, o Sol e a Lua, alteram a altura da superfície do oceano, resultando no aumento ou diminuição do nível do mar de acordo com determinado recorte espacial periodicamente (GARRISON, 2010). Ressalta-se a influência que as marés oceânicas exercem sobre os leitos de rios desde a foz, podendo exercer refluxo nos cursos d'água por longa distância em direção à montante (TAKAGI et al., 2015; YONEHARA & KAWASAKI, 2020).

Considerando as questões dos eventos de chuva extrema e as oscilações das marés oceânicas, a região da Reta do João XXIII, localizada no bairro de Santa Cruz, Zona Oeste do Rio de Janeiro (vide mapa da Figura 01), vem sofrendo com problemas relacionados às inundações de dois rios, os rios Guandu e Guandu-Mirim. Estes cursos d'água são um dos principais responsáveis pela drenagem da bacia da Baía de Sepetiba, e sofrem forte influência do avanço das marés oceânicas sobre seus leitos, por quilômetros à montante (GÓES, 1942; SEMADS, 2001, COSTA & TEUBER, 2001; SEA/INEA, 2013).

Figura 01 – Mapa de localização da Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023)

Esses mesmos rios foram os precursores de dois fenômenos de inundações que ocorreram no bairro, sendo um em abril de 2019 e outro em março de 2020. A ocorrência dessas inundações impactou de forma negativa a vida dos moradores da região, culminando em perdas de bens materiais, incapacidade de locomoção e risco à saúde (SABÓIA et al., 2019; O GLOBO, 2020).

Destaca-se que, de acordo com o Centro de Operações do Rio, o temporal de março de 2020, foi um dos maiores já registrados na capital carioca, prejudicando principalmente os bairros da Zona Oeste da cidade. Somente em Santa Cruz e Bangu, choveu em um dia o que era esperado para todo o mês. Muitas ruas ficaram alagadas ou sujas pela lama, entulhos e inclusive móveis arrastados das casas dos moradores da região (<http://g1.globo.com/>).

Em relação ao evento de 2019, reportagens destacaram o caos que ficou o bairro de Santa Cruz após as fortes chuvas de verão, com ruas totalmente alagadas e casos problemáticos de inundações e enxurradas em alguns pontos, causando perda total de bens materiais, como móveis e eletrodomésticos, expondo moradores de baixa renda a uma séria situação de vulnerabilidade (<https://recordtv.r7.com/>).

Considerando todas essas informações preliminares sobre a área de pesquisa, a Reta do João XXIII, compreende-se a conjuntura das bacias do Guandu e Guandu-Mirim em relação à fenômenos de inundação. No entanto, ainda é necessária a ampliação de pesquisas sobre este recorte espacial, buscando maior profundidade sobre os processos de inundação e as variáveis influentes. Portanto, qual a associação entre a ocorrência de inundações em bacias exorreicas com eventos climáticos extremos e variações na maré oceânica?

A hipótese levantada considera que o uso do solo, o regime pluviométrico e a alteração no movimento das águas oceânicas impactam notavelmente a dinâmica fluvial daquela bacia exorréica. Como resultado, esses fatores – desencadeados pelas mudanças climáticas – provocam eventos extremos de inundação com enorme potencial de danos à população. Adicionalmente, a inundação pode estar associada à ocupação humana desordenada de regiões costeiras de países em desenvolvimento. Este fato altera a paisagem e a capacidade natural das bacias exorreicas de receber fluxos de água e sedimentos e descarregá-los no mar.

1.1 Objetivos

O objetivo da pesquisa é investigar as causas de inundações na área urbana da Reta do João XXIII inserida nas baixas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim (RJ). Como objetivos específicos foram estipulados os seguintes:

- Identificar, mapear e caracterizar as variáveis antropogênicas e naturais relacionadas à ocorrência de inundações no recorte espacial.
- Analisar os processos de inundação por meio da correlação com eventos extremos e o regime de maré oceânica em 2019 e 2020.

1.2 Motivação da pesquisa

A realização desta pesquisa se justifica pela necessidade de atrair a atenção da sociedade sobre os impactos das mudanças climáticas. As mudanças climáticas, provocado pela ação antrópica, se desdobra de maneira negativa sobre a humanidade. As mudanças climáticas podem provocar o aumento da frequência e intensidade de diversos eventos extremos, dentre os quais estão as inundações em bacias hidrográficas exorreicas, como as do Rio Guandu e Rio Guandu-Mirim que também podem estar sendo influenciadas direta ou indiretamente pelas mudanças climáticas. Deste modo, é importante alimentar a reflexão e a conscientização da população a respeito de problemas que, à primeira vista, podem ser isolados, mas que se analisado mais profundamente podem ser subprodutos originários de fatores em escala mais ampla.

Embora existam dados iniciais que apontem tendências à ocorrência de inundação na região estudada, considera-se que populações vizinhas aos rios Guandu e Guandu-Mirim não contam com amparo suficiente para contornar ou mitigar o problema. Era de se esperar que os gestores públicos investissem em algum tipo de gestão conjunta à nível regional/estadual com vias a incentivar mais pesquisas sobre essas bacias. Não distante disso, também seria proveitoso à população que os gestores investissem na implantação de alertas e contramedidas às inundações, de forma a serem mais eficazes ao atendimento às áreas com potencial de risco a inundação. Com o problema das mudanças climáticas e seus potenciais impactos nas regiões costeiras tropicais como as do Rio de Janeiro, esses investimentos públicos se mostram ainda mais urgentes.

Outro ponto a se considerar é sobre a participação e contribuição da academia em um tema relevante e atual como o das mudanças climáticas e os seus possíveis efeitos sobre partes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (bacias dos Rios Guandu e Guandu-Mirim). Este tipo de investigação ajuda a ampliar debates sobre o tema e favorece a disseminação de mais trabalhos em uma região que carece de pesquisas científicas, principalmente as vinculadas à grande área da Geografia.

Além disso, também é importante dizer que esta pesquisa também possui um desenvolvimento sustentável baseado nos três pilares, econômico, social e ambiental.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Mudanças climáticas

Os diferentes tipos de climas terrestres tem sido alvo de pesquisas durante muitos anos. As diferentes condições atmosféricas e físicas de determinada região, durante determinado intervalo de tempo, são determinantes para a caracterização climática. Muitas pesquisas sobre o assunto se debruçam em dados históricos em diferentes escalas temporais, como a Paleoclimatologia, entre outros (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2009; BRITO, SILVA & CRISPIM, 2015).

O clima afeta de várias formas a vida terrestre, condicionado espécies da fauna e flora que dependem das condições atmosféricas como temperatura, umidade, pressão atmosférica, chuva, entre outros. O próprio ser humano e suas atividades econômicas, relações sociais e saúde pública, também dependem dos regimes climáticos que regem o planeta (KAPTIJN, 2011; BARRET, CHARLES & TEMTE, 2015).

Embora os diferentes climas sejam estabelecidos de acordo com variadas condições físicas, atmosféricas, temporais e astronômicas, eles também são variáveis, dinâmicos e mutantes. Alguns estudiosos chamam a atenção para as diferentes variações climáticas pesquisadas, sendo elas as mudanças climáticas, as oscilações climáticas e as pulsações climáticas. Considera-se que as mudanças climáticas são eventos de maior tempo de duração (ciclicidade por volta de 120 mil anos) e abrangência espacial. As oscilações climáticas são de média duração, caracterizadas por oscilações climáticas de temperatura bruscas. Já as pulsações climáticas estão ligadas a eventos de curta duração (ciclos de até 2.000 anos) dos tempos mais recentes (Pleistoceno Superior e Holoceno), sem muito vínculo ao volume global de gelo (RUBIRA & PEREZ FILHO, 2021).

Também é importante destacar o papel do Sol como um dos principais regentes do clima na Terra. As incidências de raios solares atuam significativamente na distribuição de energia pela atmosfera. Alguns estudos apontam para os ciclos solares como fatores importantes para ocasionar mudanças climáticas no planeta, além de também chamarem atenção para a possibilidade de a Terra estar entrando em um período de *minimum solar*, com menor incidência de raios solares e possibilidade de se chegar uma nova mini era do gelo a partir de 2030 (HADY, 2013; MÖRNER, 2015)

No entanto, como já é de conhecimento público, as ações do ser humano no meio ambiente, tem acarretado impactos negativos no clima global. Embora dióxido de carbono faça parte da composição do ar atmosférico, a emissão em larga escala desse composto na atmosfera, pode estar elevando as temperaturas em todo o planeta.

Estima-se que as ações humanas tenham provocado o aumento de 1°C na temperatura do planeta em comparação aos tempos pré-industriais. Se a Terra continuar com a atual taxa de aquecimento, projeta-se chegar ao acúmulo de 1,5°C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2018; ROYAL SOCIETY, 2020). Devido a isto, a comunidade científica e outras entidades têm alertado a sociedade global que o planeta está passando por um processo de mudança climática. Conforme descrito anteriormente, as mudanças climáticas são duradouras e afetam grandes áreas, estando diretamente ligadas ao volume global de gelo, neste caso, em outras palavras, vinculado ao derretimento das calotas polares que vem ocorrendo nos últimos anos (BARRET, CHARLES & TEMTE, 2015; IPCC, 2018; ROYAL SOCIETY, 2020).

Dessa forma, as mudanças climáticas poderão trazer vários transtornos para a humanidade, desde impactos sociais até impactos de ordem econômica (AUFFHAMMER, 2018). Esses impactos negativos podem ser provocados pela ocorrência de variados eventos extremos, tornando os sistemas antrópicos e naturais, cada vez mais vulneráveis (PERERA et al., 2020).

2.1.1 Mudanças climáticas em áreas tropicais

Nas regiões tropicais, as mudanças climáticas são consideradas como um fator atuante no desdobramento de eventos extremos como os de chuva forte, secas severas, inundações catastróficas, tempestades, deslizamentos e incêndios florestais (YADUVANSHI et al., 2017; CUNHA et al., 2019; CAI et al., 2014; ALFREDINI et al., 2014; HAQUE et al., 2019). Os impactos negativos que estes eventos exercem sobre a sociedade são diversos, e podem levar a fatalidades (FRANZKE & SENTELLES, 2020).

Considerando que até 2100 as mudanças climáticas possam elevar as temperaturas 2°C acima do período pré-industrial (SOGNNAES et al., 2021; JEVREJEVA et al., 2016), é esperado que o aumento no nível médio do mar afete intensamente 90% das áreas litorâneas. Os principais afetados serão as comunidades costeiras, cidades de países em desenvolvimento, pequenas ilhas e os vulneráveis ecossistemas tropicais costeiros (JEVREJEVA et al., 2016; SHI et al., 2016).

Para contornar este tipo de situação, é necessário o desenvolvimento de pesquisas em conjunto com políticas de planejamento e gestão de eventos extremos em áreas de ocorrência de fenômenos de inundação (CHAN et al., 2018).

No Brasil, algumas pesquisas apontam para a interferência das mudanças climáticas no desdobramento de eventos extremos. Pesquisadores alertam para o aumento do nível médio do mar no estado do Rio de Janeiro (EGLER & GUSMÃO, 2014; LACERDA et al., 2014).

Também existem estudos sobre a região da Baía de Sepetiba (RJ), dos quais alertam para a destruição da barreira natural da Restinga da Marambaia e a consequente alteração na dinâmica de marés oceânicas e correntes marítimas (SANTOS et al. 2019).

No estado do Rio de Janeiro, a região que compreende as bacias exorreicas dos rios Guandu e Guandu-Mirim, costuma sofrer com problemas relacionados a inundações. Existem relatos de extravasamento dos rios da bacia devido às fortes chuvas de verão como ocorreu, por exemplo, em 2013, 2019 e 2020 (G1, 2013; SABÓIA et al., 2019; O GLOBO, 2020). Infelizmente, esses eventos acabam culminando em pessoas desalojadas e fatalidades. Na região das bacias hidrográficas dos rios Guandu e Guandu-Mirim, já existe um levantamento prévio sobre a suscetibilidade à ocorrência de inundações em áreas com ocupação antrópica. Ainda assim, persistem os problemas relacionados às inundações.

2.2 Eventos extremos

Também chamados de eventos climáticos e meteorológicos extremos, estes podem ser caracterizados por onda de calor, seca, chuva forte, inundação, ciclones tropicais entre outros fenômenos que impactam diretamente a sociedade.

O processo de elevação de temperaturas ao nível global é um potencializador para o aumento de eventos extremos e consequentes desastres naturais que impactam a vida dos seres humanos. Com a tendência de aumento de eventos extremos, estudos já apontam que, mediante o aumento global de temperaturas, até 2030, muitas pessoas estarão vulneráveis ao aumento de desastres naturais, seja através da expectativa de populações afetadas ou expectativa de taxa de mortalidade. Ainda se espera que dentre os países mais vulneráveis a desastres, a grande maioria seja de países em desenvolvimento e com grande densidade populacional (SHI et. al., 2016).

Vale ressaltar algumas ocorrências de eventos extremos nos últimos anos, cujos pesquisadores tem apontado como desdobramentos e consequências das mudanças climáticas. Entre elas, os incêndios florestais ocorridos no estado da Califórnia no verão de 2020, que tiveram grande repercussão internacional devido à devastação das áreas naturais (PAUSAS & KEELEY, 2021).

Os furacões que se formam no Oceano Atlântico, trazem prejuízos anuais aos habitantes de determinadas áreas litorâneas, e aos cofres públicos, destruindo muitas infraestruturas, atrapalhando atividades econômicas e comprometendo a saúde pública. Estima-se que de 1900 até 2005, os furacões acarretaram despesas de cerca de U\$10 bilhões para os Estados Unidos todos os anos. Em 2012, somente o Furacão Sandy conseguiu provocar um prejuízo econômico de U\$60 bilhões ao atingir a Costa Leste dos Estados Unidos, devido ao seu potencial destrutivo

impulsionado pelas mudanças climáticas, como apontam alguns estudiosos (SLOGGY, et al., 2021; STRAUSS, et al., 2021).

Outros eventos extremos que provocaram comoção mundial foram as ocorrências de inundações na Europa Ocidental durante o verão de 2021 que atingiram muitas localidades e provocaram mais de duzentas fatalidades, mesmo em países desenvolvidos, se tornado uma das maiores catástrofes registradas na União Europeia nos últimos anos. Cientistas estão cada vez mais preocupados que esses tipos de fenômenos possam se tornar mais comuns na região diante das mudanças climáticas (SEMENZA & PAZ, 2021; ERCC, 2021).

No Brasil não difere, alguns levantamentos apontam que os eventos extremos se tornaram mais frequentes e/ou mais intensos na região sudeste da América do Sul nos últimos 50 anos (BOUDET et al., 2019; MARENCO, 2010). Também já existem estudos que relacionam as mudanças climáticas com o aumento dos eventos de chuva extrema registrados no país nestes últimos anos (SERAPIÃO, 2022; INMET, 2022).

2.3 Marés oceânicas

A maré oceânica é um fator importante a se considerar quando se trata de mudanças climáticas. “Marés oceânicas são alterações periódicas, de curto prazo, na altura da superfície do oceano, em um determinado lugar, causadas pela combinação da força gravitacional da Lua e do Sol com o movimento da Terra” (GARRISON, 2010, p. 217).

Compreender a dinâmica do regime de marés oceânicas é necessário quando se leva em consideração os efeitos das mudanças climáticas sobre o nível médio do mar (CAZENAVE et al., 2014). Esses efeitos podem ser problemáticos em zonas costeiras, principalmente devido à elevação do nível médio do mar pelo derretimento das calotas polares. Segundo previsões, algumas áreas costeiras estão em iminência de sofrerem problemas de inundação ligados ao aumento do nível médio do mar (DAHL, FITZPATRICK & SPANGER-SIEGFRIED, 2017).

Também é importante destacar que alguns pesquisadores (RIJN, GRASMEIJER & PERK, 2018; TALKE, FAMILKHALILI & JAY, 2021) alertam para uma confluência entre o aumento do nível médio do mar, causado pelas mudanças climáticas, junto ao aumento da amplitude das marés oceânicas em algumas áreas estuarinas. Aponta-se que algumas regiões de estuários ou fozes de rios modificados de alguma forma pela ação do homem (seja através de dragagem, retificação, entre outros), podem sofrer o aumento das amplitudes das marés oceânicas, sejam elas astronômicas ou meteorológicas. Essas amplitudes de marés podem influenciar em ocorrências de inundações nesse tipo de região costeira/estuarina. Lembra-se

que os rios Guandu e Guandu-Mirim da área de estudo, já sofreram procedimentos de dragagem e retificação até suas fozes.

2.4 Inundações

Os rios podem ser considerados vias ou rotas de correntes de água, sendo importantes para os processos morfogênicos, principalmente devido a sua capacidade de transporte de materiais intemperizados, desde as áreas de maior altitude às mais baixas, ou dos continentes para o mar. Os rios também são caracterizados como cursos naturais de água doce dirigidos aos oceanos, lagos ou outros rios, sendo os principais componentes de uma bacia de drenagem, além de terem grande importância para o ser humano (CHRISTOFOLETTI, 1980; RICCOMINI, GIANNINI & MANCINI, 2000).

São através dos rios que ocorrem um dos principais e mais destrutivos acidentes geológicos, a inundação. Quando a descarga do rio se torna elevada e ultrapassa a capacidade de transporte do canal fluvial, ocorre então a inundação. Este fenômeno é normalmente desencadeado por eventos de chuvas fortes na região da bacia hidrográfica do rio em questão. Essas chuvas promovem o aumento do fluxo de descarga hídrica nos rios, extravasando as margens e inundando áreas próximas. Por outro lado, existem apontamentos que indicam que as inundações são fenômenos que ocorrem pela ação de outros fatores que não somente o transbordamento de rios devido às chuvas fortes. As inundações também podem ser ocasionadas pelo rápido derretimento de neve, tempestades de ciclone tropical ou tsunamis em áreas costeiras (RICCOMINI, GIANNINI & MANCINI, 2000; WHO, 2020).

Existe certa confusão em relação ao correto uso do termo inundação em comparação com enchente e alagamento. É correto chamar de enchente ou cheia o processo de aumento da descarga hídrica que eleva o nível da água no canal de drenagem sem a ocorrência de extravasamento. Já o alagamento é caracterizado pelo acúmulo momentâneo de água em locais comumente secos e com deficiência de drenagem. Por outro lado, a enxurrada tem uma característica de escoamento superficial muito concentrada e com alta taxa de energia e transporte (GOERL E KOBIYAMA, 2005).

Todos os anos, as inundações provocam muita destruição em várias regiões do planeta. São uns dos desastres que mais afetam as pessoas pelo mundo, e um dos que mais expõe pessoas vulneráveis ao risco de morte. Em países mais pobres ou em processo de desenvolvimento e com grande densidade demográfica, esse risco aumenta consideravelmente. Com o passar dos anos, os fenômenos de inundação vêm provocando cada vez mais mortes, (IPCC 2018; CRED & UNDRR, 2021).

Em uma recente pesquisa, foi publicado que as mudanças climáticas terão capacidade para aumentar os riscos de inundação em todo o planeta, e que, mesmo em um cenário mais otimista de aumento das temperaturas em apenas 1,5°C, foi estimado que o risco de inundações poderá dobrar na comparação com os eventos registrados entre os anos de 1976-2005 (ALFIERI et al., 2017).

2.5 Suscetibilidade x Risco

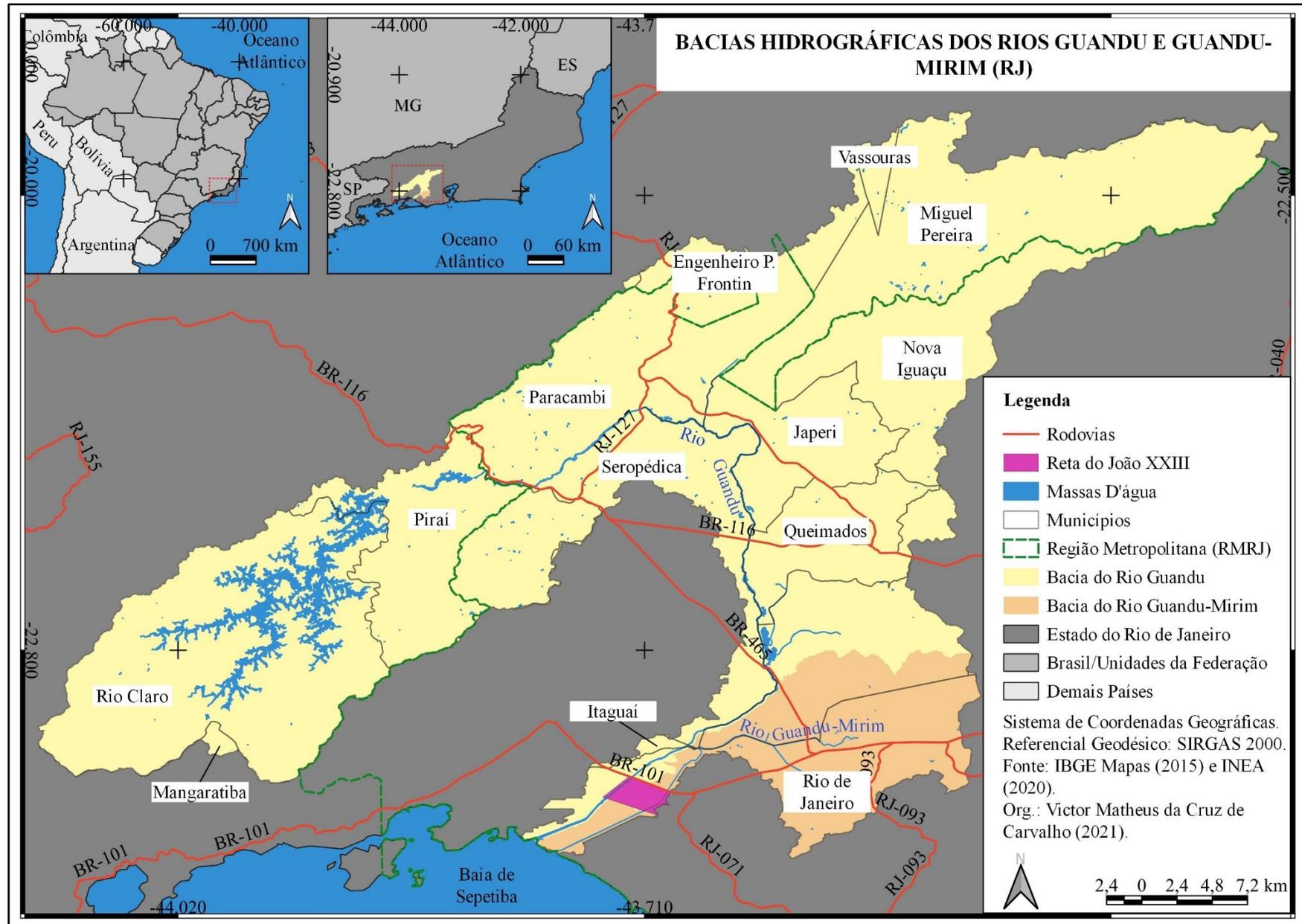
É importante destacar o que são os termos suscetibilidade e risco, muito presentes nas discussões sobre inundações. O termo suscetibilidade advém da predisposição natural para ocorrência de determinado evento. Em relação à áreas suscetíveis à inundação, são assim chamadas as localidades com características que propiciam a ocorrência de inundações (SANTOS, 2012; MARTH, MOURA & KOESTER, 2016).

Já o termo risco, quando usado em relação a inundação, está integrado ao conceito de risco ambiental, que considera a possibilidade de perdas de vidas ou degradação da saúde humana. O risco em si está diretamente ligado com a exposição de vulneráveis à algum tipo de ameaça (desastre). Considerando a inundação, o risco está ligado à pessoas vulneráveis a potencial ocorrência desse evento (CERRI, 1999 apud SANTOS, 2012; FREIRE, LIMA & SILVA, 2018; MARQUES, 2019; OLIVEIRA et al., 2020)

2.6 Área de estudo

A região conhecida como Reta do João XXIII está localizada nas baixas bacias hidrográficas do Rio Guandu e Rio Guandu-Mirim, numa área próxima à foz do Rio Guandu e Rio Guandu-Mirim, conforme o mapa da Figura 02. Estas bacias estão localizadas no estado do Rio de Janeiro, na região geográfica denominada Região Hidrográfica – II Guandu (RIO DE JANEIRO, 2013). Parte da região situada na atual RH – II Guandu também é conhecida por Bacia da Baía de Sepetiba (SEMADS, 2001; MELLO, 2012).

Figura 02 – Localização das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023)

As bacias do Guandu e Guandu-Mirim estão localizadas nos municípios de Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Mangaratiba, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Queimados, Paracambi, Pirai, Rio Claro, Rio de Janeiro, Seropédica e Vassouras. Dentre os municípios destacados, sete pertencem à Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ (IPEA, 2015). É interessante apontar que a mesma RMRJ é considerada a maior aglomeração urbana em zona costeira no Brasil, com mais de 11 milhões de habitantes em 2010 (EGLER & GUSMÃO, 2014), evidenciando a importância de se estudar uma região como essa, devido à maior vulnerabilidade ambiental pela região antropizada.

Destaca-se que a maior parte dos municípios localizados nas bacias estão em franco processo de expansão urbana. Este crescimento se dá tanto para zonas residenciais ou industriais, como o caso da expansão da zona industrial de Santa Cruz no Rio de Janeiro, que pode estar impactando diretamente na qualidade das águas dos rios que desaguam na Baía de Sepetiba (MONTEZUMA, 2012; KALAOUM, 2020; NICOLA, 2021).

Segundo pesquisas, a Bacia da Baía de Sepetiba possui cotas altimétricas que variam desde 0 a 1.800 metros. As áreas mais elevadas estão ao norte e noroeste, enquanto que ao sul se encontra a Baía de Sepetiba, onde deságuam as bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim, tendo o Rio Guandu como o principal contribuinte de água doce (SEMADS, 2001). A geologia da região é composta por granitoides brasileiros pré a sin-colisionais (complexo Rio Negro), granitoides tardi-colisionais (complexo Serra das Araras), rochas vulcânicas do cretáceo, sedimentos colúvio-aluvionares, depósitos fluviais e fluviomarinhos, areno-siltico-argilosos (MELLO, 2012).

O clima da Bacia da Baía de Sepetiba pode ser classificado como tropical úmido. Efeitos orográficos, proximidade com o mar e direção das massas de ar propiciam para uma média de precipitação anual entre 1.000 e 2.230 mm, com maior índice entre dezembro e março, e menor entre junho e agosto (SEMADS, 2001).

Ainda em relação às características físicas, é necessário ressaltar que a região da área de estudo foi artificialmente modificada perante ação antrópica desde os tempos imperiais. No entanto, a partir do início do século XX, foi que se iniciaram alguns programas de revitalização da Baixada Fluminense. Durante o governo de Getúlio Vargas em 1936, foi criada a Diretoria de Saneamento da Baixada Fluminense – DSBF, cujo objetivo era acabar com a malária na região e promover desenvolvimento econômico. Para extinguir a doença, foram propostas obras de dragagem, desobstrução e retificação de cursos d'água, bem como elevação de diques nas margens de alguns rios para evitar os processos de cheia e inundação naturais nas áreas adjacentes. Na Figura 03 é possível observar o processo de dragagem e criação de diques em

alguns cursos d'água da região (GÓES, 1942; SEMADS, 2001, BV AMBIENTE, s/d; DIBRARQ/Arquivo Nacional, 2022).

Figura 03 – Dragagem e retificação do Rio Guandu-Mirim (1935-1938).



Fonte: Góes (1942).

Conclui-se que a região da área de pesquisa possui condições favoráveis à ocorrência de inundações, com a prévia existência de muitos brejos e áreas alagáveis, culminando em investimentos de engenharia para tornar a região salubre para o crescimento demográfico e econômico através da ocupação de terras e produção agropecuária. No entanto, segundo Costa e Teuber (2001, p. 83),

Apesar de todo o investimento ao longo dos anos, transformando a região numa verdadeira teia de canais e valetas, a um custo ambiental elevado, dada a eliminação de extensas áreas de brejo, desfiguração da mata ciliar e de parte dos manguezais, a área ainda oferece ameaça de inundação significativa, principalmente na coincidência de períodos chuvosos e maré alta.

A delimitação da área de estudo foi feita com base nos problemas oriundos das inundações dos rios Guandu e Guandu-Mirim, principalmente em relação à inundação que ocorreu em abril de 2019 e outra entre fim de fevereiro e início de março. A ocorrência desses dois fenômenos causou grandes transtornos aos moradores de alguns sub-bairros de Santa Cruz, na região conhecida como Reta do João XXIII. Na Figura 04, é ilustrado uma das ocorrências do fenômeno no local.

Figura 04 – Inundação ocorrida em abril de 2019 na região da Reta do João XXIII.



Fonte.: G1 (2019).

Os sub-bairros afetados com as inundações foram o São Fernando, Alvorada, 61, Miécimo, Guandu e João XXIII. Além da porção urbana da região, também residem muitas pessoas nas áreas rurais adjacentes, e muitas comunidades de pescadores às margens dos rios, comunidades estas em situações bem precárias.

Além dos fenômenos de inundação e das conjunturas sociais, adiciona-se a questão de os terrenos serem extremamente planos e de baixa altitude na região, tanto que é possível observar, em algumas ocasiões, o refluxo da maré oceânica sobre os rios em direção à montante. Soma-se também a questão de os solos terem, aparentemente, baixa capacidade de drenagem, saturando facilmente com eventos de precipitação mais intensa. Nas áreas próximas às margens dos rios, quando a descarga de água está próxima do transbordamento da calha, ocorre a saturação do solo e começam borbulhamentos, conforme a Figura 05. Estas informações corroboram com a ideia a de que este é um ambiente mal drenado, e suscetível a inundação.

Figura 05 – Saturação do solo próximo às margens do Rio Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

Levando todos esses pontos em consideração, objetivou-se centralizar a pesquisa na região conhecida como Reta do João XXIII, tendo seus limites de pesquisa demarcados ao sul pela Avenida João XXIII, à oeste pela margem oeste do Rio Guandu, ao norte pela rodovia BR-101 (Rio-Santos) e a leste pela divisor de águas natural da bacia de drenagem do Rio Guandu-Mirim.

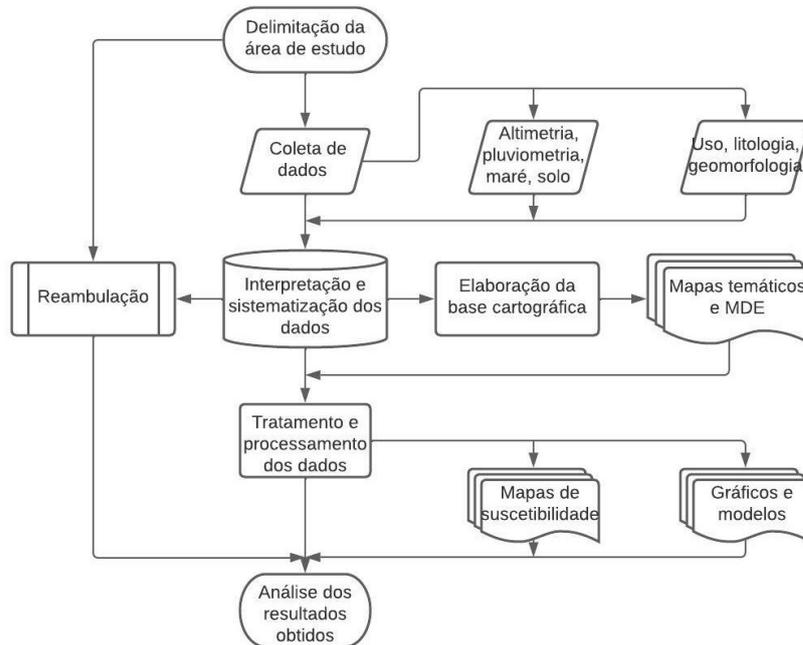
No entanto, este estudo não pode ser focado somente na área de pesquisa específica, pois a maior parte das bacias hidrográficas dos rios Guandu e Guandu-Mirim estão fora da área delimitada para a Reta do João XXIII, principalmente as áreas de cabeceiras de drenagem. Portanto, optou-se por investigar também as bacias em suas totalidades a fim de adquirir informações suplementares que possam ajudar a entender o desdobramento das inundações na Reta do João XXIII.

3. MÉTODO

3.1 Procedimentos metodológicos

As principais etapas a serem desenvolvidas na pesquisa são apresentadas no fluxograma referente à Figura 06:

Figura 06 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Org.: O autor (2023).

Para a realização desta pesquisa, foram estipuladas seis etapas metodológicas a serem executadas, das quais constam a coleta de dados, interpretação e sistematização de dados, elaboração da base cartográfica, reambulação (trabalho de campo), tratamento e processamento de dados e análise dos resultados obtidos.

Ressalta-se que os procedimentos metodológicos e o desenvolvimento da pesquisa foram feitos com base em diferentes escalas de análise. A primeira escala se trata da investigação sobre as bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim, a segunda escala de análise é sobre a Reta do João XXIII, foco da pesquisa e a terceira escala de análise é sobre os dois episódios de inundação que ocorreram em 2019 e 2020.

Portanto, para compreender os processos que levam à inundação nos rios investigados, foi necessário levar em consideração as respectivas bacias hidrográficas para então analisar suas características físicas e influências antrópicas. Compreendendo o contexto das bacias, pôde-se então analisar a área de estudo em específico (Reta do João XXIII) e seus problemas locais. Por fim, após toda a investigação sobre as duas escalas prévias, focou-se nas análises dos episódios de inundação de 2019 e 2020.

3.1.1 Coleta de dados

A primeira etapa metodológica consistiu na coleta de dados. Os dados coletados são secundários, disponibilizados por instituições ou organizações oficiais para subsidiar o

prosseguimento das investigações sobre a ocorrência de inundações na área de pesquisa. Os tipos de dados e organizações/instituições, estão elencados nos quadros 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

A execução dessa etapa, teve como foco a aquisição de dados e informações sobre variáveis potencialmente influentes sobre os fenômenos de inundação, tais como, precipitação, marés oceânicas, altitude, declividade, uso e cobertura da terra, tipo de solo, relevo e formações rochosas. Ressalta-se que essa primeira etapa foi subdividida em quatro estágios.

3.1.1.1 Aquisição de dados altimétricos

O primeiro estágio se tratou da aquisição de dados altimétricos, realizada através da consulta à página do *site* Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, que disponibiliza dados altimétricos provenientes do satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Neste mesmo passo, também foram consultados alguns acervos cartográficos disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos – IPP. A aquisição destes dados altimétricos se fez necessária, devido à necessidade de se compreender as características físicas da área de estudo como, por exemplo, as cotas altimétricas e a taxa de declividade do terreno, fatores que implicam diretamente nos desdobramentos das inundações.

Conforme o Quadro 01, os dados altimétricos SRTM disponibilizados pelo Topodata/INPE, possuem resolução espacial de 30 m, articulados a partir de cartas de 1:250.000. Estes dados são importantes para mapear e analisar todo o terreno das bacias hidrográficas do Rio Guandu e Rio Guandu-Mirim, por ser adequado a produtos com escalas de 1:100.000 ou superior (MICELI et al., 2011; VALERIANO & ROSSETTI, 2012; FERREIRA & CABRAL, 2021). Ressalta-se que a Reta do João XXIII não pode ser mapeada com dados do Topodata/INPE, pois o nível de detalhamento precisa ser maior.

Quadro 01 – Dados altimétricos disponibilizados pelo INPE.

SRTM	
Fonte:	INPE Topodata (2011) e USGS (2008)
Resolução espacial:	30 m
Detalhes:	Articulação das cartas cartas 22S45 e 22S435 em 1:250.000

Org.: O autor (2023).

Por outro lado, os dados disponibilizados pelo IPP, conforme o Quadro 02, são baseados em cartas com escala de 1:2.000, com maior nível de detalhamento. Deste modo, a aquisição desses dados objetivou apenas a composição da área principal da pesquisa, a Reta do João XXIII.

Quadro 02 – Dados altimétricos disponibilizados pelo IPP.

Cartas topográficas	
Fonte:	IPP (2015)
Escala:	1:2.000
Detalhes:	Cartas 283-A-I-3; 283-A-I-5; 283-A-I -6; 283-A-II-1; 283-A-II-4; 283-A-II-5; 283-A-II-6; 283-A-III; 283-A-III-3; 283-A-IV-1; 283-A-IV-2; 283-A-IV-3; 283-A-IV-5

Org.: O autor (2023).

3.1.1.2 Aquisição de dados meteorológicos

Como segundo estágio, teve-se em foco a aquisição de dados meteorológicos através das páginas *online* da instituição Alerta-Rio. Os dados coletados foram sobre registros de precipitação, gerados através de estações pluviométricas automáticas próximas à área de pesquisa.

Portanto, priorizou-se adquirir dados de estações mais próximas da área de pesquisa, tendo sido escolhida uma localizada no próprio bairro de Santa Cruz. Embora a estação de Santa Cruz seja a mais próxima à área de pesquisa, também foi necessário adquirir dados sobre as chuvas nas áreas de cabeceira das bacias de drenagem, que também podem influenciar no aumento do escoamento superficial nas regiões à jusante dos rios. Assim, necessitou-se a aquisição de dados de precipitação em outras estações à montante das bacias de drenagem.

No total foram adquiridos dados de três estações pluviométricas automáticas, conforme o Quadro 03, sendo uma em Santa Cruz (mais próxima à área de pesquisa), e outras duas em regiões de cabeceira das bacias hidrográficas. O Sistema Alerta Rio disponibiliza os registros de precipitação acumulada em milímetros a cada 15 minutos, a cada hora, e também a cada 24 horas.

Quadro 03 – Dados pluviométricos disponibilizados pelo Sistema Alerta Rio.

Estação principal – Santa Cruz	
Fonte:	Sistema Alerta Rio (2021)
Tipo de dados:	Precipitação acumulada – mm/15 min; mm/1h; mm/24h
Detalhes:	Estação N° 22 – Santa Cruz, -22,909444; -43,684444
Estação secundária – Campo Grande	
Fonte:	Sistema Alerta Rio (2021)
Tipo de dados:	Precipitação acumulada – mm/15 min; mm/1h; mm/24h
Detalhes:	Estação N° 26 – Campo Grande, -22,903611; -43,561944
Estação secundária – Mendanha	

Fonte:	Sistema Alerta Rio (2021)
Tipo de dados:	Precipitação acumulada – mm/15 min; mm/1h; mm/24h
Detalhes:	Estação N° 29 – Av. Brasil/Mendanha, -22,856944; -43,541111

Org.: O autor (2023).

3.1.1.3 Aquisição de dados oceanográficos

O terceiro estágio se tratou da aquisição de dados oceanográficos, e para tal, fez-se necessário consultar o Banco Nacional de Dados Oceanográficos – BNDO disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha do Brasil.

Adquirir esses tipos de dados é importante para se ter conhecimento do comportamento das marés oceânicas que atuam no litoral próximo à área de pesquisa, e durante o período dos eventos de inundação. A atividade das marés oceânicas é registrada pela Marinha do Brasil através das tábuas de marés. Como mostra o Quadro 04, a tábua de maré utilizada como referência na área de estudo é a do Porto de Itaguaí, localizado na Baía de Sepetiba, próximo à área de estudo.

Quadro 04 – Dados de marés oceânicas disponibilizados pela Marinha do Brasil.

Marés oceânicas na Baía de Sepetiba	
Fonte:	BNDO/DHN e INPE (2021)
Tipo de dados:	Nível do mar – metros
Detalhes:	Estação Porto de Itaguaí – Carta 1623
Coordenadas Geo.:	Lat.: 22° 55' 55,7945'' S – Precisão: ± 0,013 m Long.: 43° 50' 32,0935'' W – Precisão ± 0,013 m Altitude Elips.: -2,265 m – Precisão: ± 0,008 m Sistema de referência: WGS-84

Org.: O autor (2023).

3.1.1.4 Aquisição de dados de uso da terra e demais características físicas

Como quarto estágio, também foi necessário a aquisição de dados provenientes de imagens de satélite sobre o uso e cobertura da terra, e também dados vetorizados sobre as rochas, relevos e solos da área de pesquisa. A aquisição dos dados de uso e cobertura da terra é importante para se compreender o processo de ocupação antrópica nas bacias hidrográficas. Já os dados sobre características como rochas, relevo e solos, são necessários para compreender a disposição espacial de variáveis que podem influenciar na ocorrência de inundações, como os tipos de solo, rocha e relevo.

Optou-se por adquirir dados provenientes da página *online* do MAPBIOMAS que possui um portfólio de informações já sistematizadas sobre o uso e cobertura de todo território

brasileiro. Conforme descrito no Quadro 05, o MAPBIOMAS utiliza imagens dos satélites Landsat para o mapeamento.

Quadro 05 – Dados de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo MAPBIOMAS.

Uso e Cobertura da Terra	
Fonte:	MAPBIOMAS (2020)
Resolução espacial:	30 m
Detalhes:	Articulação 1:250.000. Imagens Landsat 5 e 8. Uso e cobertura de 2005 e 2020.

Org.: O autor (2023).

Já sobre os dados de rochas, relevos e solos, buscou-se utilizar as informações dos bancos de dados vetoriais do IBGE e CPRM, como é apresentado no Quadro 06.

Quadro 06 – Dados da estrutura física da área de pesquisa disponibilizado pelo IBGE.

Formações Rochosas	
Fonte:	CPRM/IBGE (2004)
Escala:	1:250.000
Detalhes:	Carta Geológica do Brasil no recorte ao Milionésimo – SF.23 Rio de Janeiro (vetorizada)
Tipos de Relevo	
Fonte:	IBGE (2018)
Escala:	1:250.000
Detalhes:	Base Temática Vetorial
Tipos de Solo	
Fonte:	IBGE (2017)
Escala:	1:250.000
Detalhes:	Carta Temática Vetorial - Rio de Janeiro SF.23 - Pedologia - Unidade de Mapeamento de Solo (vetorizada)

Org.: O autor (2023).

3.1.1.5 Aquisição de dados censitários sobre a Reta do João XXIII

O quinto estágio da coleta de dados buscou levantar informações sobre a renda da área de pesquisa. Portanto, foram coletados dados referentes à renda domiciliar (per capita) dos habitantes da Reta do João XXIII, conforme Quadro 07. Com essas informações, pode-se compreender melhor a magnitude das condições sociais existentes na área, bem com a vulnerabilidade dos habitantes mediante fenômenos como os de inundação.

Quadro 07 – Dados de renda domiciliar disponibilizado pelo IBGE.

Renda Domiciliar (per capita)	
Fonte:	IBGE (2010)
Tipo de dados:	Base Temática Vetorial
Detalhes:	Dados coletados através do Censo 2010.

Org.: O autor (2023).

3.1.2 Interpretação e sistematização de dados

Dando sequência aos procedimentos, a interpretação e sistematização de dados se configurou como a terceira etapa metodológica, e para tal foi importante a utilização dos *softwares* Microsoft Excel e QGIS para dispor e organizar os variados dados. Destaca-se que nessa etapa foi feita as delimitações de dados pluviométricos e de marés oceânicas de acordo com períodos específicos, delimitados em 30 dias (15 dias antes e depois do início dos eventos) e quatro dias durante a ocorrência das inundações de 2019 e 2020. Justifica-se a escolha do período de 30 dias para se ter um acompanhamento das oscilações da maré conforme as fases lunares, e o período de quatro dias para um melhor detalhamento dos eventos.

3.1.3 Elaboração da base cartográfica

A elaboração da base cartográfica foi a quarta etapa metodológica, etapa essa que demandou a utilização dos dados espaciais previamente coletados e sistematizados para gerar os primeiros produtos cartográficos. Para tal, necessitou-se utilizar o *software* QGIS. Do mesmo modo que a primeira etapa, esta também foi subdividida, porém, em dois estágios.

3.1.3.1 Elaboração de mapas temáticos das bacias

Como primeiro estágio, priorizou-se a organização dos dados vetoriais e matriciais para a elaboração de mapas temáticos da área das bacias hidrográficas, dos quais constam o detalhamento das rochas, relevos, e solos da região a partir dos dados do IBGE e CPRM, além da classificação do uso e cobertura da terra (2005 e 2020) do MAPBIOMAS, e o mapeamento hipsométrico e de declividade oriundos das imagens do SRTM. Com a apresentação dos mapas gerados, chama-se a atenção para a área das baixas bacias hidrográficas, devido à localização da Reta do João XXIII nessa região.

3.1.3.2 Geração de um MDE para a Reta do João XXIII

Já o segundo estágio focou na geração de um modelo digital de elevação específico para a Reta do João XXIII. A geração deste MDE foi baseada nos dados disponíveis nas cartas topográficas de 1:2.000 do IPP, pois possuem melhor detalhamento para mapear uma área conhecidamente muito plana e de baixa altitude.

Para a geração deste MDE, foi necessário georreferenciar as cartas topográficas de 1:2.000 que correspondem à área de pesquisa. Após o georreferenciamento, foi necessária a vetorização de todos os pontos cotados das cartas, com seus respectivos indicativos de altitude inseridos na tabela de atributos. Ao todo, foram criados 10.041 pontos cotados.

Em sequência, utilizou-se o método TIN – *Triangulated Irregular Network* para a interpolação dos pontos cotados já vetorizados, gerando um modelo de elevação específico para a Reta do João XXIII.

3.1.4 Trabalho de campo

A quinta etapa metodológica consistiu na reambulação, que visou a coleta de dados em campo para suprir lacunas de informações necessárias para se fazer uma análise minuciosa. Para esta etapa, o conhecimento do campo de pesquisa e os registros fotográficos foram importantes, principalmente para se compreender as características do ambiente, as estruturas naturais e antrópicas da área. Os principais rios, áreas de várzea e de baixa altitude são o foco de estudo.

3.1.5 Tratamento e processamento de dados

Na sexta etapa, propôs-se o tratamento e processamento de dados, do qual foi necessária a utilização dos dados sistematizados (pluviometria, maré oceânica) para gerar modelos e gráficos sobre o comportamento dessas variáveis mediante o intervalo de tempo previamente determinado.

Com o devido processamento desses dados, foi possível a visualização das ocorrências das inundações em 2019 e 2020, atentando ao regime de precipitação e de amplitude das marés durante os eventos. Para esta tarefa, foi importante a utilização do *software* Microsoft Excel.

Ainda nesta etapa, também foi proposta a elaboração um mapa de suscetibilidade à inundação. Esse mapa foi realizado considerando com todo o recorte espacial das bacias hidrográficas dos rios Guandu e Guandu-Mirim (em escala de menor detalhamento) e, para tal, foi necessário considerar alguns fatores que podem influenciar diretamente na propagação de

inundações, como altimetria, declividade, uso e cobertura da terra, formações rochosas, relevo e tipo de solo.

Para a realização do mapa de suscetibilidade a inundação, foram feitas Análises Multicritério Espacial baseadas no método de Análise Hierárquica de Pesos – AHP. Esse tipo de método é recomendado por pesquisadores que trabalham com áreas de risco e de suscetibilidade a determinados fenômenos, como o de inundações, por exemplo. Ela é baseada no cruzamento de diferentes variáveis presentes na área estudada e influentes sobre os fenômenos (SAATY, 1977, 1988; MAGALHÃES et al., 2011; REZENDE, MARQUES & OLIVEIRA, 2017; MAHMOUD & GAN, 2018; MAHMOUD & GAN, 2018).

Para tal, foi necessário designar e mapear as variáveis (fatores/critérios globais) a serem utilizadas (rochas, relevos, solos, uso e cobertura da terra, altitude e declividade) → reclassificar as classes existentes em cada variável com valores específicos através de atribuição arbitrária → criar matrizes de comparação por pares → calcular a soma de cada linha da matriz, dividida pela ordem da matriz para encontrar o valor do peso processado (autovetor) de cada variável → gerar o mapa de suscetibilidade através da calculadora *raster*, somando os valores gerados pela multiplicação dos pesos processados com suas respectivas variáveis mapeadas.

Para dar mais confiabilidade a todo o processo feito, é importante verificar a consistência dos dados obtidos na matriz, sendo necessário calcular o e a Razão de Consistência (RC) (LEAL, BARBOSA & AQUINO, 2020). Para se chegar à RC, deve-se primeiro encontrar o Índice de Consistência (IC), e para o calcular o IC, utiliza-se a fórmula 1, da qual se deve considerar que λ_{max} = autovalor máximo, e n = dimensão da matriz.

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

Para calcular a RC, é necessário primeiramente utilizar o Índice Randômico (IR) da tabela de valores de matrizes quadradas de ordem n , conforme a Tabela 01.

Tabela 01 – Índices de consistência randômico para matrizes quadradas.

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

Fonte: Saaty (1980, apud LEAL, BARBOSA & AQUINO, 2020).
Org.: O autor (2023).

Tendo acesso ao IR, deve-se proceder com o cálculo da RC, conforme a fórmula 2. Deve-se atentar para que o valor do RC seja igual ou menor a 10%, ou 0,1, pois significa que a análise/ponderação feita na matriz, faz sentido (SAATY, 1980, apud LEAL, BARBOSA & AQUINO, 2020; REZENDE, MARQUES & OLIVEIRA, 2017).

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

Com a realização desse mapa de suscetibilidade à inundação, pode-se ter melhor compreensão da conjuntura existente na região da Reta do João XXIII, ou seja, poder-se-á compreender se a área de pesquisa está realmente localizada em uma área propícia a ocorrências de inundação.

3.1.5.1 Elaboração do mapa de suscetibilidade à inundação

Os fatores utilizados para geração do mapa são algumas características existentes nas bacias, sendo elas a declividade, altitude, uso e cobertura da terra, tipo de solo, relevo e rochas. Destes fatores, declividade, altitude, uso e cobertura da terra e tipo de solo são comumente utilizados por pesquisadores para a geração de mapas de suscetibilidade à inundação através do método AHP, e foi a través desses pesquisadores que esta pesquisa se baseou para a reclassificação dos critérios globais, suas ponderações e comparações pareadas (MAGALHÃES et al., 2011; FALCÃO, 2013; REZENDE, MARQUES & OLIVEIRA, 2017; MAHMOUD & GAN, 2018; MAHMOUD & GAN, 2018). Por outro lado, o uso dos fatores rochas e relevo, é uma proposta metodológica do próprio autor, com atribuições de valores, ponderações e comparações pareadas feitas por iniciativa própria.

Estudar um problema multicritério exige processos de priorização e atribuição de pesos para cada critério, que é o cerne do método AHP. Compreendendo os vários fatores que podem incidir sobre a formação de inundações, através do AHP é necessário separar, comparar e estruturar hierarquicamente estes fatores, além de realizar um processo de priorização ().

Deste modo, para cruzar os dados dos fatores (critérios globais) no processo de análise multicritério, deve-se ter em mãos os mapas de cada fator a ser analisado, e com isso realizar o processo de padronização na mesma escala para permitir a análise comparativa entre estes, *pixel* por *pixel*. No entanto, de início é necessário atribuir os valores à cada classe de cada critério global, considerando que diferentes classes contribuem de forma diferente no que tange a

propagação de inundações. Em relação a essa atribuição de valores, o Quadro 08 apresenta as seguintes informações.

Quadro 08 – Critérios utilizados no método AHP para gerar o mapa de suscetibilidade à inundação.

Mapa de critério	Natureza dos dados	Normalização	Regra de decisão
Declividade	Quantitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Áreas planas são mais suscetíveis a inundações
Hipsometria	Quantitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Áreas baixas são mais suscetíveis a inundações
Uso e cobertura da terra	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Corpos d'água são mais suscetíveis a inundações
Solos	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Gleissolos Melânicos são mais suscetíveis à saturação hídrica
Rochas	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Depósitos Flúvio-Lagunares são encontrados em áreas de acumulação
Relevos	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Planícies Fluviais são encontrados em áreas de acumulação

Org.: O autor (2023).

Os novos valores atribuídos às classes dos mapas foram estipulados de zero a um (0 - 1), sendo zero de menor importância e um de maior importância. O primeiro critério global a ser reclassificado de acordo com a nova atribuição de valores foi o mapa de declividade. Para este, as classes tiveram atribuição de valor conforme apresenta a Tabela 02.

Tabela 02 – Atribuição de valores às classes de Declividade

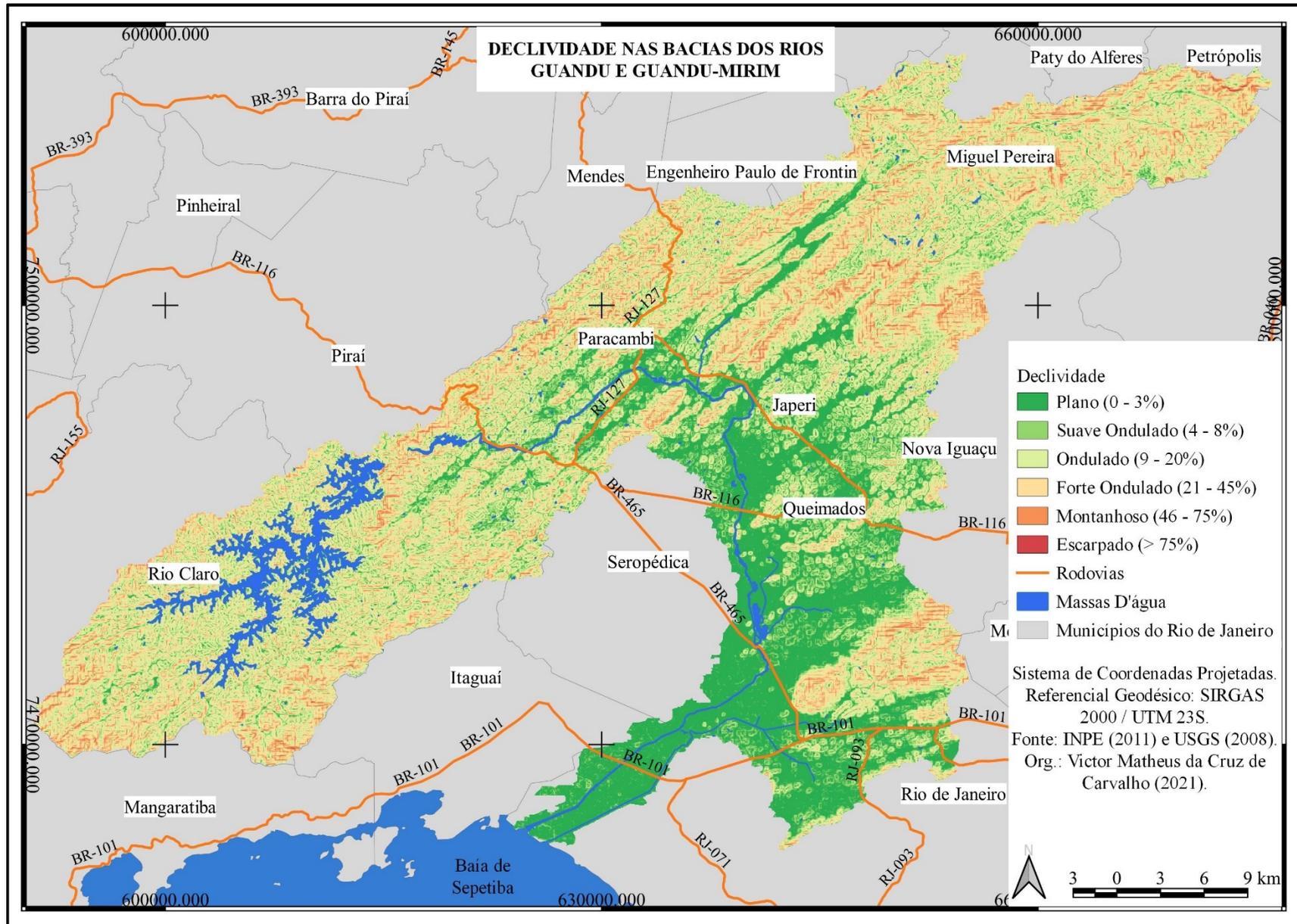
Classes	Valor
Plano (0-3%)	1
Suave Ondulado (4-8%)	0,6
Ondulado (9-20%)	0,4
Forte Ondulado (21-45%)	0,3
Montanhoso (46-75%)	0,2
Escarpado (> 75%)	0,1

Org.: O autor (2023).

Como está exemplificado, o maior valor (1) foi dado para a classe com maior suscetibilidade à inundação, o Plano, enquanto que o Suave Ondulado recebeu valor 0,6, Ondulado 0,4, Forte Ondulado 0,3, e Montanhoso e Escarpado recebendo os menores valores, 0,2 e 0,1 respectivamente, devido à dificuldade de retenção de água nessas condições.

Falando especificamente sobre o mapa de declividade, destaca-se a diversidade nas formas dos relevos, com vertentes mais escarpadas nas áreas de cabeceira de drenagem, e terrenos mais planos nas áreas adjacentes aos principais rios e nas áreas das baixas bacias, próximas à Baía de Sepetiba, conforme representado na Figura 07.

Figura 07 – Mapa de declividade das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

O segundo critério global que passou pelas atribuições de valores foi o do mapa de hipsometria cujas classes também foram reorganizadas mediante seus graus de importância no que condiz a suscetibilidade a inundações. Portanto, o maior valor (1) foi atribuído à classe de -0,8 – 220 m de altitude, que são consideradas as áreas de baixada, com maior parcela de acumulação, já para classe de 221 – 440 m foi dado o valor de 0,8, e assim, conforme as altitudes foram aumentando, menor foram os valores atribuídos, bem como representado na Tabela 03.

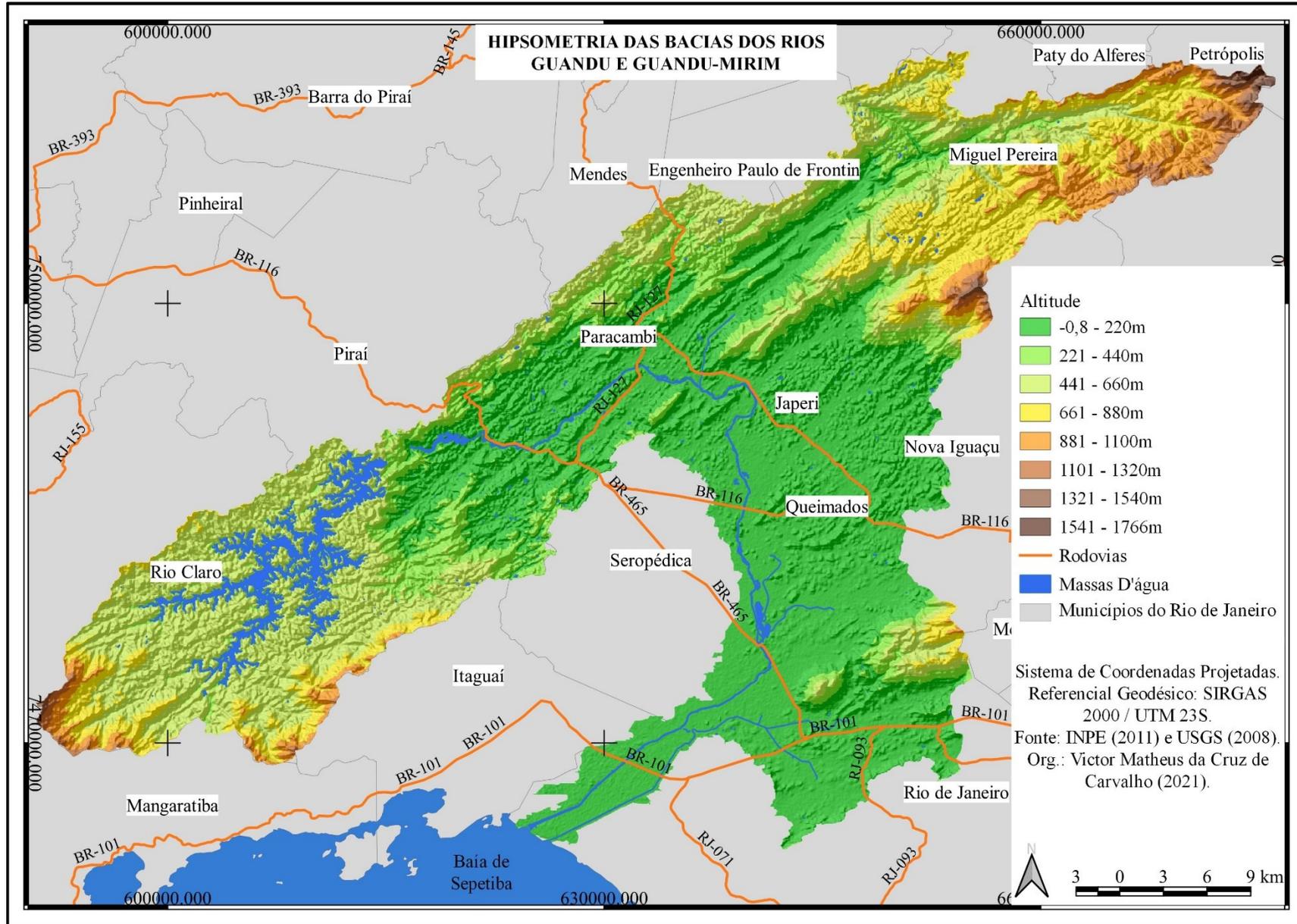
Tabela 03 – Atribuição de valores às classes Hipsométricas.

Classes	Valor
-0,8 – 220 m	1
221 – 440 m	0,8
441 – 660 m	0,6
661 – 880 m	0,5
881 – 1100 m	0,4
1101 – 1320 m	0,3
1321 – 1540 m	0,2
1541 – 1766 m	0,1

Org.: O autor (2023).

Sobre o mapa hipsométrico, pode-se observar as cotas altimétricas de toda a extensão das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim. A altitude varia de seu nível mais baixo, -0,8 metros nas áreas mais próximas a Baía de Sepetiba, até suas cotas mais altas, acima de 1700 metros nas cabeceiras de drenagem (Serra do Mar), evidenciando grande amplitude e diversidade topográfica, como se pode observar na Figura 08.

Figura 08 – Mapa de hipsometria das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

O próximo critério global a ser reclassificado foi o de uso e cobertura da terra referente apenas ao ano de 2020. O maior valor (1) foi atribuído às classes relacionadas a água, como Campo Alagado, Aquicultura e Rio, Lago e Oceano. O segundo valor mais alto foi destacado para Mangue (0,9), enquanto que Área Urbana e Mineração obtiveram valores 0,8. Às outras classes foram atribuídos valores intermediários de acordo com os seus graus de importância perante a suscetibilidade às inundações, de acordo com o exposto na Tabela 04.

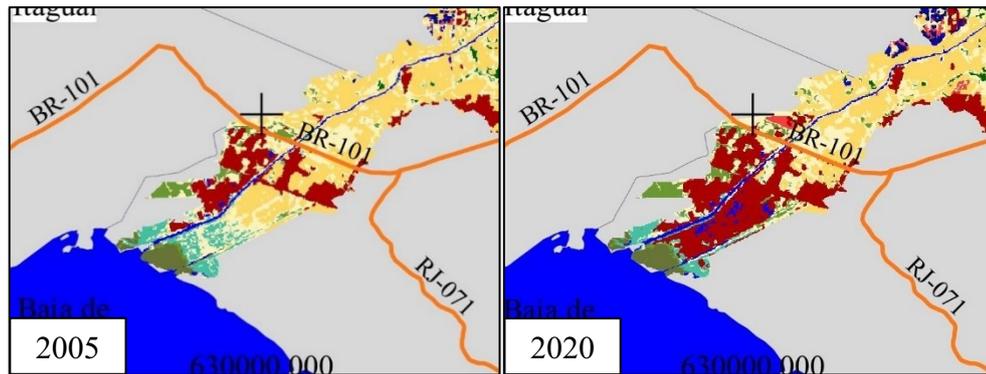
Tabela 04 – Atribuição de valores às classes de Uso e Ocupação da Terra.

Classes	Valor
Formação Florestal	0,1
Mangue	0,9
Silvicultura	0,2
Campo Alagado/Área Pantanosa	1
Pastagem	0,4
Mosaico Agricultura/Pastagem	0,5
Área Urbana	0,8
Outras Áreas Não Vegetadas	0,6
Afloramento Rochoso	0,7
Mineração	0,8
Aquicultura	1
Rio, Lago e Oceano	1
Restinga Arborizada	0,3

Org.: O autor (2023).

O desenvolvimento dos mapas de uso da terra foi importante para evidenciar principalmente as mudanças na forma de ocupação antrópica. Ao comparar os mapas de 2005 e de 2020, nota-se a diferença na cobertura da terra, principalmente a expansão urbana pelas duas bacias. Detalhe para o fato de que a área das baixas bacias sofreu notável crescimento da área urbana, conforme Figura 09. Este caso também é observado em demais áreas da Zona Oeste carioca e Baixada Fluminense. A área da cabeceira da bacia do Rio Guandu-Mirim sofreu aumento considerável da área urbana, maior até se comparado a cabeceira da bacia do Rio Guandu, que está mais conservada com cobertura de Formação Florestal.

Figura 09 – Crescimento Urbano nas baixas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

De acordo com os mapas gerados na Figura 10 e Figura 11, pode-se dizer que a área urbana foi o tipo de cobertura que mais se expandiu pelas bacias. No total, de 2005 para 2020, houve um aumento de 25.174 km² pela região, conforme é apresentado na Tabela 05, totalizando um crescimento de 15% em 15 anos.

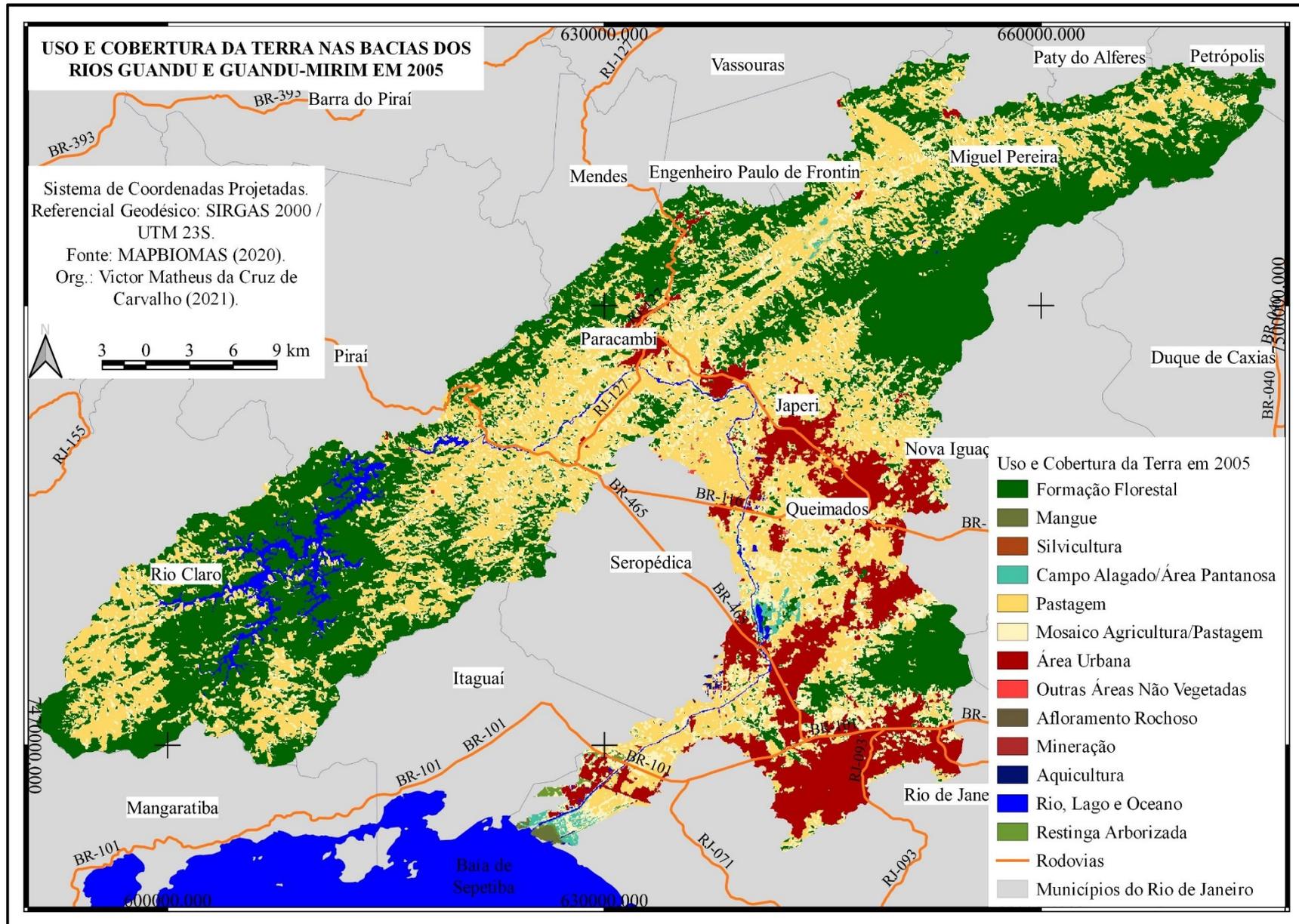
Tabela 05 – Classificação do uso e cobertura da terra nos anos de 2005 e 2020.

Tipos de coberturas	Uso e cobertura da terra (km ²)	
	2005	2020
Formação Florestal	646.643	671.781
Pastagem	489.183	442.567
Mosaico A./P.	270.387	263.056
Área Urbana	169.922	195.096
Rio, Lago e Oceano	32.763	34.449
Campo Alagado/A.P.	7.821	6.643
Restinga	2.173	2.960
Mangue	1.908	1.946
Outras Áreas	1.478	2.965
Afloramento	0.559	0.586
Aquicultura	0.438	1.122
Mineração	0.119	0.108
Silvicultura	0.007	0.117
Total	1623.406	1623.402

Org.: O autor (2023).

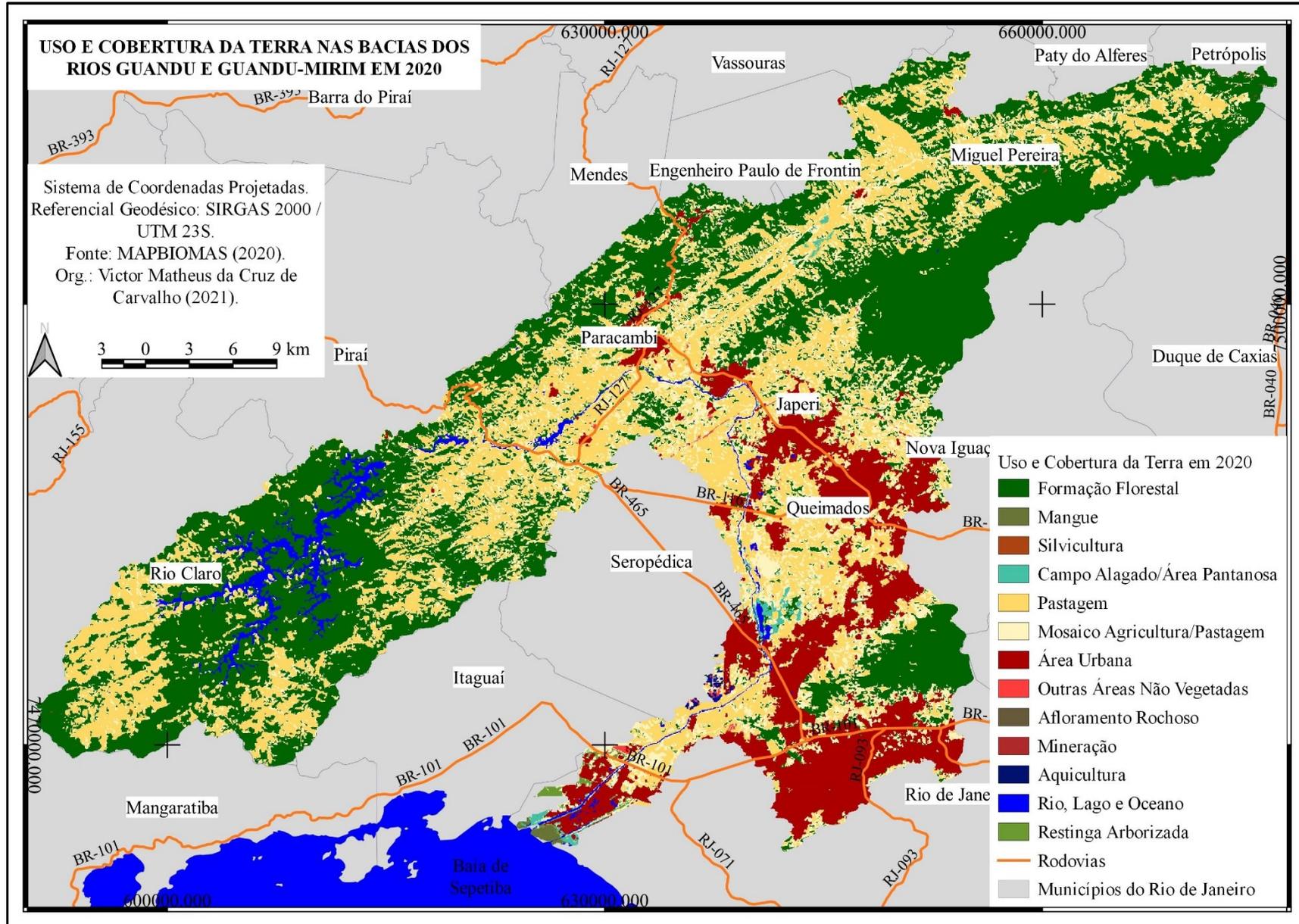
Fonte: MAPBIOMAS (2021).

Figura 10 – Mapa de uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim em 2005.



Fonte: O autor (2023).

Figura 11 – Mapa de uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim em 2020.



Fonte: O autor (2023).

A atribuição de valores teve continuidade com a reclassificação dos tipos de solo encontrados nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim. As classes que receberam o maior valor foram as de Gleissolo, tanto o Melânico Tb Distrófico quanto o Sáfico Órtico, devido à sua conhecida baixa capacidade de drenagem e alta saturação, enquanto que o Planossolo também recebeu um valor alto (0,9) pelo mesmo motivo. Conforme a Tabela 06, as classes seguintes receberam valores intermediários de acordo com o mesmo critério de capacidade de drenagem.

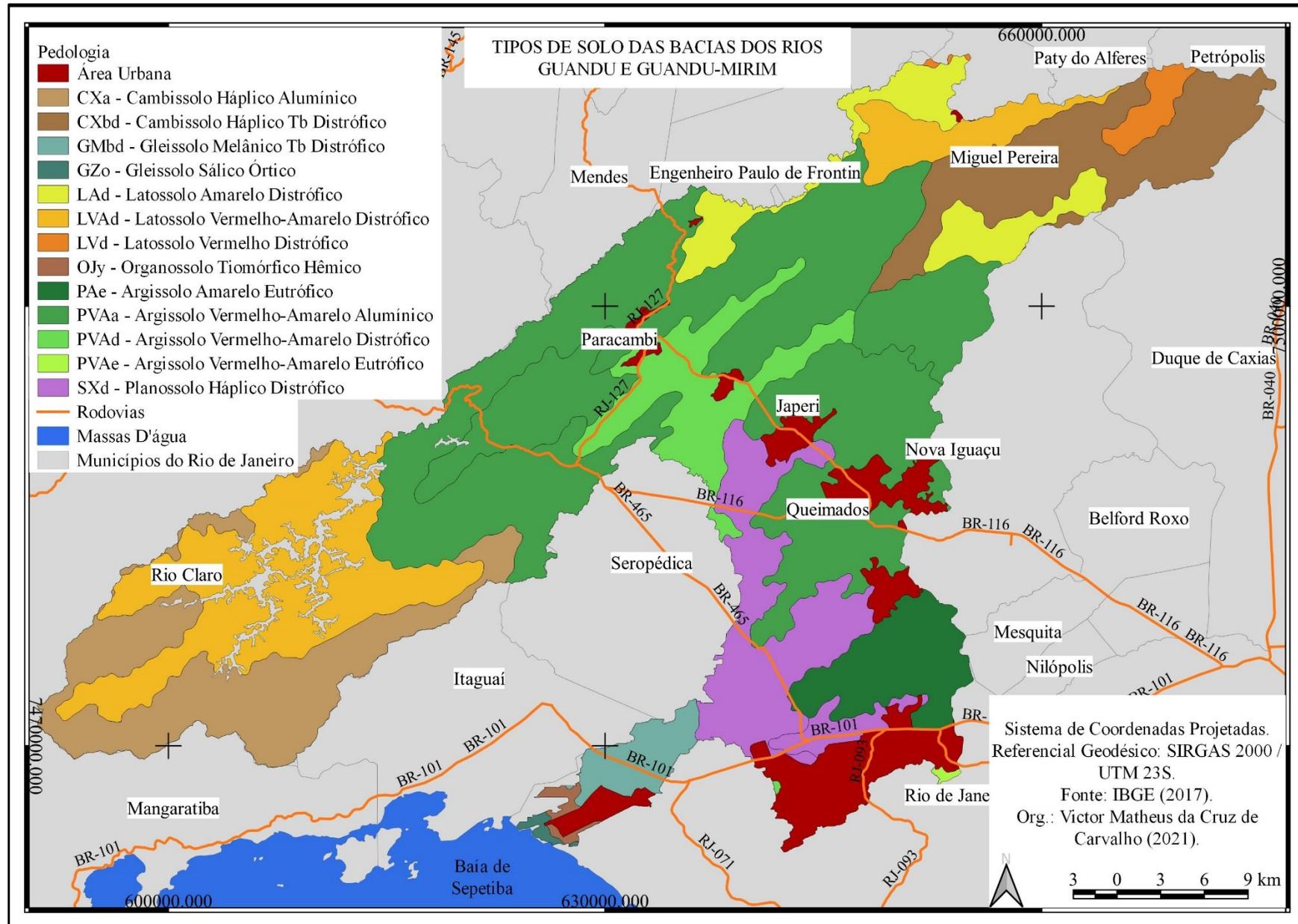
Tabela 06 – Atribuição de valores às classes de Solos.

Classes	Valor
CXa – Cambissolo Háptico Alumínico	0,3
CXbd – Cambissolo Háptico Tb Distrófico	0,3
GMbd – Gleissolo Melânico Tb Distrófico	1
GZo – Gleissolo Sáfico Órtico	1
LAd – Latossolo Amarelo Distrófico	0,1
LVAAd – Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	0,1
LVd – Latossolo Vermelho Distrófico	0,1
OJy – Organossolo Tiomórfico Hêmico	0,7
PAe – Argissolo Amarelo Eutrófico	0,4
PVAa – Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico	0,4
PVAd – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	0,4
PVAe – Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	0,4
SXd – Planossolo Háptico Distrófico	0,9

Org.: O autor (2023).

A composição de solos é o tema destacado no mapa da Figura 12, com predomínio do Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico, porém em áreas mais próximas às cabeceiras de drenagem, enquanto que, nas áreas das baixas bacias, existe presença Gleissolo Melânico Tb Distrófico. Tais informações sugerem novamente que a região das baixas bacias, onde está localizado a Reta do João XXIII, apresenta características de ambiente mal drenado.

Figura 12 – Mapa de solos das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

Continuando as atribuições de valores, o critério global reclassificado em sequência é o fator do relevo, do qual se levou em consideração as áreas mais propícias ao processo de acumulação. Desta forma, as estruturas que receberam o maior valor (1) foram as Planícies Fluviais e Planícies Flúviomarinhas que já são caracterizadas geomorfologicamente como áreas deposicionais. As outras estruturas geomorfológicas, por apresentarem potencial de dissecação, com exceção das rampas de colúvio, receberam valores mais baixos, como está à mostra na Tabela 07.

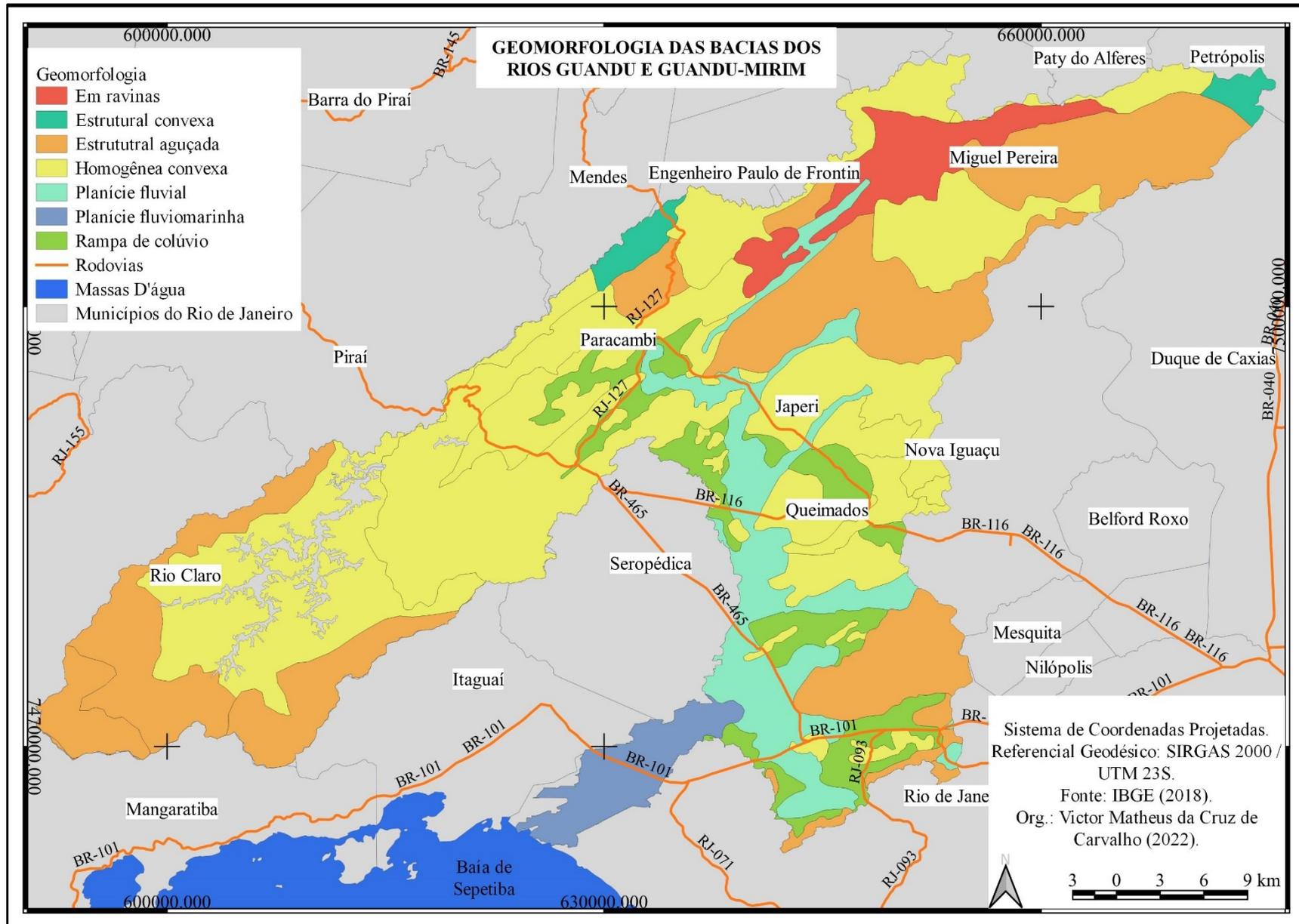
Tabela 07 – Atribuição de valores às classes de Relevos.

Classes	Valor
Em ravinas	0,3
Estrutural convexa	0,3
Estrutural aguçada	0,1
Homogênea convexa	0,3
Planície fluvial	1
Planície fluviomarinha	1
Rampa de colúvio	0,5

Org.: O autor (2023).

Já em relação ao mapa de relevo, estão representadas as diferentes formas de relevo existentes nas bacias, com predomínio das formas Homogêneas Convexas, com destaque para a Planície Fluvial nas áreas de percorridas pelos rios Guandu e Guandu-Mirim, além da Planície Fluviomarinha incidente sobre a área da Reta do João XXIII nas baixas bacias, conforme a Figura 13. A existência dessas planícies fluviais e fluviomarinhas, mais uma vez, demonstra que o ambiente em questão sofre processos de acumulação de resíduos, evidenciando possível ação do sistema fluvial existente.

Figura 13 – Mapa de relevo das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

O último critério global trabalhado foi o de formações rochosas. Deste modo, as classes de grupos litológicos existentes receberam valores condizentes com o tipo de formação rochosa, do qual as rochas sedimentares, formadas em áreas de acumulação, receberiam valor máximo (1), como foi o caso dos Depósitos Flúvio-Lagunares. Conforme as demais são ígneas (Maciço da Pedra Branca, Quirino, Santo Aleixo, Serra do Mendanha, Serra dos Órgãos e Tinguá), metamórficas (Paraíba do Sul e Rio Negro) e ígneas-metamórficas (Rio de Janeiro e Serra das Araras), foi atribuído peso 0,3, conforme Tabela 08.

Tabela 08 – Atribuição de valores às classes litológicas.

Classes	Valor
Depósitos Flúvio-Lagunares	1
Maciço da Pedra Branca	0,3
Paraíba do Sul	0,3
Quirino	0,3
Rio de Janeiro	0,3
Rio Negro	0,3
Santo Aleixo	0,3
Serra das Araras	0,3
Serra do Mendanha	0,3
Serra dos Órgãos	0,3
Tinguá	0,3

Org.: O autor (2023).

O mapa da Figura 14 evidencia os diferentes tipos de grupos litológicos existentes na região das bacias. Ressalta-se a predominância de alguns grupos como o Rio Negro, Paraíba do Sul e Quirino, além de um destaque especial para os Depósitos Flúvio-Lagunares, predominante nas áreas adjacentes aos rios Guandu e Guandu-Mirim, e nas áreas das baixas bacias.

Posteriormente a esse momento, todos esses mapas foram convertidos para o formato *raster*, tendo como propriedade o atributo de “valores” (com as respectivas notas) criado para cada um dos mapas.

A partir deste momento, inicia-se o processo de construção das matrizes quadradas de comparação pareada, e para tal, deve-se em primeiro lugar aplicar a escala da ordem de importância designada por Saaty (1977), representada no Quadro 09.

Quadro 09 – Escala de ordem de importância.

Valores	Grau de importância mútua
1	Igualmente importante
3	Mais importante
5	Nitidamente mais importante
7	Muito mais importante
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Tendo ciência da escala de ordem de importância, pôde-se iniciar a construção da matriz de comparação pareada. Deste modo, a matriz foi sendo construída de acordo com o grau de importância de um critério global em relação ao outro. Assim, na Tabela 09, tem-se a matriz da seguinte maneira.

Tabela 09 – Matriz de comparação pareada.

Critérios	Declivida- de	Altitude	Uso da Terra	Solo	Relevo	Rochas
Declivida- de	1	2	4	5	7	8
Altitude	1/2	1	2	3	5	6
Uso da Terra	1/4	1/2	1	2	4	5
Solo	1/5	1/3	1/2	1	2	3
Relevo	1/7	1/5	1/4	1/2	1	2
Rochas	1/8	1/6	1/5	1/3	1/2	1

Org.: O autor (2023).

Tendo sido feita a comparação dos critérios globais através da matriz, fez-se a soma individual de cada linha e dividiu pelo total encontrado da soma de todas as linhas, encontrando assim o autovetor. Desta maneira, o autovetor (peso/valor) calculado para o critério de

declividade foi de 0,382, para o de altitude foi de 0,248, para o de uso da terra 0,180, para o de solo foi de 0,099, para o de relevo 0,058 e para o de rochas 0,033.

Para se averiguar a confiabilidade dos procedimentos realizados, propôs-se calcular a RC dos dados. Portanto, calculou-se os produtos vetoriais de cada linha da matriz, bem como o Lambda Máximo (λ_{max}), calculando então o IC, cujo resultado deu $\pm 0,036$. Tendo em mãos o valor do IC, e tendo conhecimento de que o valor do IR é de 1,26, o RC foi calculado, apresentando-se como resultado $\pm 0,028$, que é abaixo de 0,1, assegurando que o processo de comparação pareada foi bem executado.

Após os procedimentos realizados para se obter os valores dos autovetores, pode-se finalmente utilizar a calculadora *raster* para gerar o mapa. A seguinte fórmula utilizada para esse cálculo apresenta a função onde M = Mapa Final, W = Autovetor, D = Declividade, A = Altitude, U = Uso da Terra, S = Solo, G = Relevo e L = Rochas.

$$M = (W * D) + (W * A) + (W * U) + (W * S) + (W * G) + (W * L) \quad (3)$$

3.1.5.2 Elaboração do mapa de risco à inundação

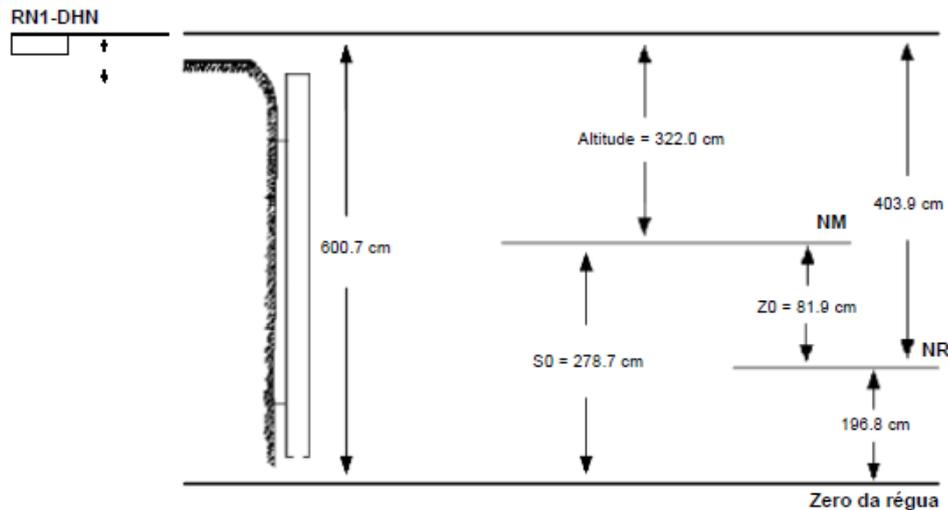
Após a elaboração do mapa de suscetibilidade referente às bacias hidrográficas, também foi proposta criação de um mapa de risco à inundação à população residente na Reta do João XXIII, com informações mais detalhadas (grande escala) sobre os possíveis impactos das inundações na área de pesquisa. E para a realização deste mapa, também foi necessário utilizar o método AHP, cujos fatores contabilizados serão a declividade, altitude, uso e cobertura da terra, renda domiciliar e a influência da amplitude das marés oceânicas.

Portanto, para se gerar o mapa de risco, foi importante destacar a ação das marés oceânicas na área de pesquisa. E para isso, deve-se elaborar um mapa que represente as áreas de influência da amplitude das marés. Assim, tendo em mãos os dados de oscilação da maré oceânica, fornecidos pelo BNDO, pôde-se calcular e mapear o alcance dessa maré na área de pesquisa.

No entanto, para realizar o cálculo de influência da amplitude da maré, necessitou-se converter o sistema de altitude do MDE, pois as cartas utilizadas para a geração do modelo são baseadas no sistema de referência de Imbituba/SC. Considerando que os dados coletados sobre o nível médio do mar são os da Tábua de Maré do Porto de Itaguaí, existe a possibilidade de divergências em relação ao nível médio do mar estabelecido pelo nível de referência em Imbituba. Portanto, necessitou-se encontrar o fator de conversão entre o nível médio do mar local – NMML (Porto de Itaguaí), e o nível médio do mar nacional – NMMN (Imbituba).

O valor da altitude (H) RN1-DHN em relação ao NMML é de 3,22 m, conforme a representação da tábua de maré da Figura 15.

Figura 15 – Representação da Tábua de Maré do Porto de Itaguaí.



Fonte: DHN (2013).

Agora, para encontrar o valor da altitude (H) RN1-DHN em relação à Imbituba, foi necessário utilizar a fórmula 4 a seguir, onde $h = -2,265 \pm 0,008$ m (conforme o Quadro 04) e $\zeta = -5,19 \pm 0,08$ m. Destaca-se que ζ (zeta) é a anomalia de altura, que pode ser obtida utilizando a ferramenta hgeoHNOR do IBGE.

$$H_{imb} = h - \zeta \quad (4)$$

Portanto, $H_{imb} = -2,265 - (-5,19) \rightarrow H_{imb} = 2,92 \pm 0,08$ m. Deste modo, o fator de conversão (fc) entre o NMML e o NMMN é $(3,22 - 2,92) = 0,30 \pm 0,08$ m. Com esta informação, pode-se converter as configurações de altitude do MDE de acordo com o nível estabelecido pela tábua de maré do Porto de Itaguaí.

Tendo-se convertido o MDE para os padrões do NMML, pode-se calcular a influência da amplitude da maré oceânica. Portanto, considerando que o NMML coincida com a superfície do mar, calcula-se a amplitude de maré ($A_{maré}$) (valor da altura de maré) de acordo com este mesmo NMML. Como exemplo, pode-se dizer que se o valor da altura da maré em um determinado momento for de 1,00 m, a maré poderá alcançar valores de até 1,00 m no MDE já convertido para os padrões do NMML. Deste modo, pode-se estudar como as variações de nível

de maré podem afetar a área de pesquisa e assim, elaborar um mapa de suscetibilidade a inundação provocada pelas marés oceânicas.

De posse de todos os fatores já mapeados (declividade, altitude, uso e cobertura da terra, renda domiciliar, e influência das marés oceânicas), pode-se iniciar a elaboração do mapa de risco à inundação na Reta do João XXIII. Com este mapa, será possível compreender a dimensão das inundações que ocorrem na área de pesquisa e as principais áreas afetadas. Será uma ferramenta útil para entender quais são as zonas de maior risco à população, fornecendo informações importantes para tomadas de decisão referentes a um melhor planejamento e gestão de riscos.

Como se trata de uma região muito mais específica que o restante das bacias dos Rios Guandu e Guandu-Mirim, é necessária uma apuração mais detalhada da área. Foi pensando desta maneira que se buscou adquirir dados mais robustos sobre a Reta do João XXIII, o que culminou na aquisição de cartas topográficas de escala 1:2.000. Estas cartas foram importantes para a geração de um MDE com maior detalhamento da área de interesse. Após a realização do MDE, procurou-se gerar produtos cartográficos sobre a área de pesquisa, como hipsometria e declividade da Reta do João XXIII, bem como também foram elaborados outros temas para a área de pesquisa, como o de renda domiciliar.

Para gerar o mapa de risco à inundação, também foi necessário utilizar o método AHP, perfazendo todo o processo de designar e reclassificar os critérios globais, elenca-los hierarquicamente, criar a matriz de comparação por pares, extrair os autovetores e calcular a RC. Mediante esta proposta, foram designados como critérios globais os seguintes fatores: declividade, altitude, uso e cobertura da terra, renda domiciliar e influência da amplitude da maré oceânica. Os critérios utilizados e demais informações sobre a normalização necessária neste procedimento estão apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Critérios utilizados no método AHP para gerar o mapa de risco à inundação.

Mapa de critério	Natureza dos dados	Normalização	Regra de decisão
Declividade	Quantitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Áreas planas são mais suscetíveis a inundações
Hipsometria	Quantitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Áreas baixas são mais suscetíveis a inundações
Uso e cobertura da terra	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Ocupação urbana em local inadequado expõe pessoas
Renda domiciliar	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Pessoas com baixa renda são mais vulneráveis
Influência da maré oceânica	Qualitativo	Ordem Hierárquica Arbitrária	Exemplo: Áreas próximas aos rios são mais suscetíveis à ação das marés

Org.: O autor (2023).

Considerando que desta vez o produto final será um mapa de risco, e não suscetibilidade, buscou-se designar esses fatores como os mais adequados para o tema. A vulnerabilidade da população mediante a ameaça das inundações foi a principal condicionante.

Os novos valores dados aos mapas na etapa de reclassificação também foram condicionados de zero a um (0-1), sendo atribuídos de forma hierárquica em seus atributos, para posterior conversão ao formato *raster*.

Já o segundo mapa a ser reclassificado foi o de declividade, cujo valor máximo (1) foi atribuído à classe de relevo mais plano, também sendo atribuído valor de 0,6 ao relevo suave ondulado, com os outros valores em configuração decrescente à maneira que as áreas mais íngremes não representam suscetibilidade à inundação significativa. Tudo isso pode ser observado na Tabela 10.

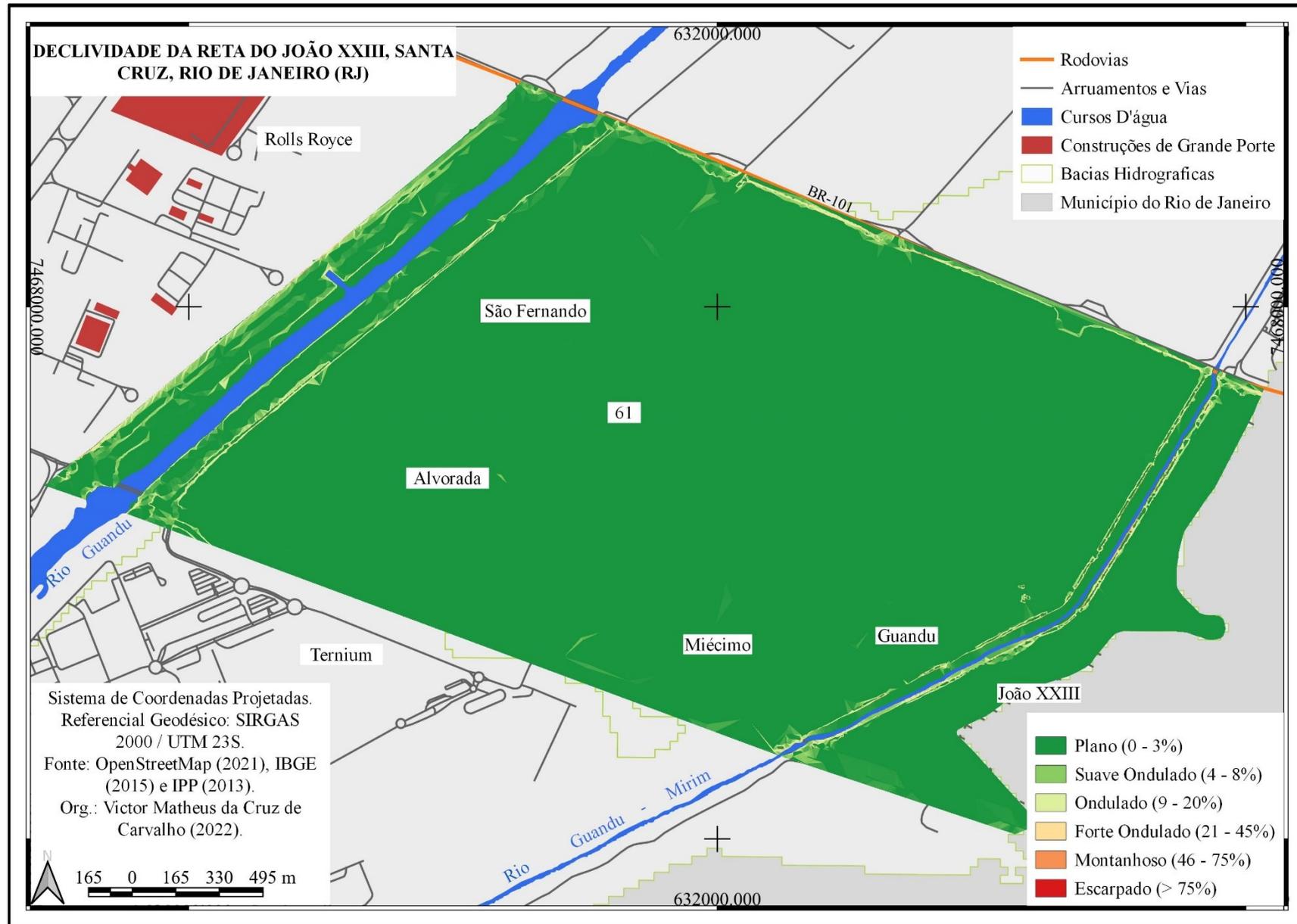
Tabela 10 – Atribuição de valores às classes de Declividade.

Classes	Valor
Plano (0-3%)	1
Suave Ondulado (4-8%)	0,6
Ondulado (9-20%)	0,4
Forte Ondulado (21-45%)	0,3
Montanhoso (46-75%)	0,2
Escarpado (> 75%)	0,1

Org.: O autor (2023).

Através do mapa de declividade, apresentado na Figura 16, pode-se observar a predominância de áreas planas, de zero a três por cento de declividade, considerado muito baixo. E assim como no mapa hipsométrico, as únicas áreas de maior declividade também estão vinculadas às obras rodoviárias ou de elevações de diques. A soma desses dois fatores, altitude e declividade, já contribuem para uma considerável suscetibilidade do terreno a inundações. A depender dos outros fatores a serem somados, é possível que a região tenha grandes áreas de risco à inundação.

Figura 16 – Mapa de declividade da Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

Assim, o segundo critério utilizado para a atribuição de valores foi o mapa hipsométrico, cuja reclassificação determinou o maior valor (1) para a classe de menor altitude, 0-56 – 1,76 m, pois representa a área com maior suscetibilidade à inundação, além de também atribuir o valor de 0,8 para a de 1,77 – 2,97 m, por ser a segunda classe com mais suscetibilidade. Conforme foi-se aumentando a altitude das classes os valores foram sendo distribuídos de forma decrescente devido a menor suscetibilidade à inundação, como é demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Atribuição de valores às classes Hipsométricas.

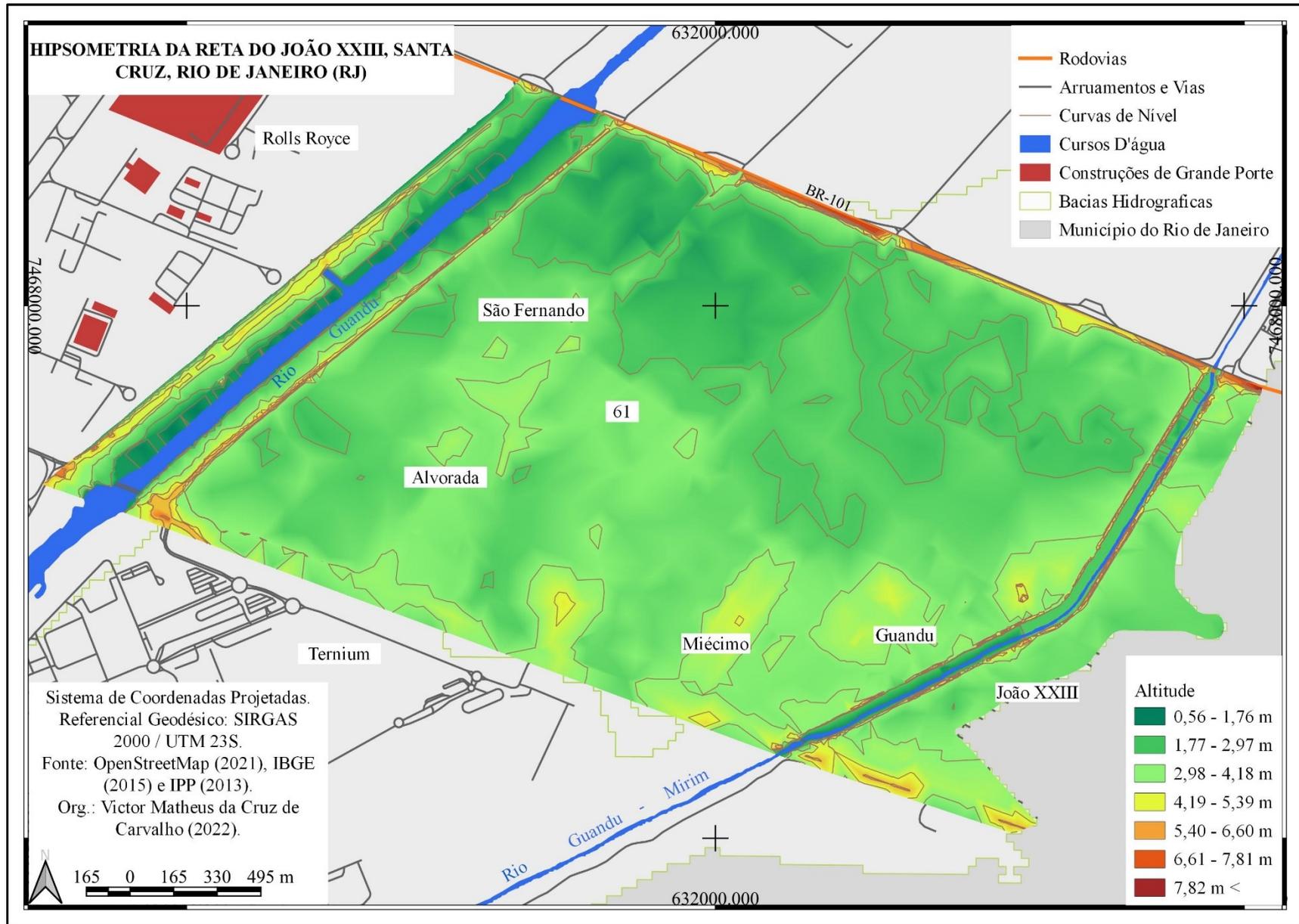
Classes	Valor
0,56 – 1,76 m	1
1,77 – 2,97 m	0,8
2,98 – 4,18 m	0,6
4,19 – 5,39 m	0,5
5,40 – 6,60 m	0,4
6,61 – 7,81 m	0,3
> 7,82	0,2

Org.: O autor (2023).

O mapa hipsométrico gerado a partir do MDE apresentou níveis altimétricos baixos, como já era esperado era esperado devido ao que os mapas das bacias já tinham apresentado, porém, foi averiguado uma divergência nas informações. Na região da Reta do João XXIII, o mapa hipsométrico baseado no SRTM apresentava altimetria por volta de 3 e 4 m acima do nível do mar, enquanto que os dados apresentados pelo mapa hipsométrico desenvolvido com base no MDE possuem desde próximas ao nível do mar, como 0,56 metros até as máximas de 7,82 metros.

É interessante destacar que as áreas mais altas representadas nos mapas, correspondem às obras de infraestrutura rodoviária como, por exemplo, a eleva o da rodovia BR-101 (Rio-Santos) ao norte, ou devido as obras de eleva o de diques às margens dos dois rios, conforme o mapa da Figura 17. Também é curioso notar que as áreas com maior infraestrutura urbana estão em sua maioria mais elevada que os demais terrenos dominados pela atividade rural.

Figura 17 – Mapa de hipsometria da Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

O uso e ocupação da terra foi o terceiro critério global que passou pelo processo de reclassificação. Neste mapa, a classe de área urbana foi a que recebeu o maior valor (1) devido à maior concentração e exposição das pessoas ao perigo das inundações. De acordo com a Tabela 12, às demais classes foram atribuídos valores de acordo com seus graus de importância em relação à concentração e exposição de pessoas.

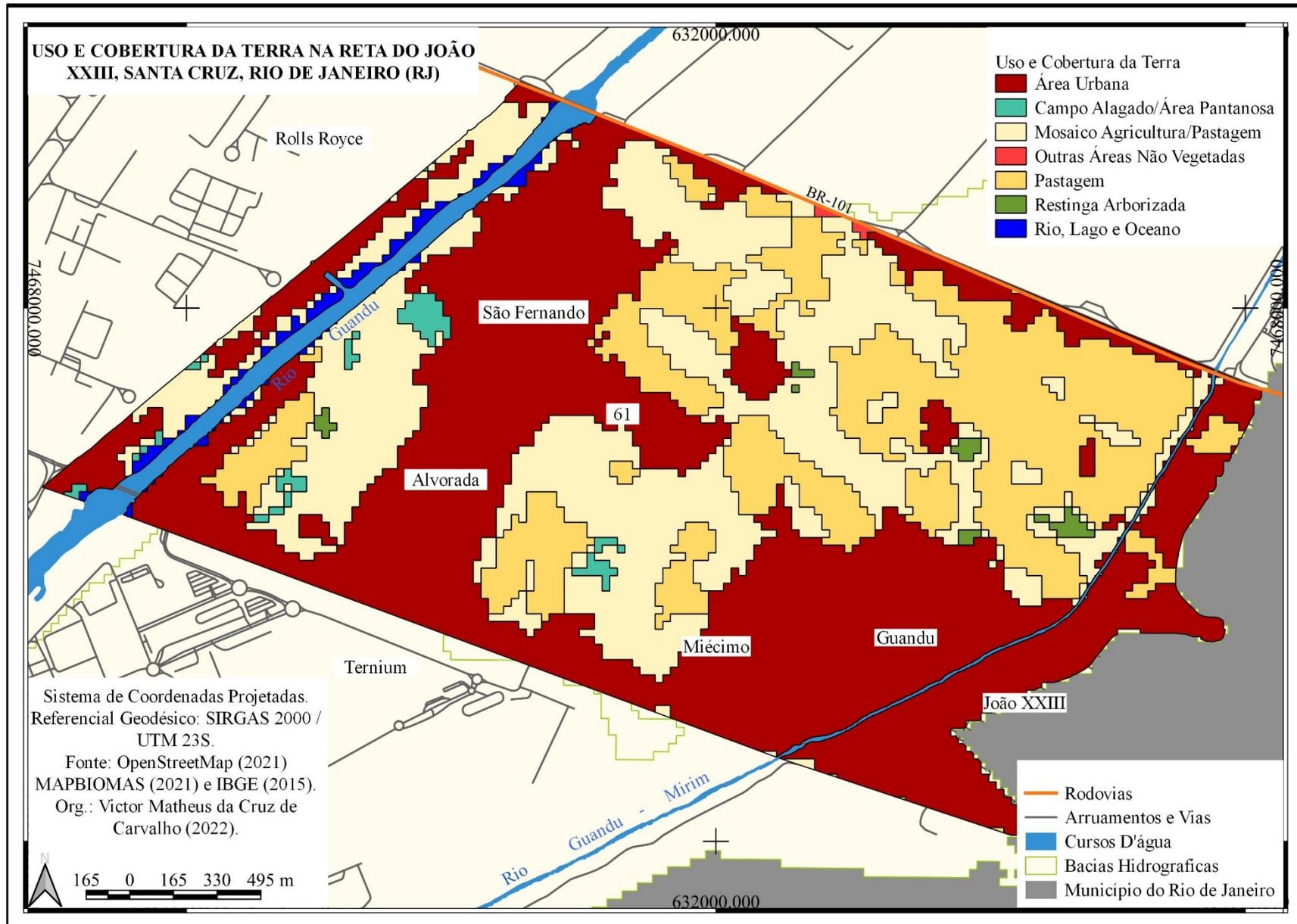
Tabela 12 – Atribuição de valores às classes de Uso e Ocupação da Terra.

Classes	Valor
Campo Alagado/Área Pantanosa	0,3
Pastagem	0,4
Mosaico Agricultura/Pastagem	0,6
Área Urbana	1
Outras Áreas Não Vegetadas	0,3
Rio, Lago e Oceano	0,3
Restinga Arborizada	0,3

Org.: O autor (2023).

Neste mapa de uso e cobertura da terra, representado na Figura 18, pode-se observar a predominância da área urbana, onde ocorre a maior concentração de pessoas vulneráveis mediante o perigo de inundações. Por outro lado, as áreas de mosaico de agricultura/pastagem e pastagem também possuem uma parcela significativa de residentes, portanto também merece atenção em caso de iminência de inundação. As outras áreas não apresentam tanto risco de exposição de vulneráveis pois possuem menor concentração de pessoas.

Figura 18 – Mapa de uso e cobertura da terra em 2020 na Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

O próximo fator a ser reclassificado se trata do mapa de renda domiciliar. De acordo com a Tabela 13, a classe à que foi atribuído o maior valor (1) foi $\geq 1/2$ da população vivendo com até meio salário, pois representa áreas onde a população mais pobre e vulnerável reside. Em continuidade, $\geq 1/3$ da população vivendo com até meio salário recebeu valor 0,6 e $< 1/3$ da população vivendo com até meio salário recebeu 0,3.

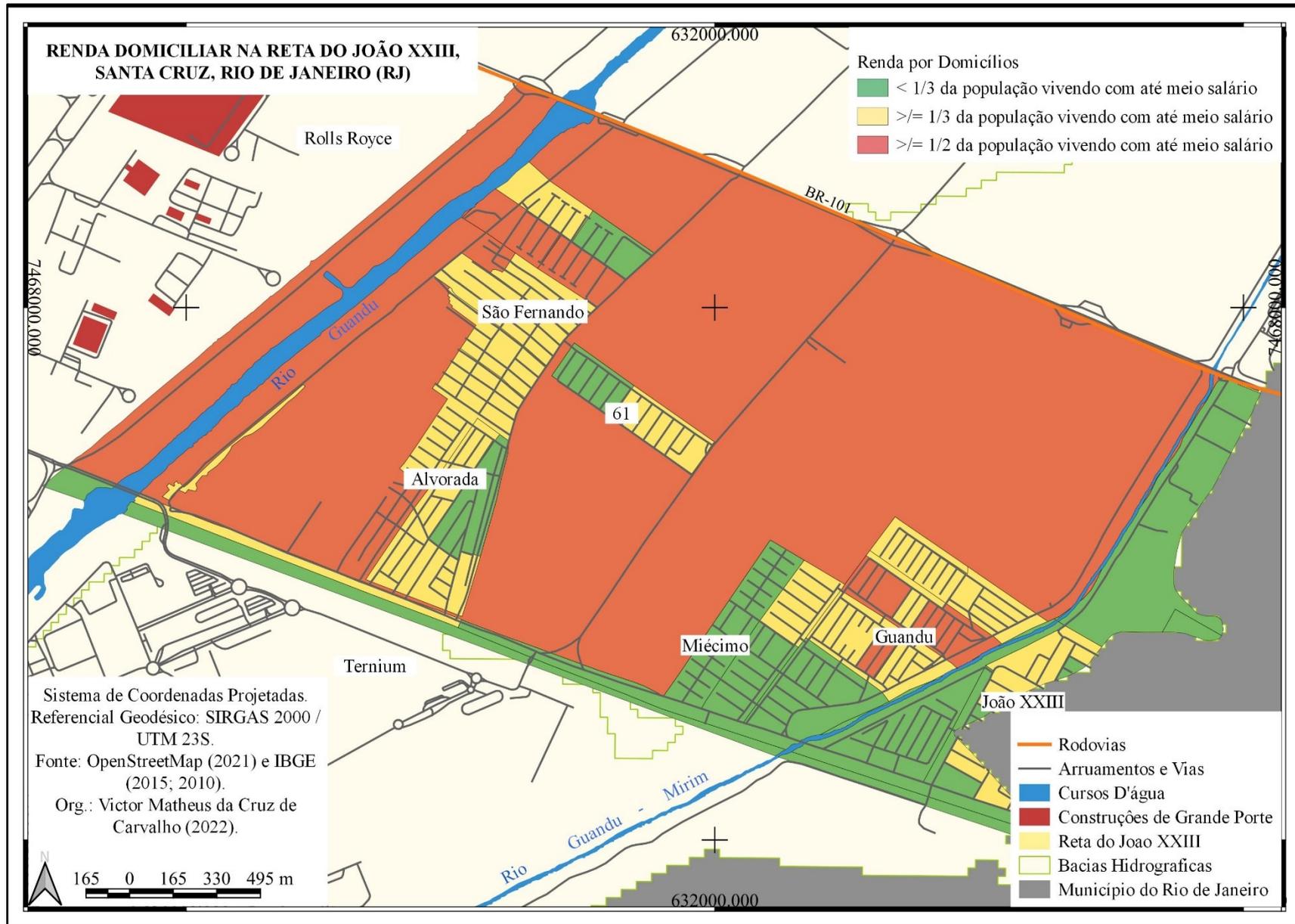
Tabela 13 – Atribuição de valores às classes de Renda Domiciliar (per capita) 2010.

Classes	Valor
$\geq 1/2$ da população vivendo com até meio salário	1
$\geq 1/3$ da população vivendo com até meio salário	0,6
$< 1/3$ da população vivendo com até meio salário	0,3

Fonte: O autor (2023).

Esse mapa de renda domiciliar apresenta informações interessantes sobre a configuração social existente na Reta do João XXIII. Uma das principais características identificáveis de pessoas vulneráveis é a baixa renda, e de acordo com a representação da Figura 19, observa-se que em determinadas áreas, a metade ou mais que a metade da população residente vive com até meio salário mínimo, isso de acordo com o último censo realizado (IBGE, 2010). O perigo das inundações, embora possa afetar negativamente toda uma população residente em uma determinada área, vai impactar ainda mais as pessoas com baixa renda, dando como exemplo a dificuldade dessas pessoas teriam para recuperar os bens materiais, após a ocorrência do fenômeno.

Figura 19 – Renda domiciliar na Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

Por último, o mapa de influência das marés foi reclassificado de acordo com a área de suscetibilidade de inundação devido a preia-mar de 2,00 metros. Desde modo, das duas classes existentes, a de áreas suscetíveis a inundação por maré oceânica teve atribuição de nota máxima (1), enquanto que a segunda classe, das áreas não suscetíveis à inundação por maré oceânica, teve atribuição de nota 0,3, conforme a Tabela 14.

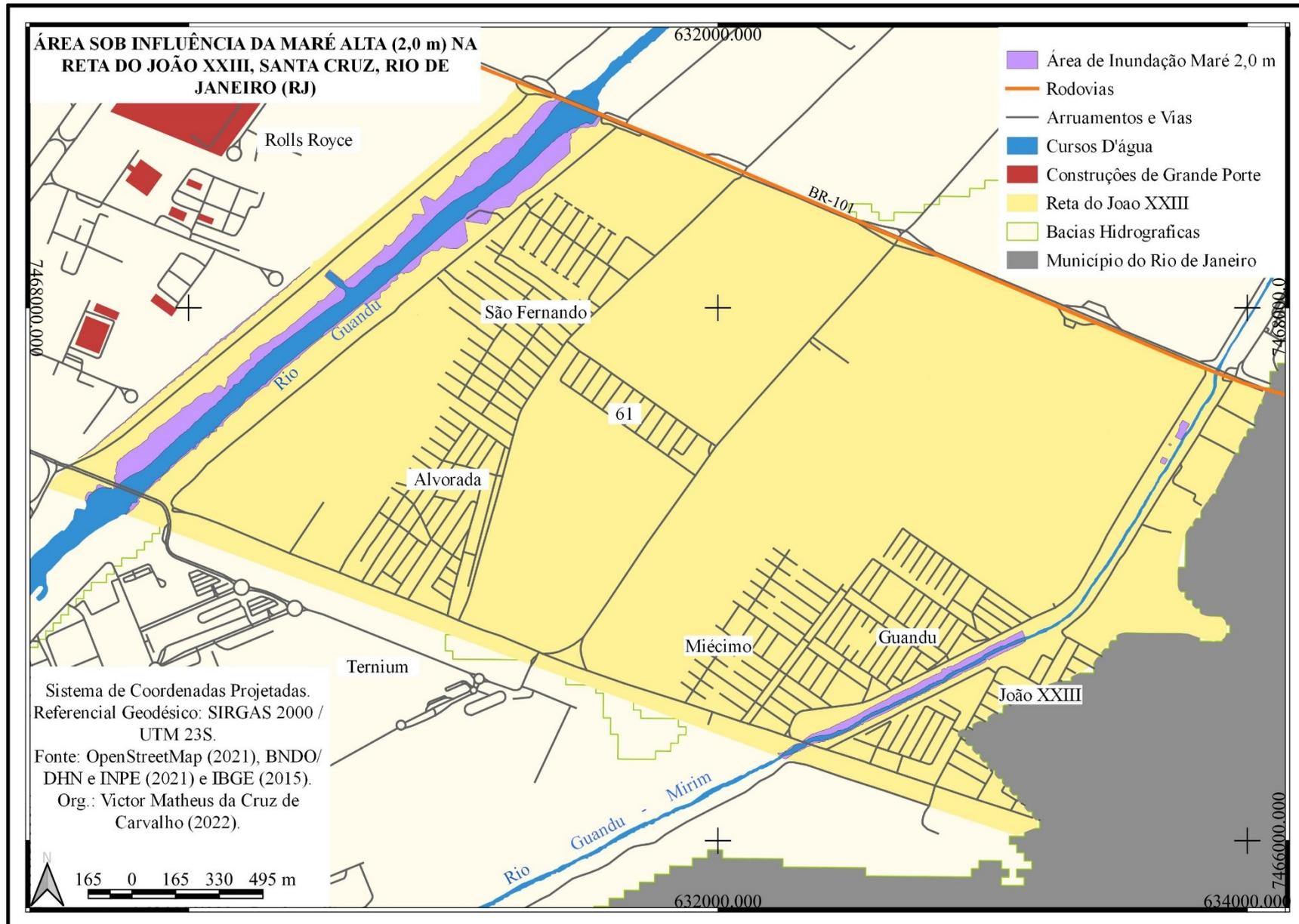
Tabela 14 – Atribuição de valores às classes de Áreas Suscetíveis à Inundação por Maré Oceânica (per capita) 2010.

Classes	Valor
Áreas suscetíveis à inundação por maré oceânica	1
Áreas não suscetíveis à inundação por maré oceânica	0,3

Fonte: O autor (2023).

Deste modo, no mapa de influência de influência da maré estão representadas as áreas suscetíveis à inundação por influência das marés oceânicas. Para a elaboração desse mapa, foi considerado o maior pico alcançado das marés oceânicas nestes dois anos averiguados (2019 e 2020), ou seja, preia-mar de 2,00 m de altura. Com base nestas informações, calculou-se a área de influência da preia-mar na Reta do João XXIII, cuja abrangência foi representada pelas manchas com coloração roxa. Ou seja, numa configuração de altura de maré de 2,00 m, as áreas mais afetadas são o entorno das margens do Rio Guandu, principalmente na margem ocidental, enquanto que no Rio Guandu-Mirim, a abrangência da maré foi destacada no entorno das margens na porção mais ao Sul como está representado na Figura 20.

Figura 20 – Mapa de influência de pico de maré alta (2,00 m) na Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

Da mesma forma que foi feito o mapa de suscetibilidade à inundação nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim, o mapa de risco à inundação também foi realizado conforme os procedimentos da Análise Multicritério Espacial através do método AHP. Assim, já tendo os critérios globais sido reclassificados com nova atribuição de valores, buscou-se utilizar a escala de ordem de importância de Saaty (1977) para definir a hierarquia entre os fatores.

Então, deu-se início a criação da matriz de comparação pareada, delimitando os graus de importância entre um critério global e outro. É possível visualizar na Tabela 15 a estruturação dessa matriz.

Tabela 15 – Matriz de comparação pareada.

Crítérios	Declividade	Altitude	Uso da Terra	Renda	Maré
Declividade	1	2	3	4	5
Altitude	1/2	1	2	3	4
Uso da Terra	1/3	1/2	1	2	3
Renda	1/4	1/3	1/2	1	2
Maré	1/5	1/4	1/3	1/2	1

Org.: O autor (2023).

Após a realização da matriz de comparação, também foi feita a soma individual de cada linha da matriz, seguido pela sua divisão pelo total encontrado da soma de todas as linhas, encontrando então o autovetor. Para a declividade o autovetor foi de 0,388, para altitude 0,271, para o uso da terra 0,177, para renda 0,106 e para maré 0,059.

Para se averiguar a confiabilidade dos procedimentos realizados para encontrar os autovetores, deve-se calcular a RC dos dados. Assim, calculou-se o valor dos produtos vetoriais de cada linha, o Lambda Máximo (λ_{max}), chegando enfim a calcular o IC que apresentou valor de $\pm 0,023$. Com o valor do IC e do IR (1,11), calculou-se então a RC, encontrando o valor de $\pm 0,020$, ou seja, dentro dos parâmetros de confiabilidade.

Passados os procedimentos da ponderação de critérios, comparação pareada e geração dos autovetores, o próximo passo se deu para a geração do produto final. Na calculadora raster foi utilizada a seguinte fórmula, onde M = Mapa Final, W = Autovetor, D = Declividade, A = Altitude, U = Uso da Terra, R = Renda, O = Maré.

$$M = (W * D) + (W * A) + (W * U) + (W * R) + (W * O) \quad (5)$$

3.1.6 Análise dos resultados obtidos

Por fim, a sétima e última etapa, análise dos resultados obtidos, foi baseada na interpretação e correlação dos dados já processados. É neste momento que se abre espaço para discutir os indicadores e tendências e sobre o evento das inundações, especificamente nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim, bem como analisar as características da área de pesquisa sob a ótica dos mapas de suscetibilidade e risco à inundação. Para este momento final, é importante abordar, a relação entre os eventos extremos de precipitação com os processos de inundação nas bacias estudadas, bem como identificar o grau de interferência do regime de maré oceânica ao barrar o fluxo hídrico dos cursos d'água à jusante e, não menos importante, citar os desafios impostos à população residente nas áreas mais críticas.

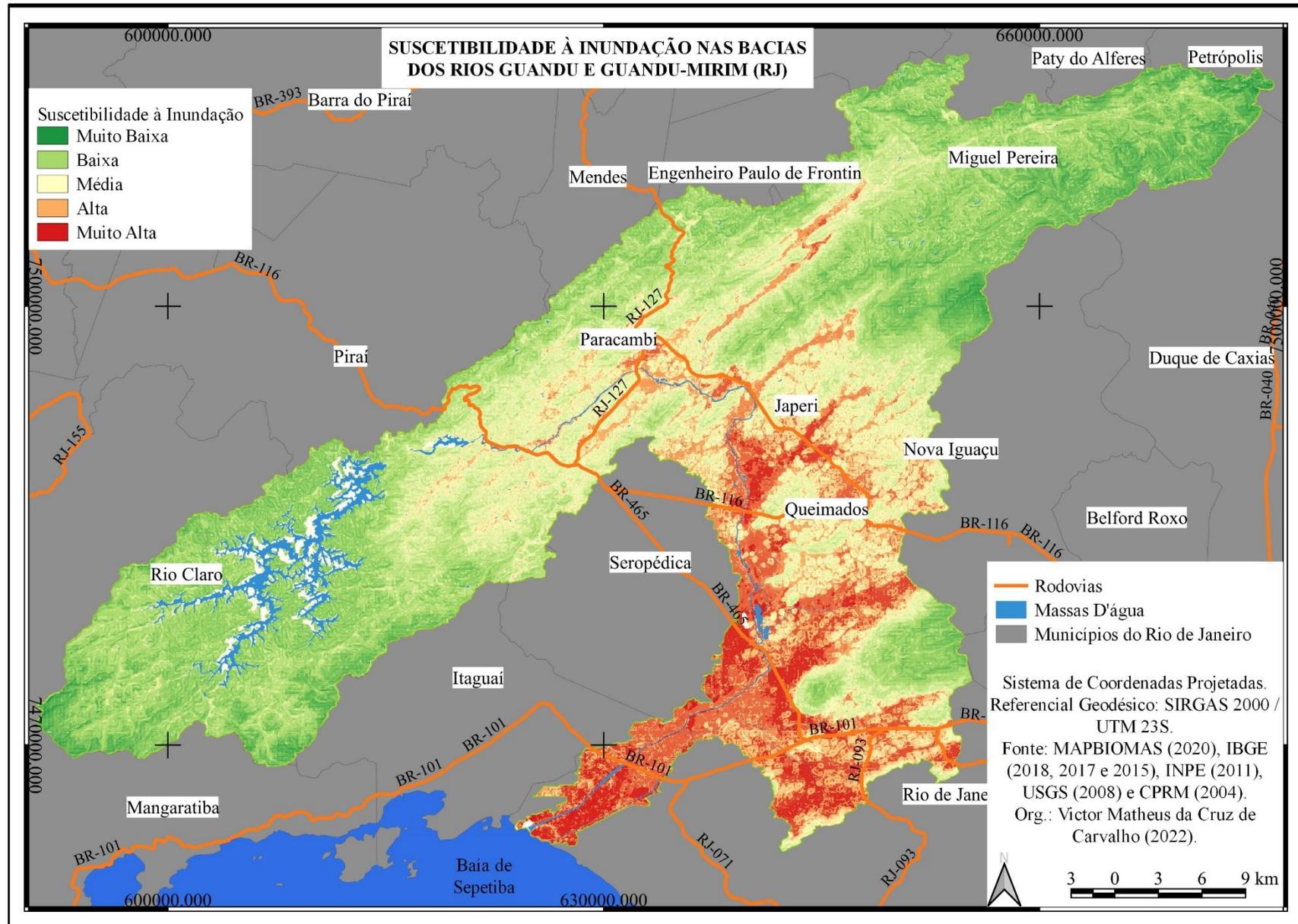
4. RESULTADOS

4.1 Suscetibilidade à inundação nas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim

De acordo com os procedimentos descritos, foi gerado o mapa de suscetibilidade à inundação das bacias dos rios Guandu e Guandu Mirim. Ao observar o mapa, pode-se notar que a representação das áreas suscetíveis à inundação está classificada em 5 tipos, sendo elas muito baixa (verde escuro), baixa (verde), média (amarela), alta (laranja) e muito alta (vermelho). Com o mapa à mostra, compreende-se toda a conjuntura existente nas bacias para a formação das inundações. As suspeitas em relação as características das bacias, como as áreas de baixa altitude, baixa declividade, solos mal drenados e áreas de acumulação parecem realmente ter culminado em um ponto.

As áreas próximas aos rios Guandu e Guandu-Mirim são naturalmente mais suscetíveis à ocorrências de inundações. A soma de todos os fatores contabilizados e elencados de forma hierárquica, demonstraram visualmente através deste mapa da Figura 21, que as áreas suscetíveis à inundação são bem vastas, e encobrem praticamente quase todas as regiões próximas aos rios e nas baixas bacias. Em contrapartida, as regiões que possuem menor suscetibilidade à inundação, são aquelas em regiões mais elevadas, próximas ou nas cabeceiras de drenagem.

Figura 21 – Mapa de suscetibilidade à inunda o das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

Devido à sua extensão, as áreas mais suscetíveis a inundação na bacia do Rio Guandu são melhor distribuídas em comparação com a bacia do Rio Guandu-Mirim que com exceção das áreas mais elevadas da Serra do Mendanha, está encoberto por áreas com suscetibilidade alta, ou muito alta.

Agora que já se está em posse das informações espaciais pertinentes aos locais propícios a inundação, pode-se afirmar que a região da Reta do João XXIII está localizada em uma área com suscetibilidade muito alta à inundação. Somando-se todos os fatores já destacados como, solo, altitude, declividade, entre outros, já se imaginava que esta região deveria ter todas as condições para facilitar a ocorrência de inundações.

Diante do exposto, a partir de produtos cartográficos como este, que exemplificam ao leitor a dimensão de um determinado problema, espera-se que tais informações possam ajudar autoridades locais a compreender a conjuntura em que se encontra a região da Reta do João XXIII e tomar as devidas medidas necessárias para se fazer um devido planejamento de prevenção e/ou mitigação dos impactos da inundação. O entendimento da situação em que se encontra a área de pesquisa por parte dos moradores, também é de suma importância para que tanto as autoridades quanto a parte mais envolvida (os próprios moradores) possam tomar decisões juntos.

4.2 Trabalho de campo

Já tendo sido investigado as bacias hidrográficas em sua escala de análise, agora o trabalho se foca na Reta do João XXIII, iniciando as análises através dos dados coletados em campo. Durante esse estágio da pesquisa, priorizou-se adquirir mais dados sobre os rios Guandu e Guandu-Mirim. O primeiro rio observado foi o Guandu-Mirim.

Como pode ser observado na Figura 22, o Rio Guandu-Mirim possui um trajeto praticamente retilíneo, bem como o Rio Guandu, caso que se deve pelas obras de dragagem e retificação realizadas. Além disso, embora não seja possível visualizar nas imagens devido a densa vegetação arbórea, o rio apresenta diques artificiais em suas margens. O transporte de carga em suspensão é bem evidente, fazendo com que a água tenha uma cor barrenta, principalmente quando a vazão é maior. Durante as cheias, o nível da água ultrapassa a altura do terreno da margem à esquerda da fotografia, tendo seu fluxo contido pelos diques logo abaixo das árvores à direita e esquerda.

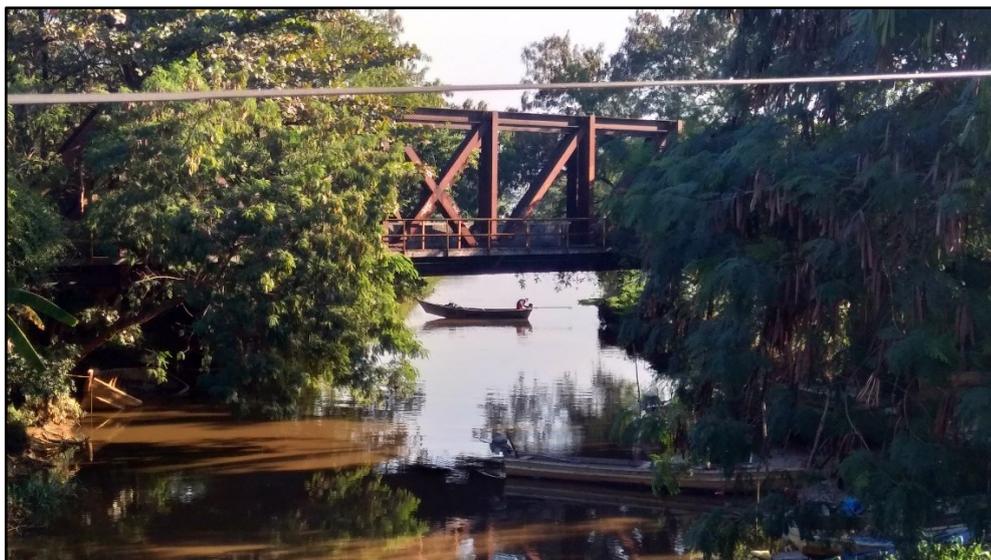
Figura 22 – Curso do Rio Guandu-Mirim com vista para montante.



Fonte: O autor (2023).

Ao longo deste rio, bem como no Rio Guandu, é muito comum avistar moradias de comunidades ribeirinhas, formadas por pescadores que se dedicam à pesca artesanal nas fozes dos rios e principalmente na Baía de Sepetiba. Os moradores possuem casas bem próximas as margens dos rios com seus barcos de pesca, como é possível observar na Figura 23 onde estão “estacionados” alguns barcos na margem direita, enquanto um pescador manobra seu barco ao fundo.

Figura 23 – Comunidades ribeirinhas às margens do Rio Guandu-Mirim.



Fonte: O autor (2023).

Pode-se inferir que esses moradores são muito vulneráveis aos problemas oriundos dos rios, pois além de estarem muito próximo as margens, também possuem maior probabilidade de terem baixa renda. Vale destacar que a área de ocupação ribeirinha se dá mais na porção sul da Reta do João XXIII, mais concentrada próximo à Avenida João XXIII, enquanto que as áreas mais ao norte sofrem menos com a ocupação, como é o que retrata a Figura 24. Destaca-se que essa forma de ocupação ribeirinha é diferente da que ocorre no Rio Guandu.

Figura 24 – Leito do Rio Guandu-Mirim com vista para jusante.



Fonte: O autor (2023).

Após averiguar as características do Rio Guandu-Mirim, a investigação se focou nos registros de informações sobre o Rio. Conforme apresentado na Figura 25, o Rio Guandu é comparativamente maior em largura do que o Rio Guandu-Mirim. É um rio mais caudaloso, principalmente nos períodos de chuva. Como é possível observar na imagem, em alguns trechos do curso do Guandu, surgem “braços” ou canais adjacentes e paralelos devido ao forte processo erosivo e deposicional de materiais. Vale lembrar que antes de ser dragado e retificado, o Rio Guandu possuía uma trajetória meandrante.

Atualmente, mesmo não existindo nenhuma grandiosa obra de dragagem e retificação, este rio ainda sofre algumas transformações devido aos empreendimentos industriais próximos, que costumam captar parte de suas águas e alterando as características da calha do rio.

Figura 25 – Leito do Rio Guandu com vista para montante.



Fonte: O autor (2023).

Ao contrário do Rio Guandu-Mirim, que concentra a ocupação de ribeirinhos próximo à Avenida João XXIII, o mesmo não acontece no Rio Guandu que possui ocupação dessas comunidades em ambas as margens, por todo esse trecho compreendido pela área de pesquisa. A Figura 26 mostra algumas dessas moradias ribeirinhas com seus barcos pesqueiros. O fato de o Rio Guandu ser mais largo e mais profundo é um facilitador para embarcações, ainda mais para os pescadores, considerando a atratividade do local pela diversidade de espécies de peixes.

Figura 26 – Comunidade ribeirinhas às margens do Rio Guandu.



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 27, nota-se a extensão do Rio Guandu em direção à sua foz na Baía de Sepetiba, apresentando em segundo plano à margem esquerda as torres de alta tensão que se originam mais a jusante na Usina Termelétrica de Santa Cruz, e em terceiro plano ao fundo, estão as construções de uma usina siderúrgica da companhia Ternium.

Figura 27 – Leito do Rio Guandu com vista para jusante.



Fonte: O autor (2023).

Entre as várias obras realizadas para garantir a “salubridade” da região, também constam a abertura de canais e valas secundárias para auxiliar no escoamento das chuvas. Um desses canais é o do Miécimo, que passa entre esse sub-bairro de mesmo nome e o sub-bairro do Guandu, conforme é apresentado na Figura 28. Nota-se que é um canal de baixa vazão e que possui vultuosos volumes de vegetação, aparentando não ser limpo/desobstruído há algum tempo.

Assim como o Canal do Miécimo, o Canal de São Fernando, como também pode ser visto na Figura 28, foi criado com a mesma função. Possui baixa vazão de água e também necessita de limpeza/manutenção. Observa-se a presença de residências próximas a este canal, o que pode se configurar num risco da população a desastres hidrológicos. Vale salientar que, essas valas, além de receberem fluxo da drenagem de águas pluviais, também recebem fluxo de esgoto doméstico das áreas urbanas adjacentes, uma vez que não existe sistema de tratamento de esgoto na região, sendo então canalizado por tubulações e lançados nos canais.

Figura 28 – Canal do Miécimo e Canal de São Fernando.



Fonte: O autor (2023).

A maior parte desses canais estão em mau estado de conservação, o que pode ocasionar acúmulo de sujeiras e detritos, já que recebem esgoto, além de proliferação de algas e outras vegetações e também deposição de sedimentos, o que pode comprometer a funcionalidade de escoamento dos canais. Pesquisas indicam que a dragagem e abertura de novos canais, além de prejudicarem o meio ambiente, também possuem vida útil e resolvem o problema da drenagem durante um período específico, demandando muitos recursos para conservação (COSTA & TEUBER, 2001).

É importante destacar que foi averiguado que as áreas mais baixas na Reta do João XXIII (0,56 – 2,00 m), são ocupadas por áreas de atividade rural. Nesses locais, evidencia-se a proeminência da cocoicultura, atividade ligada ao cultivo de coqueiros e extração de coco. A cocoicultura apresentada na Figura 29 está localizada num dos terrenos de baixa altitude ao norte do sub-bairro de São Fernando.

Figura 29 – Cocoicultura e Mandiocultura na Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023).

Em outra área de baixa altitude, ao norte do sub-bairro Guandu, encontram-se alguns terrenos de sítios dedicados ao cultivo de mandioca, ainda conforme a Figura 29. Esta cultura utiliza um sistema de valas de irrigação, o que pode evidenciar um aproveitamento da retenção de água nesses terrenos mais baixos. Dentre as atividades rurais existentes, o predomínio na área de pesquisa é realmente dos cultivos de mandioca e cocoicultura.

Considerando os eventos de inundação com o fator da baixa altitude dos terrenos, pode-se inferir que as áreas rurais são as mais suscetíveis a esses fenômenos, e que, embora as inundações possam causar prejuízos aos produtores rurais, o impacto negativo poderia ser maior se esses terrenos mais baixos fossem ocupados pela impermeabilização da área urbana, onde a densidade demográfica é maior.

Destaca-se que em comparação à área rural, os terrenos ocupados pela malha urbana são ligeiramente mais altos, o que pode evidenciar modificações topográficas feitas pelo homem para a ocupação residencial.

4.3 Risco à inundação na Reta do João XXIII

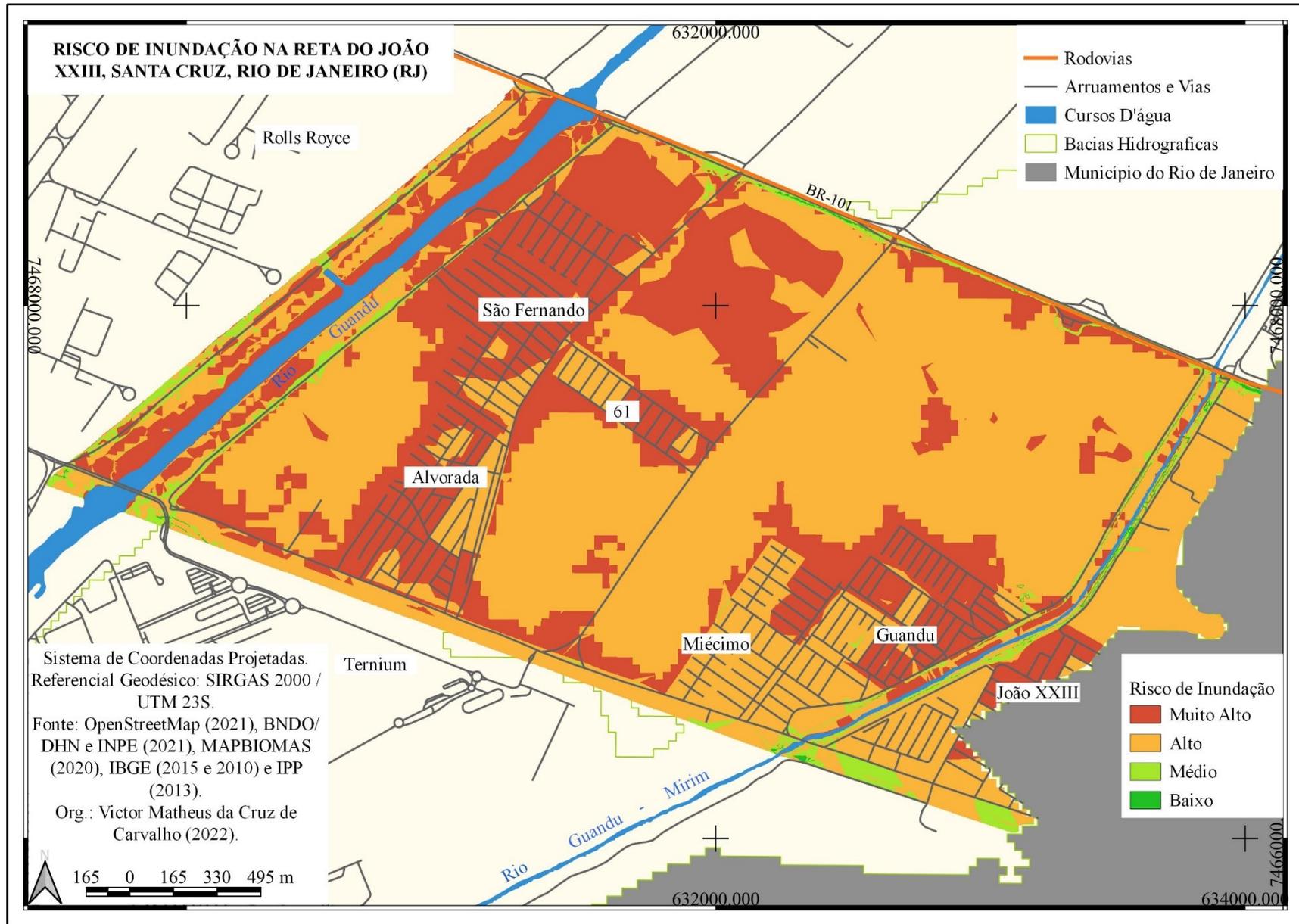
De acordo com os procedimentos já apresentados foi elaborado o mapa de risco à inundação na Reta do João XXIII. De acordo com o que pode ser observado no produto cartográfico, foram geradas quatro classes de risco à inundação, sendo o baixo (verde), o médio (verde claro), o alto (laranja) e o muito alto (vermelho). Logo de início, pode-se perceber que o mapa está quase dominado pelas classes de risco alto e muito alto, o que dá uma melhor noção sobre a gravidade do problema estudado. As poucas áreas correspondentes às classes de risco

médio e baixo estão concentradas nas áreas mais elevadas, caso que demonstra que o grau de importância dado aos critérios de declividade e altitude.

Também é importante apontar para o fato de que as áreas urbanas foram quase que completamente zoneadas como áreas de risco de inundação, evidenciando que boa parte da população pode estar vulnerável ao perigo desses fenômenos, principalmente os moradores dos sub-bairros de São Fernando, Alvorada e Guandu, além das áreas rurais ao norte de São Fernando e 61. Não à toa, já houve muitos relatos de problemas de inundação no sub-bairro de São Fernando, que há alguns anos necessitou de obras de melhorias no sistema de drenagem local.

Outra área em destaque na Figura 30 como sendo de risco muito alto, são as margens do Rio Guandu, que se deve principalmente à combinação multicritério de diversos fatores que culminaram com a proximidade do curso d'água. Além de ser a área que mais recebe influência da amplitude das marés oceânicas, também abriga moradores em condições ribeirinhas, com casas bem próximas ao curso d'água, conforme já demonstrado através das imagens da reambulação. A condição de vulnerabilidade desses moradores ribeirinhos pode ser a mais crítica perante o perigo das inundações. Ao se analisar a estrutura e a história de modificação dos rios, entende-se que os diques marginais foram construídos não apenas como forma de canalizar mais rapidamente as águas dos rios para o mar, mas também como uma barreira para mitigar a propagação de inundações para muito adentro das áreas adjacentes. Em caso de inundação, em tese, essas comunidades ribeirinhas seriam as primeiras a serem afetadas.

Figura 30 – Mapa de risco à inundação na Reta do João XXIII.



Fonte: O autor (2023)

Ainda se deve considerar que, no último censo as comunidades ribeirinhas daquela área foram contabilizadas com situação de baixa renda, com mais da metade da população vivendo com até meio salário (per capita), muitos até sem renda alguma, o que reafirma a ideia de que essa população pode estar em situação de grande vulnerabilidade, ou seja, essa área se configura como sendo de risco muito alto de inundação.

Esse tipo de mapa gerado pode fornecer informações muito importantes para as autoridades competentes, a fim de tomar as medidas necessárias para combater ou minimamente mitigar o risco existente. Também é de suma importância a consciência dos moradores sobre a situação existente na região, para que eles possam ter voz ativa e exigirem maior assistência dos órgãos e autoridades locais.

Ambos os mapas de inundação e de risco contribuíram de forma significativa para se entender qual é a conjuntura existente na área de pesquisa. O mapa de suscetibilidade à inundação das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim mostrou que a região da Reta do João XXIII está inteiramente localizada em uma área de suscetibilidade muito alta à inundação. Já o mapa de risco de inundação apresentou as características locais de forma mais específica, demonstrando que a área de pesquisa é uma região com estrutura natural bastante modificada pela ação antrópica, e com abrangente exposição de pessoas ao perigo de inundações.

De modo geral, pode-se afirmar com base nos dados levantados que, as bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim possuem todas as condicionantes que propiciam a ocorrência de fenômenos de inundação, e que a região da Reta do João XXIII, além de ser impactada diretamente pelas condicionantes das bacias, também sofre influência direta das oscilações da amplitude das marés oceânicas, devido à sua localização “próxima” ao mar, nas baixas bacias exorréicas.

4.4 Análise da inundação de 2019

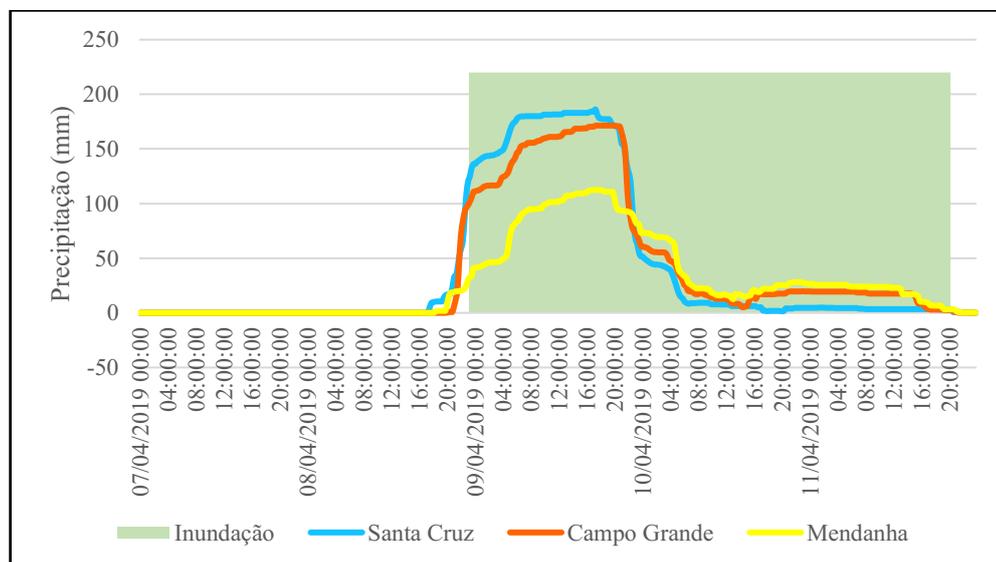
Para se compreender o desdobramento de eventos de inundação, é necessário minimamente se atentar aos dados de precipitação pluviométrica da bacia hidrográfica onde ocorreu o fenômeno. Deste modo, o devido processamento de dados pode ajudar na visualização da influência de um fator tão influente como as chuvas.

De acordo com os dados disponibilizados pelo sistema Alerta Rio (2021), as estações automáticas de Santa Cruz, Campo Grande e Avenida Brasil/Mendanha, registraram relevantes índices de precipitação acumulada dentro de 24 horas, com destaque para a estação de Santa Cruz com maior acumulado.

As chuvas que contribuíram com a inundação tiveram início às 17 horas do dia 08/04 na estação Santa Cruz, sendo seguida pela estação Av. Brasil/Mendanha às 18:15h e pela estação Campo Grande às 20 horas do mesmo dia. O maior registro de precipitação acumulada em 15 minutos se deu na estação Campo Grande com 28,6 mm (21:45h - 08/04), seguido pela estação Santa Cruz com 21,6 mm (22:30h - 08/04) e pela estação Av. Brasil/Mendanha com 10,8 mm (05:00h - 09/04).

Já quanto aos registros de precipitação acumulada em uma hora, consta em primeiro a estação Campo Grande com 70,8 mm (22:15h - 08/04), seguida pelas estações Santa Cruz e Av. Brasil/Mendanha com 61,2 mm (23:00h - 08/04) e 27,8 mm (05:30h - 09/04) respectivamente. Como já dito, o maior acumulado em 24 horas foi o da estação Santa Cruz com 186 mm (17:15h - 09/04), tendo em sequência Campo Grande com 171,4 mm (17:15h - 09/04) e Av. Brasil/Mendanha com 112,6 mm (17:45 09/04), conforme pode ser visualizado no Gráfico 01 que apresenta os registros de precipitação acumulada em 24 horas.

Gráfico 01 – Registros de precipitação acumulada em 24h próximo à área de pesquisa durante evento de inundação de 2019.



Org.: O autor (2023).
Fonte: Alerta Rio (2021).

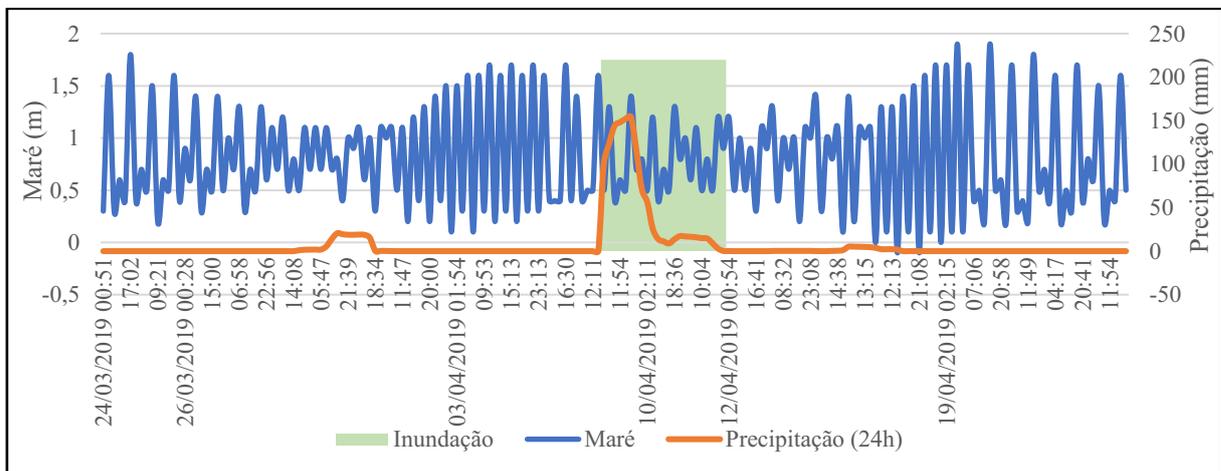
Ainda que a estação de Campo Grande tenha apresentado os aumentos mais expressivos em 15 minutos e uma hora, o acumulado do dia em Santa Cruz foi o maior de todos. Embora tenha seguido a tendência das demais, a estação Avenida Brasil/Mendanha apresentou menores índices pluviométricos.

Considerando os dados levantados, ambas estações apontam que, tanto as áreas das baixas bacias (Reta do João XXIII e estação Santa Cruz), quanto as áreas à montante das bacias contribuíram de maneira significativa no desdobramento da inundação ocorrida em 2019. O volume de água foi concentrado e intenso para o período analisado.

Por outro lado, considerando a influência das marés, de acordo com o Gráfico 02, observa-se a oscilação da maré oceânica no Porto de Itaguaí num período de 30 dias, 15 dias antes e 15 dias depois do início da inundação, bem como também apresenta a média do acumulado de precipitação em 24h das estações. Também é interessante observar que esse gráfico evidencia as marés mínimas e altas (baixa-mar e preia-mar respectivamente) dos dias.

A amplitude dos registros de mínimas e altas varia de acordo com as fases lunares, devido à maré astronômica. Destaque para o dia 20/03 (fora do gráfico) que marca a fase de Lua Cheia quando as amplitudes são maiores, sendo seguido pela Lua Quarto Minguante em 28/03 que apresenta as menores amplitudes. Essas amplitudes aumentam novamente com a chegada da Lua Nova em 05/04, e diminuem até o dia 12/04 com a Lua Quarto Crescente. O ciclo se repete com a chegada da Lua Cheia em 19/04.

Gráfico 02 – Comportamento das marés oceânicas em intervalo de 30 dias durante a inundação de 2019.



Org.: O autor (2023)

Fonte: BNDO/DHN e INPE (2021), Alerta Rio (2021).

Destaca-se o período de inundação marcado pelo aumento da precipitação no final do dia 08/04, período em que a maré estava transitando entre Lua Nova para Quarto Crescente. Do dia 08/04 ao 11/04, os picos de preia-mar foram descendo de 1,6 m, até 1,2 m, conforme a Tabela 16. Já a baixa mar ficou estabilizada em 0,4 m por todos os dias, com exceção do dia 11/04 com uma leve subida.

Tabela 16 – Amplitude da maré oceânica durante o período de inundação em 2019.

Tipos de marés	Nível das marés (m)			
	08/04	09/04	10/04	11/04
Preia-mar	1,6	1,4	1,3	1,2
Baixa-mar	0,4	0,4	0,4	0,5
Amplitude	1,2	1,0	0,9	0,7

Org.: O autor (2023).

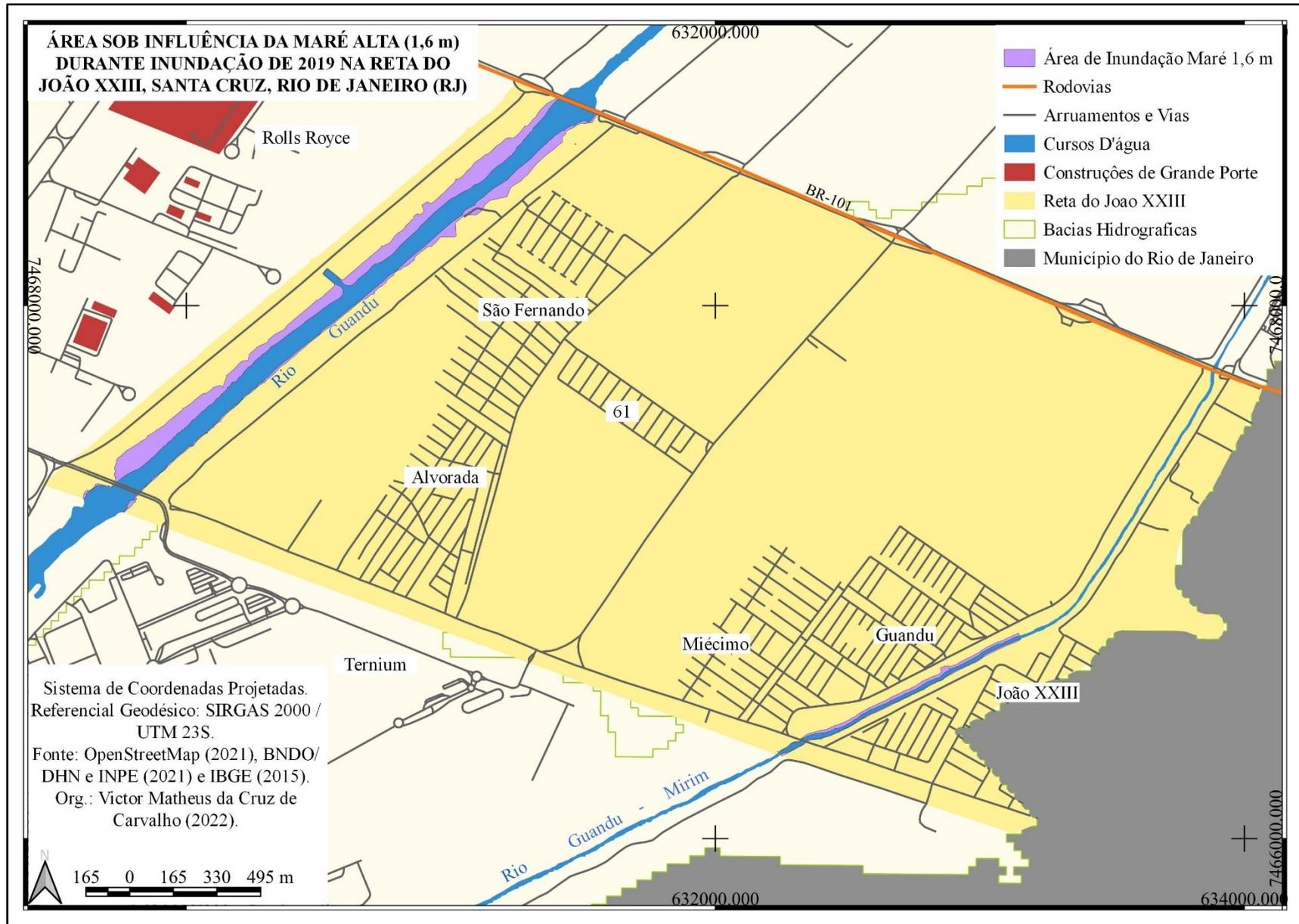
Fonte: BNDO/DHN e INPE (2021).

Visualizando as informações apresentadas, pode-se inferir que o escoamento das águas da inundação pode ter se acelerado com a diminuição da amplitude da maré oceânica, que no início do período analisado, ainda tinha a preia-mar em nível elevado.

Ainda em relação à influência da maré oceânica, foi elaborado um mapa que detalha espacialmente o alcance da preia-mar de 1,6 que ocorreu no primeiro dia da inundação. De acordo com o produto gerado, as áreas demarcadas com a coloração roxa são de baixa altitude e facilmente inundadas pela ação da amplitude da maré oceânica.

Pode-se observar que as áreas suscetíveis à esse tipo de inundação estão localizadas por todo o prolongamento das margens do Rio Guandu, principalmente a margem oeste, enquanto que no Rio Guandu-Mirim, as áreas sob influência da preia-mar estão mais localizadas nas margens mais ao sul do curso, como mostra a Figura 31. Observando a elevação do nível da água dos rios com este tipo de preia-mar em atuação, considera-se que durante o evento de chuva extrema ocorrido em 2019 a maré teve atuação determinante para a ocorrência das inundações por interferir no fluxo de descarga dos rios.

Figura 31 – Mapa de influência da maré alta (1,6 m) durante o evento de inundação em 2019 na Reta do João XXIII, Santa Cruz, Rio de Janeiro (RJ).



Fonte: O autor (2023).

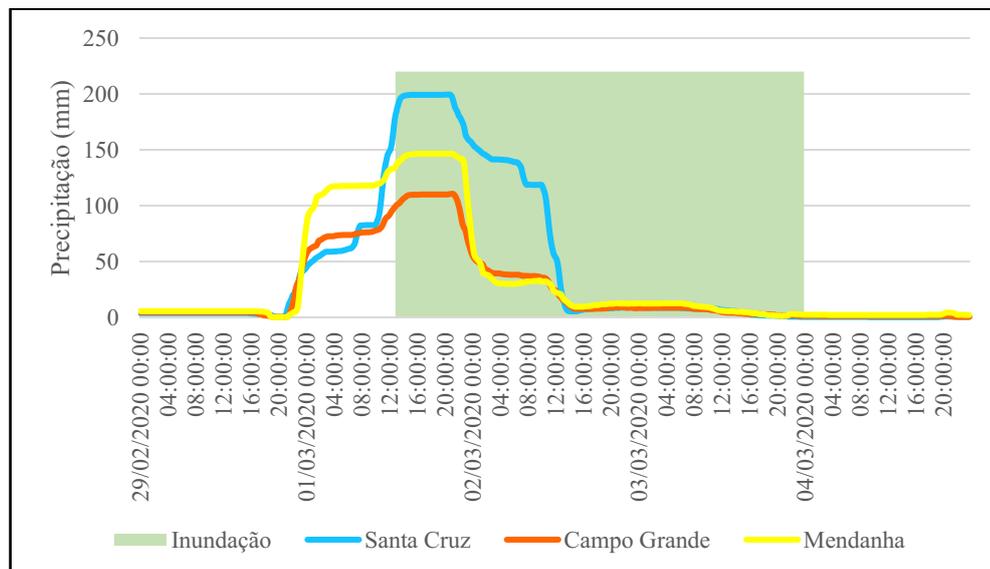
4.5 Análise da inundação de 2020

Para compreender o processo de inundação ocorrido em março de 2020, também foram utilizados dados provenientes do sistema Alerta Rio (2021) sobre precipitação acumulada nas estações de Santa Cruz, Campo Grande e Avenida Brasil/Mendanha, durante o evento de inundação.

As chuvas que propagaram a inundação em março se iniciaram às 21 horas do dia 29 de fevereiro na estação Santa Cruz, sendo seguida pela estação Campo Grande e Av. Brasil/Mendanha, ambas às 21 horas e 15 minutos. O maior registro de chuva acumulada em 15 minutos foi obtido na estação Av. Brasil/Mendanha com 17,6 mm (23:15h - 29/02), seguida pela estação Santa Cruz com 13,2 mm (12:45h - 01/03) e pela estação Campo Grande com 8,4 mm (22:30h - 29/02).

Já sobre precipitação acumulada em uma hora, o maior registro também foi na estação Av. Brasil/Mendanha com 61,4 mm (23:45h - 29/02), seguido pelas estações Santa Cruz e Campo Grande com 47,4 mm (11:30h - 01/03) e 25,2 mm (22:45h - 29/02) respectivamente. E por fim, o principal registro de precipitação em 24 horas foi feito na estação Santa Cruz com quase 200 mm em apenas um dia (199,4 mm às 20:00h - 01/03), enquanto que o segundo maior registro foi computado na estação Av. Brasil/Mendanha com 146,4 mm (16:00h - 01/03) e o terceiro na estação Campo Grande com 110,6 mm (21:00h - 01/03), como é possível observar através do Gráfico 03.

Gráfico 03 – Registros de precipitação próximos a área de pesquisa no evento de inundação de 2020.



Org.: O autor (2023).
Fonte: Alerta Rio (2021).

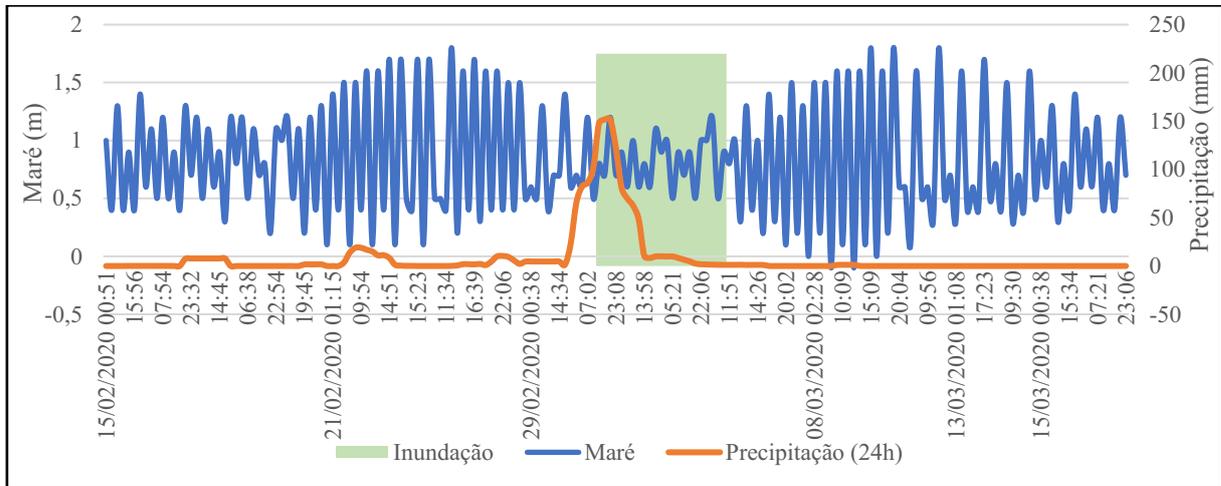
Ressalta-se que diferentemente do evento de 2019, os dados das estações automáticas evidenciam duas fortes ondas de registro de chuva na região, com a primeira se iniciando no fim da noite do dia 29 de fevereiro e a segunda no início da tarde. Novamente, a estação Santa Cruz alcançou o maior acumulado em um dia durante o evento, mesmo que as chuvas mais fortes (precipitação em 15 minutos e uma hora) tenham sido registradas na estação Avenida Brasil/Mendanha.

Assim como na ocorrência de 2019, o fenômeno de inundação em 2020 teve registros de chuva extrema por distintas áreas das bacias hidrográficas, tanto nas baixas bacias quanto nas áreas de cabeceira, fato que pode influenciar fortemente nos desdobramentos das inundações nas áreas próximas às fozes, como o caso da área de pesquisa da Reta do João XXIII.

Neste momento, faz-se necessário compreender o comportamento das marés durante a ocorrência da inundação de 2020. Portanto, de acordo com o exposto no Gráfico 04, observa-se a oscilação da maré oceânica também num período de 30 dias (15 antes e 15 após o início da inundação) de acordo com o mesmo nível de referência local do Porto de Itaguaí, apontando as máximas e mínimas dos dias (preia-mar e baixa mar respectivamente).

Este gráfico também evidencia a amplitude da maré de acordo com as fases lunares e a média do acumulado de precipitação em 24h das estações. Portanto, destaca-se o início do período de Lua Quarto Minguante em 15/02 com baixa amplitude, transitando para o período de Lua Nova em 23/02 com maior oscilação entre as mínimas e máximas. Em sequência, no dia 02/03 inicia a fase de Lua Quarto Crescente, novamente com baixa amplitude, e finalizando o ciclo, as grandes oscilações entre preia-mar e baixa-mar durante a fase de Lua Cheia em 09 de março.

Gráfico 04 – Comportamento das marés oceânicas em intervalo de 30 dias durante a inundação de 2020.



Org.: O autor (2023)

Fonte: BNDO/DHN e INPE (2021), Alerta Rio (2021).

Ressalta-se que, de acordo com a Tabela 17, pode-se observar que a amplitude da maré oceânica é menor que a de 2019, principalmente devido ao dia 02/03 marcar a fase Quarto Crescente, com apenas 0,5 m de diferença entre a preia-mar e baixa-mar. Os maiores índices de preia-mar são dos dias 01/03 e 04/03. Embora durante o período de inundação de 2019 tenha sido fácil visualizar a tendência de queda da preia-mar, durante o evento de 2020 isso não ocorre, inicia-se uma trajetória descendente e, logo depois, uma trajetória ascendente, não sendo possível inferir o papel da maré oceânica no barramento de fluxo das águas durante a inundação.

Tabela 17 – Amplitude da maré oceânica durante o período de inundação em 2020.

Tipos de marés	Nível das marés (m)			
	01/03	02/03	03/03	04/03
Preia-mar	1,2	1,1	1,0	1,2
Baixa-mar	0,5	0,6	0,5	0,3
Amplitude	0,7	0,5	0,5	0,9

Org.: O autor (2023)

Fonte: BNDO/DHN e INPE (2021).

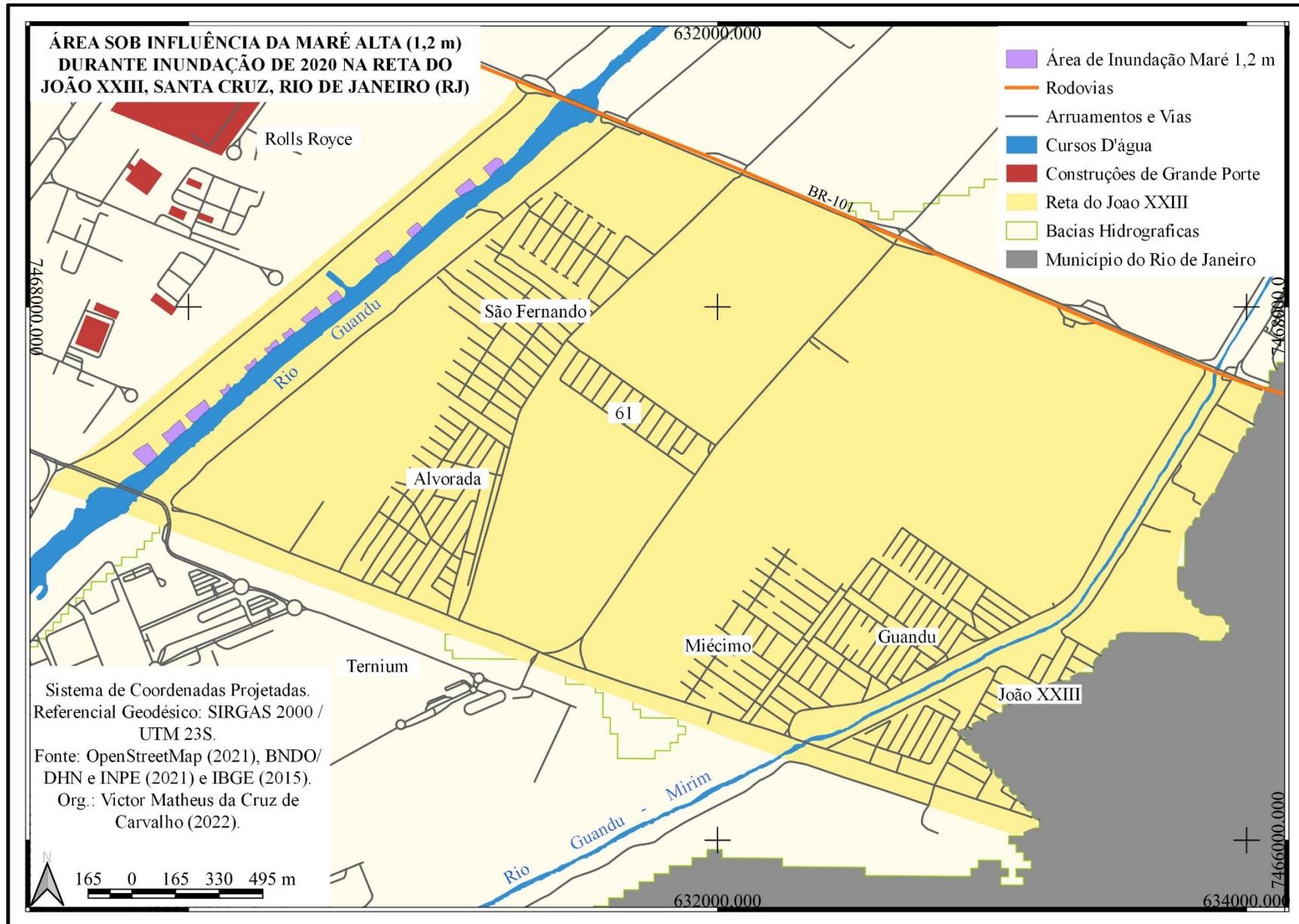
Também sobre a oscilação da maré oceânica, da mesma forma que o evento de 2019, também foi elaborado um mapa detalhando as áreas sob influência da preia-mar de 1,2 m que ocorreu no primeiro e último dia da inundação.

Diferentemente do que ocorreu no ano anterior, durante o evento de inundação de 2020, a amplitude da maré oceânica foi bem menor, com picos bem abaixo dos que estavam ocorrendo em 2019. Ao analisar o mapa, pode-se notar que as áreas demarcadas com coloração roxa são bem poucas. Ou seja, nesse nível de preia-mar, somente as áreas mais baixas, nas margens ocidentais do Rio Guandu, é que podem sofrer algum tipo de inundação devido à maré oceânica. No Rio Guandu-Mirim não se tem sinal de nenhuma área sob influência de uma maré alta de 1,2 m.

Neste tipo de situação, como exemplificada na Figura 32, é mais difícil poder constatar que possa ter ocorrido algum tipo de interferência no fluxo dos rios. Embora exista uma maré oceânica atuante, é mais improvável que ela sofra algum tipo de barramento nessa região, talvez apenas nas áreas mais próximas à Baía de Sepetiba.

De certa forma, com os dados até então apresentados, o que se pode concluir é que os eventos de chuva extrema, aliados as características condicionantes existentes nessas bacias exorréicas, podem ser os fatores mais relevantes a se considerar para o evento ocorrido em 2020.

Figura 32 – Mapa de influência da maré alta (1,2 m) durante o evento de inundação em 2020 na Reta do João XXIII, Santa Cruz, Rio de Janeiro (RJ).



Fonte: O autor (2023).

4.6 Considerações sobre o regime pluviométrico da região

Sobre os regimes de precipitação na região, observa-se a importância de fazer alguns apontamentos sobre dados básicos do regime pluviométrico. Estes dados são apresentados com base na série histórica do sistema Alerta Rio, iniciado em 1996. Portanto, de acordo com dados do sistema Alerta Rio (2022), dentre os dez maiores registros de precipitação acumulada em uma hora (mm/h), a maioria são dos últimos sete anos (considerando o ano atual de 2022), sendo duas em 2016, quatro em 2018 e uma em 2022. Os restantes são um registro em 2000, outro em 2006 e mais um em 2011, conforme o Quadro 11.

Quadro 11 – As dez maiores precipitações pluviométricas em uma hora no município do Rio de Janeiro.

Estação	mm/h	Data	Horário de registro
Guaratiba	125,6	31/03/2022	23:15
Barra/Riocentro	123,2	14/02/2018	23:45
Campo Grande	116,2	19/03/2000	00:08
Jacarepaguá/Cidade de Deus	109,6	15/02/2018	00:00
Piedade	106,6	15/02/2018	00:00
Vidigal	106,4	12/03/2016	20:15
Rocinha	105,2	12/03/2016	20:15
Sumaré	103,4	11/06/2006	23:50
Est. Grajaú/Jacarepaguá	99,8	15/02/2018	00:00
Tijuca/Muda	97,8	25/04/2011	22:00

Org.: O autor, adaptado de Alerta Rio (2023).
Fonte: Alerta Rio (2022).

Interessante analisar que sete dos dez maiores registros de precipitação em uma hora são recentes, considerando toda a série histórica do sistema. Esses dados pluviométricos podem indicar um aumento significativo do número de eventos extremos de precipitação na cidade do Rio de Janeiro nos últimos anos.

Agora em relação aos dados de precipitação acumulada em um dia (mm/24h), o sistema Alerta Rio (2022) informa que dos dez maiores registros, nove são dos últimos quatro anos (considerando o ano atual de 2022). Destaque para o ano de 2019, com oito registros, além de outro em 2022, e apenas um registro mais antigo em 2010, de acordo com o Quadro 12.

Quadro 12 – As dez maiores precipitações pluviométricas em um dia no município do Rio de Janeiro.

Estação	mm/h	Data	Horário de registro
Sumaré	360,2	06/04/2010	17:35
Rocinha	343,4	09/04/2019	15:00
Alto da Boa Vista	341,2	09/04/2019	16:15
Barra/Barrinha	335,2	09/04/2019	15:00
Jardim Botânico	334,4	09/04/2019	15:00
Copacabana	329,4	09/04/2019	15:30
Vidigal	312,2	09/04/2019	14:45
Barra/Riocentro	311,4	09/04/2019	15:00
Guaratiba	310,6	01/04/2022	20:55
Jacarepaguá/Cidade de Deus	289,6	09/04/2019	16:00

Org.: O autor, adaptado de Alerta Rio (2023).
 Fonte: Alerta Rio (2022).

É muito interessante considerar esses dados disponibilizados pelo Alerta Rio, pois dão uma noção mais ampla sobre a dinâmica pluviométrica na região. Nota-se que ambos dados de precipitação (mm/h e mm/24h) estão concentrados nos últimos anos, fato que demonstra uma tendência de aumento de registros de eventos extremos de precipitação.

Embora ainda seja necessário maior profundidade nas pesquisas, questiona-se o real motivo do aumento de chuvas extremas na região. Esses casos poderiam ter a ver com as mudanças climáticas pela qual o planeta está passando? Cientistas alertam para o aumento e agravamento desses eventos extremos devido às mudanças climáticas.

Pegando gancho nos eventos de chuva extrema na área de pesquisa, ressalta-se que o grande registro de precipitação, que ocasionou a inundação em 2019, foi preponderante para aumentar consideravelmente os índices pluviométricos para o mês de abril. Em comparação a média mensal histórica, houve aumentos da ordem de 126 % e 120 % nas estações de Campo Grande e Santa Cruz respectivamente, tendo a estação de Santa Cruz registrado o maior acumulado para abril de 2019, com mais de 230 mm conforme o Quadro 13.

Quadro 13 – Comparativo entre a média mensal pluviométrica para o mês de abril (1997-2018) e o registrado em abril de 2019.

Estações	Média mensal (mm)	Registrado no mês (mm)	Diferença percentual (%)
Santa Cruz	104,8	230,6	+120%
Campo Grande	93,3	211,2	+126%
Av. Brasil/Mendanha*	120,5	162,2	+35%

Org.: O autor, adaptado de Alerta Rio (2023).

Fonte: Alerta Rio (2022).

*Série histórica a partir de 2001.

Já para o mês de março, o alto índice de precipitação que ocasionou a inundação de 2020 teve menor impacto na média mensal histórica. Embora todas as estações tenham registrado aumento, apenas a de Santa Cruz teve um destaque maior, com aumento de 61 % acima da média, e registrando também o maior acumulado mensal, com quase 250 mm em março de 2020, conforme Quadro 14. Deve-se levar em consideração que alguns registros de precipitação acumulada de alto valor (considerando os números apresentados no Gráfico 03) ficaram de fora do registro do mês de março de 2020, devido o início da chuva ter sido registrada no fim do dia 29/02, nas estações de Campo Grande e Av. Brasil/Mendanha.

Quadro 14 – Comparativo entre a média mensal pluviométrica para o mês de março (1997-2019) e o registrado em março de 2020.

Estações	Média mensal (mm)	Registrado no mês (mm)	Diferença percentual (%)
Santa Cruz	155,3	249,6	+61%
Campo Grande	137,1	146,0	+6%
Av. Brasil/Mendanha*	143,8	150,2	+4%

Org.: O autor, adaptado de Alerta Rio (2023).

Fonte: Alerta Rio (2022).

*Série histórica a partir de 2001.

De acordo com os Quadros 11, 12, 13 e 14, entende-se que existe uma tendência de aumento dos índices pluviométricos na região. Levantam-se algumas dúvidas em relação aos dados apresentados. Questiona-se motivos que levariam ao aumento dos índices de precipitação nas estações de Santa Cruz, Campo Grande e Avenida Brasil/Mendanha, com grande concentração de chuvas e menor intervalo de tempo.

O sistema atmosférico poderia, de forma desregulada, estar concentrando as chuvas de determinado período em um curto espaço de tempo, ocasionando as chuvas extremas. No entanto, dados do Alerta Rio também apontam para um aumento gradual do índice pluviométrico nessas estações nos últimos anos (2019-2020), principalmente na estação de Santa Cruz, cujo acumulado anual tem ultrapassado consideravelmente a média histórica, chegando a 28 % de aumento em 2019. Esse aumento percentual também ocorre com as estações de Campo Grande e Av. Brasil/Mendanha em 2019 e 2020, com exceção de Campo Grande em 2020, com recuo de -0,2 %.

De modo geral, as estações da região, monitoradas pelo Alerta Rio, somam um aumento 28 % em 2019 e 19,7 % em 2020 em relação à série histórica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em mente que o planeta está passando por uma fase de mudança climática, que se acredita ser provocada pelas ações humanas, deve-se olhar com mais atenção para as questões referentes aos desastres naturais como, por exemplo, a inundação. O aumento de chuvas torrenciais em regiões tropicais pode ter impacto significativo no desdobramento desses fenômenos. O aumento do número de ocorrências, ou o aumento da intensidade das inundações pode impactar severamente as populações mais vulneráveis, que moram em áreas naturalmente suscetíveis a inundação. Além do mais, o aumento do nível do mar também está se tornando outro agravante da mudança climática, colocando em risco as populações em regiões costeiras.

Foi neste viés que esta pesquisa objetivou investigar a ocorrência de inundações na área urbana da Reta do João XXIII inserida nas baixas bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim. Esta proposta se deve justamente pela observação da ocorrência de um problema que afeta negativamente a vida dos moradores da região estudada, além da falta de assistência necessária para se entender e mitigar o impacto negativo das inundações.

Com o decorrer da investigação, pode-se preparar algumas propostas metodológicas que ajudaram a compreender a conjuntura existente na região estudada. Os dados coletados foram muito importantes para a elaboração dos mapas, tabelas e gráficos. Os processos de elaboração da base cartográfica foram uma etapa importante que evidenciaram as demais características físicas e antrópicas existentes nas bacias. Esta etapa foi fundamental para o processo de tratamento e processamento de dados, quando foi preciso utilizar o método AHP para realizar análise multicritério espacial para compreender a suscetibilidade à inundação existente nas bacias dos Rios Guandu e Guandu-Mirim, bem como saber qual o risco à inundação existente na Reta do João XXIII.

A geração do mapa de suscetibilidade à inundação das bacias dos rios Guandu e Guandu-Mirim mostrou que a região das baixas bacias está completamente representada pelas classificações de “alta” e “muito alta” suscetibilidade à inundação. Ou seja, naquela região, as bacias apresentam características físicas que propiciam a ocorrência de inundações. O cruzamento dos dados de declividade, altimetria, uso do solo, tipos de solos, rochas e relevos, apontam que a região das baixas bacias, é a mais suscetível a ocorrência de inundações durante condições ideais de precipitação.

Não somente a região das baixas bacias, como várias outras áreas apresentam suscetibilidade entre “alta” e “muito alta”, caso que demanda ainda mais estudos aprofundados nessas outras localidades e desperta um alerta para que as autoridades competentes se empenhem no seu papel de incentivar e coordenar tais estudos e viabilizar medidas mitigadoras para amparar essa região de considerável interesse público.

Já a elaboração do mapa de risco à inundação deixou bem a mostra como se mostra crítica a situação da Reta do João XXIII mediante possibilidade de uma inundação. A classificação de risco “alto” e “muito alto” tiveram a maior cobertura espacial sobre a região, demonstrando que no caso de um possível desastre, toda a Reta poderia ficar em situação crítica. O cruzamento dos dados das variáveis de declividade, altimetria, uso da terra, renda e maré oceânica foram indispensáveis para conseguir examinar com maiores detalhes os impactos que eventos de inundação podem causar na área de pesquisa.

O fator humano foi levado em consideração para a realização desse mapa de risco. A vulnerabilidade dos habitantes mediante a ocupação da área e a renda domiciliar per capita foi um dos pontos-chaves para entender como as inundações poderiam afetar negativamente as pessoas residentes. As áreas sob influência das marés oceânicas foi outro fator analisado, considerando todas as áreas inundáveis na Reta do João XXIII devido a ação da preia-mar.

Após as análises do mapa de risco, fica nítido a necessidade do amparo do poder público para investir em mais estudos sobre o fenômeno das inundações, e com isso criar propostas mitigadoras para o problema, bem como outros projetos de monitoramento, aviso e obras de infraestruturas.

Depois de compreender que a área de pesquisa é suscetível a inundações e apresenta riscos consideráveis à população residente, a investigação se voltou para as análises dos eventos que ocorreram em 2019 e 2020. Assim, ficou comprovado que houveram dois casos de eventos extremos de precipitação na maior parte das bacias exorréicas, devido ao comportamento similar dos dados apresentados pelas três estações consultadas. Ao somar essa grande quantidade de chuva em pouco tempo com as condicionantes existentes nas bacias, como

declividade, altitude, tipo de solo, entre outros, o fluxo de água que foi direcionado às baixas bacias extravasou as calhas não naturais dos rios Guandu e Guandu-Mirim, provocando transtornos à população por aproximadamente três dias seguidos.

Aponta-se que durante o evento de 2019 existia considerável atuação das marés oceânicas na região, com o pico de preia-mar com capacidade de abranger os leitos dos rios Guandu e Guandu-Mirim na região da Reta. Tal fato pode ter piorado toda a situação já provocada pela forte chuva e pelas condicionantes das bacias, diminuindo a capacidade de descarga hídrica para a Baía de Sepetiba e piorando o quadro para propagação da inundação.

No entanto, durante o evento ocorrido em 2020, os picos de preia-mar não estavam elevados como no ano anterior devido à conformidade da Maré de Quadratura. Com picos de maré mais baixos, a capacidade de incursão das águas do mar sobre os leitos dos rios foi bem menor, e quase não teve impacto sobre a região da Reta. Notavelmente, o escoamento superficial das águas dos rios Guandu e Guandu-Mirim sofreu menor capacidade de retenção da maré neste ano.

Em ambos os casos ficou nítido que houveram registros de precipitação extrema em curto intervalo de tempo em todas as estações analisadas. Esse tipo de evento aparenta estar ficando cada vez mais comum, segundo apontam os registros levantados pela pesquisa. Na cidade do Rio de Janeiro, os maiores registros de chuva extrema estão datados nos últimos anos, o que demonstra uma tendência de aumento.

Caso o aumento global das temperaturas continue, esses tipos de eventos extremos serão mais frequentes e mais severos. O aumento do nível médio do mar ainda não é um problema notável na região analisada, porém, caso siga a tendência de aumento, como em outras partes do mundo, também poderia se tornar outro agravante para a cidade do Rio de Janeiro, podendo aumentar cada vez mais a interferência das oscilações da maré oceânica sobre bacias exorréicas. Regiões como a Reta do João XXIII necessitarão cada vez mais de pesquisas, monitoramento e amparo do poder público e demais órgãos competentes, a fim de preservar a vida humana cada vez mais vulnerável em um planeta com intensa mudança climática.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, D. de & SCHUELER, A. S. de. Gestão das águas e sustentabilidade: desafios globais e respostas locais a partir do caso de Seropédica, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 17, n. 33, p. 109-126, mai. 2015. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3305>.
- ALFIERI, L.; BISSELINK, B.; DOTTORI, F.; NAUMANN, G.; ROO, A. de; SALAMON, P.; WYSER, K.; FEYEN, L. Global Projections of River Flood Risk in a Warmer World. **Earth's Future**, Hoboken - New Jersey (EUA), v. 5, n. 2, p. 171-182. 2017. <https://doi.org/10.1002/2016EF000485>.
- ALFREDINI, P., ARASAKI, E., PEZZOLI, A., ARCORACE, M., CRISTOFORI, E. & SOUSA Jr, W. C. de. Exposure of Santos Harbor Metropolitan Area (Brazil) to Wave and Storm Surge Climate Changes. **Water Qual Expo Health**, v. 6, p. 73-88, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12403-014-0109-7>.
- APOLLONIO, C., BALACCO, G., NOVELLI, A., TARANTINO, E. & PICCINNI, A. F. Land use change impact on flooding areas: the case study of Cervaro Basin (Italy). **Sustainability**, v. 8, n. 10, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8100996>.
- ARMOND, N. B. & SANT'ANNA NETO, J. L. Entre eventos e episódios: ritmo climático e excepcionalidades para uma abordagem geográfica do clima no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 20, jan./jul. 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.49792>.
- AUFFHAMMER, M. Quantifying Economic Damages from Climate Change. **Journal of Economic Perspectives**, Pittsburgh, v. 32, n. 4, p. 33-52, mar/jun 2018. <http://doi.org/10.1257/jep.32.4.33>.
- BARBIER, E. B. A global strategy for protecting vulnerable coastal populations. **Science**, v. 345, n. 6202, p. 1250-1251, setembro 2014. <https://doi.org/10.1126/science.1254629>.
- BARRET, B., CHARLES, J. W. & TEMTE, J. L. Climate change, human health, and epidemiological transition. **Preventive Medicine**, Montreal, 70, p. 69-75, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.11.013>.
- BOUDET, H., GIORDONO, L., ZANOCCO, C., SATEIN, H. & WHITLEY, H. Event attribution and partisanship shape local discussion of climate change after extreme weather. **Nature Climate Change**, London, 10, p. 69-76, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0641-3>.
- BRITO, E. G., SILVA, M. V. C. da & CRISPIM, A. B. **Climatologia**. Fortaleza: EdUEC E, 2015. 106p.
- BV AMBIENTE. **DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento**. Disponível em: <<https://www.bvambienteuerjfebf.com/copia-comissao-de-1930>>. Acesso em: junho 2022.

CAI, W., SANTOSO, A., WANG, G., WELLER, E., WWU, L., ASHOK, K., MASUMOTO, Y. & YAMAGATA, T. Increased frequency of extreme Indian Ocean Dipole events due to greenhouse warming. **Nature**, v. 510, p. 254–258, 2014. <https://doi.org/10.1038/nature13327>.

CAI, W., SANTOSO, A., WANG, G., YEH, S., AN, S., COBB, K. M., COLLINS, M., GUILYARDI, E., JIN, F., KUG, J., LENGAIGNE, M., MCPHADEN, M. J., TAKAHASHI, K., TIMMERMANN, A., VECCHI, G., WATANABE, M. & WU, L. ENSO and greenhouse warming. **Nature Climate Change**, London, v. 5, p. 849–859, 2015. <https://doi.org/10.1038/nclimate2743>.

CAZENAVE, A., DIENG, H., MEYSSIGNAC, B., SCHUCKMANN, K. von, DECHARME, B. & BERTHIER, E. The rate of sea-level rise. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 358–361, 2014. <https://doi.org/10.1038/nclimate2159>.

CHAN, F. K. S., JOON, C.C., ZIEGLER, A.D., DABROWSKI, M. & VARIS, O. Towards resilient flood risk management for Asian coastal cities: lessons learned from Hong Kong and Singapore. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 576–589, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.217>.

CHEUNG, W. W. L., FRÖLICHER, T. L., LAM, V. W. Y., OYINLOLA, M. A., REYGONDEAU, G., SUMAILA, U. R., TAI, T. C., TEH, L. C. L. & WABNITZ, C. C. C. Marine high temperature extremes amplify the impacts of climate change on fish and fisheries. **Science Advances**, Washington DC, v. 7, n. 40, p. 1 – 15, outubro 2021. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abh0895>.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 187p.

CIRINO, P. H., FÉRES, J. G., BRAGA, M. J. & REIS, E. Assessing the Impacts of ENSO-related Weather Effects on the Brazilian Agriculture. **Procedia Economics and Finance**, v. 24, p. 146-155, 2015. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00635-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00635-8).

COSTA, H. & TEUBER, W. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro – Uma Abordagem Geral**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160p.

CPRM. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5379.html>>. Acesso em: jun 2021.

CRED & UNDRR. 2020: **The non Covid year in Disasters**. Brussels: CRED, 2021, 7p.

CUNHA, A. P. M. A., ZERI, M., LEAL, K. D., COSTA, L., CUARTAS, L. A., MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., VIEIRA, R. M., BARBOSA, A. A., CUNNINGHAM, C., GARCIA, J. V. C., BROEDEL, E., ALVALÁ, R. & RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, 642, 2019. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

DAHL, K. A., FITZPATRICK, M. F. & SPANGER-SIEGFRIED, E. Sea level rise drives increased tidal flooding frequency at tide gauges along the U.S. East and Gulf Coasts:

projections for 2030 and 2045. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 12, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170949>.

DIBRARQ/Arquivo Nacional. **Fundo/Coleção 04 - Departamento Nacional de Obras de Saneamento**. Disponível em: <https://dibrarq.arquivonacional.gov.br/index.php/departamento-nacional-de-obras-de-saneamento;isad?sf_culture=es>. Acesso em junho 2022.

EGLER, C. A. G. & GUSMÃO, P. P. Gestão costeira e adaptação às mudanças climáticas: o caso da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 1, p. 65-80, 2014.

ERCC. **Western Europe – Floods and UCPM Assistance**. Disponível em: <https://ercportal.jrc.ec.europa.eu/ercmaps/ECDM_20210716_western-Europe_Floods.pdf>. Acesso em: junho 2022.

FERREIRA, Z. A. & CABRAL, P. Vertical accuracy assessment of ALOS PALSAR, GMTED2010, SRTM and Topodata digital elevation models. *IN: 7th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (GISTAM 2021)*. **Proceedings...**, p. 116-124, 2021

FORZIERI, G., DAKOS, V., MCDOWELL, N. G., RAMDANE, A. & CESCATTI, A. Emerging signals of declining forest resilience under climate change. **Nature**, julho 2022. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>.

FRANZKE, C. L. E. & SENTELLES, H. T. i. Risk of extreme high fatalities due to weather and climate hazards and its connection to large-scale climate variability. **Climatic Change**, 2020, v. 162, n. 2, p. 507-525 2020. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02825-z>.

FREIRE, L. M.; LIMA, J. S. de & SILVA, J. N. da. Riscos geológicos em áreas urbanas: implicações socioambientais em duas cidades paraenses. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 6, n. 11, p. 273-292, 2018. <https://doi.org/10.17551/2358-1778/geoamazonia>.

G1. **Cerca de 2,6 mil pessoas deixaram suas casas por causa da chuva no RJ**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/01/mais-de-26-mil-pessoas-deixaram-suas-casas-por-causa-da-chuva-no-rj.html> >. Acesso em: abril 2021.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. 4 ed. São Paulo, Cengage Learning, 2010. 440p.

GÓES, H. de A. **A Baixada de Sepetiba**. Imprensa Nacional, 1942, 365p. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605312113>.

GOERL, R.F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as Inundações no Brasil. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre, ABRH, 2005.

HADY, A. A. Deep solar minimum and global climate changes. **Journal of Advanced Research**, v. 4, p. 204-214, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2012.11.001>.

HAQUE, U., SILVA, P. F. da, DEVOLI, G., PILZ, J., ZHAO, B. KHALOUA, A., WILOPO, W., ANDERSEN, P., LU, P., LEE, J., YAMAMOTO, T., KELLINGS, D., WU, J. & GLASS, G. E. The human cost of global warming: Deadly landslides and their triggers (1995–2014). **Science of The Total Environment**, v. 682, p. 673-684, set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.415>.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais#>>. Acesso em: julho 2022.

IPCC. **Global warming of 1.5°C: summary for policymakers**. Switzerland: IPCC, 2018, 26p. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.

IPEA. **Governança Metropolitana no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2015, 85p.

JEVREJEVA, S., JACKSON, L. P., RIVA, R. E. M., GRINSTED, A. & MOORE, J. C. Coastal sea level rise with warming above 2 °C. **PNAS**, v. 113, n. 47, p. 13342-13347, nov. 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605312113>.

KALAOUM, J., SILVA, J. B. G., AQUINO, O. E. de, PINHO, C. F., PEREIRA, M. G. & GOMES, J. H. G. Mapeamento da vulnerabilidade do sistema de aquífero do distrito industrial do município de Queimados (RJ) utilizando a metodologia GOD. **Rev. Agro. Amb.**, v. 13, n. 3, p. 1069-1090, 2020. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n3p1069-1090>.

KAPTIJN, E. The impact of climate on daily life. *IN: XXXII^e RENCONTRES INTERNATIONALES D'ARCHÉOLOGIE ET D'HISTOIRE D'ANTIBES*. Variabilités environnementales, mutations sociales – Nature, intensités, échelles et temporalités des changements, 2011, **Anais...** Antibes, Éditions APDCA, 2012.

KVOČKA, D., FALCONER, R. A. & BRAY, M. Flood hazard assessment for extreme flood events. **Nature Hazards**, v. 84, p. 1569-1599, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2501-Z>.

LACERDA, G. B. M., SILVA, C., PIMENTEIRA, C. A. P., KOPP Jr, R. V., GRUMBACK, R., ROSA, L. P. & FREITAS, M. A. V. Guidelines for the strategic management of flood risks in industrial plant oil in the Brazilian coast: adaptive measures to the impacts by relative sea level rise. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v. 19, p. 1041–1062, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9459-x>.

LEAL, F. C. B. da S., BARBOSA, I. M. B. R. & AQUINO, J. T. Mapeamento de áreas vulneráveis à inundação com uso do SIG e da análise multicritério: o caso da bacia hidrográfica do Rio Una em Pernambuco. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. esp, p. 20-40, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e0I2020-40>.

LICCO, E. A. & MAC DOWELL, S. F. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015.

LYU, H., WANG, G., SHEN, J. S., LU, L. WANG, G. Analysis and GIS mapping of flooding hazards on 10 may 2016, Guangzhou, China. **Water**, v. 447, n. 8, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8100447>.

MAGALHÃES, I. A. L., THIAGO, C. R. L., AGRIZZI, D. V. & SANTOS, A. R. dos. Metodologias distintas para mapeamento das áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, 2011

MAHMOUD, S. H. & GAN, T. Y. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 216-229, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.282>.

_____. Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 152-167, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2021.

MARQUES, A. M. de S. **Análise e mapeamento de áreas de risco de inundação nas ocupações urbanas em torno do Rio Formate - Viana/ Espírito Santo**. 88f. Trabalho de conclusão de curso, Gestão Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Nova Venécia, 2019.

MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V. & KOESTER, E. Estudo da suscetibilidade à inundação com base em análise geomorfológica, bacia hidrográfica do Arroio Santa Isabel, região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 13-28, 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20160002>.

McDERMOTT, T. K. J. Global exposure to flood risk and poverty. **Nature Communications**, v. 13, n. 3529, junho 2022. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30725-6>.

MELLO, F. M. de. Análise estrutural aplicada aos estudos geoambientais no Sub-Gráben Guandu-Setpetiba-RJ. *IN*: INEA. **Bacia Hidrográfica dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim**: Experiências para a gestão dos recursos hídricos. Rio de Janeiro: INEA, 2012, 340p.

MENDONÇA, F. & DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MICELI, B. S., DIAS, F. de M., SEABRA, F. M., SANTOS, P. R. A. dos & FERNANDES, M. do C. Avaliação vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/01, p. 191-201, 2011. <https://doi.org/10.14393/rbev63n1-43731>.

MONTEZUMA, P. N. D. Análise de prováveis fatores causadores do processo de assoreamento na Baía de Setpetiba-RJ. *IN*: FILHO, D. T., ANTUNES, J. C. O. & VETTORAZZI, J. S. (Org.). **Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-mirim**. Experiências para gestão dos recursos hídricos. INEA, p. 21-41, 2012.

MÖRNER, N. The approaching new Grand Solar Minimum and Little Ice Age climate conditions. **Natural Science**, v. 07, p. 510-518, 2015. <https://doi.org/10.4236/ns.2015.711052>.

NICOLA, P. A Zona Oeste do Rio de Janeiro como eixo de expansão urbana para habitação de interesse social: Considerações a partir do Programa Minha Casa Minha Vida em Senador Camará. **Rev. Estud. Conflito Controle Soc.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 843-858, 2021. <https://doi.org/10.4322/dilemas.v14n3.35682>.

O GLOBO. **Seropédica tem bairros alagados mesmo sem chuva; Exército chega para ajudar vítimas**. Disponível em: <https://br.noticias.yahoo.com/serop%C3%A9dica-tem-bairros-alagados-mesmo-163146453.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS5ici8&guce_referrer_sig=AQAAAGENIJE4-oo_VleLqHXhqTRkWPt0vjtrJQPRdzwry2mf0AAQwmCR-3hoB-1CkzjIgENwDxX5QrlBHQveslMH2J3Vmp3ZLm5u2euHnB8nzK6aw5eGOgSpnCkxVu_gAWgHpczXl28O14ccy4K2no2AKW4B-83915_qraEZM2BgZoFc>. Acesso em: Agosto 2021.

OLIVEIRA, S. S.; PORTELLA, S. L. D.; ANTUNES, M. N. & ZEZERE, J. L. Dimensões da vulnerabilidade de populações expostas a inundações: apontamentos da literatura. *IN: MAGNOLI JR., et al. (ORG.) Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. São Paulo: CPS, p. 27-44, 2020.

PAUSAS, J. G. & KEELEY, J. E. Wildfires and global change. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 19, n. 7, p. 387-395, 2021. <https://doi.org/10.1002/fee.2359>.

PERERA, A. T. D., NIK, V. M., CHEN, D. SCARTEZZINI, J. & HONG, T. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. **Nature Energy**, London, v. 5, p. 150–159, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0558-0>.

R7. **RJ: temporal alaga ruas da zona oeste e leva peixe para avenida em Santa Cruz**. Disponível em: <<https://recordtv.r7.com/cidade-alerta-rj/v01ideos/rj-temporal-alaga-ruas-da-zona-oeste-e-leva-peixe-para-avenida-em-santa-cruz-18022020>>. Acesso em: outubro 2020.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V. & OLIVEIRA, L. A. de. Construção de modelo e utilização do método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para mapeamento de risco à inundações em área urbana. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61, p. 01-18, 2017. <https://doi.org/10.14393/RCG186101>.

RICCOMINI, C., GIANNINI, P. C. F. & MANCINI, F. **Rios e processos aluviais**. *IN: TEIXEIRA, W., TOLEDO, M. C. M. de., FAIRCHILD, T. R. & TAIOLI, F. Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, 568p.

RIJN, L. V., GRASMEIJER, B., & PERK, L. Effect of channel deepening on tidal flow and sediment transport: part I—sandy channels. **Ocean Dynamics**, v. 68, p. 1457-1479, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1204-2>.

RIO DE JANEIRO. **Resolução CERHI-RJ N° 107 de 22 de maio de 2013**. Aprova nova definição das regiões hidrográficas do estado do rio de janeiro e revoga a resolução cerhi n° 18 de 08 de novembro de 2006. Rio de Janeiro: CERHI, 2013.

RUBIRA, F. G. & PEREZ FILHO, A. Evolução das bases teóricas e metodológicas para identificação das mudanças, oscilações e pulsações climáticas. **Revista Brasileira de Gemorfologia**, v. 22, n. 4, p. 922-966, 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.1895>.

SAATY, T. L. A scalling method for priorities in hierachical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. p. 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

_____. The Analytic Hierarchy Process-what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

_____. What is the analytic hierarchy process? *IN*: MITRA, G., GREENBERG, H. J., LOOTSMA, F. A., RIJKAERT, M. J., ZIMMERMANN, H. J. (eds). **Mathematical models for decision support**. NATO ASI Series, vol 48. Springer, Berlin, Heidelberg.1988. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-83555-1>.

SABÓIA, G., VILLELA, T., LEMOS, M. & LANG, M. **Sobe para 10 o número de mortos após chuvas no Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2019/04/09/chuva-rio-de-janeiro-mortos-temporal.htm?cmpid=copiaecola>>. Acesso em: agosto 2021.

SANTOS, K. R. dos. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. **Élisée - Revista De Geografia da UEG**, v. 1, n. 1, p. 177 – 190, 2012.

SANTOS, C. S. da C.; DIAS, F. F., FRANZ, B., SANTOS, P. R. A. dos, RODRIGUES, T. da F., VARGAS, R. & SANTOS, C. A. dos. Relative sea level rise effects at the Marambaia Barrier Island and Guaratiba mangrove: Sepetiba Bay (SE Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 3, p. 249-262, jul/sep 2019. <https://doi.org/10.12957/jse.2019.44397>.

SEA/INEA. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: INEA, 2013, 75p.

SEMADS. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião Ambiental 2 - Bacia da Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001, 79p.

SEMENZA, J. C. & PAZ, S. Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation. **The Lancet Regional Health – Europe**, v. 9, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2021.100230>.

SERAPIÃO, F. **Estudo indica aumento de temperatura e da intensidade das chuvas no Brasil**. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2022/03/estudo-indica-aumento-de-temperatura-e-da-intensidade-das-chuvas-no-brasil.shtml>>. Acesso em julho 2022

SHI, L., CHU, E., ANGUELOVSKI, I., AYLETT, A., DABATS, J. GOH, K., SCHENK, T., SETO, K. C., DODMAN, D., ROBERTS, D. ROBERTS, J. D. & VanDEVEER, S. D. Roadmap towards justice in urban climate adaptation research. **Nature Climate Change**, v. 6, p. 131-137, 2016. <https://doi.org/10.1038/nclimate2841>.

SLOGGY, M. R., SUTER, J. F., RAD, M. R. et al. Changing climate, changing minds? The effects of natural disasters on public perceptions of climate change. **Climatic Change**, v. 168, n. 25, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03242-6>.

SOGNNAES, I. et al. A multi-model analysis of long-term emissions and warming implications of current mitigation efforts. **Nature Climate Change**, v. 11, p. 1055-1062, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01206-3>.

STRAUSS, B. H., Orton, P. M., Bittermann, K. et al. Economic damages from Hurricane Sandy attributable to sea level rise caused by anthropogenic climate change. **Nature Communications**, v. 12, n. 2720, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22838-1>.

TAKAGI, H., TY, T. V., THAO, N. D. & ESTEBAN, M. Ocean tides and the influence of sea-level rise on floods in urban areas of the Mekong Delta. **Journal of Flood Risk Management**, v. 8, p. 292-300, 2015. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12094>.

TALKE, S. A., FAMILKHALILI, R. & JAY, D. A. The Influence of Channel Deepening on Tides, River Discharge Effects, and Storm Surge. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020JC016328>.

ROYAL SOCIETY. **Climate Change - evidence & causes**. 2020, 24p. Disponível em: <https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf>. Acesso em: novembro 2021

VALERIANO, M. de M. & ROSSETTI, D. de F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>.

WOLLMANN, C. A. Revisão teórico-conceitual do estudo das enchentes nas linhas de pesquisa da geografia física. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, v. 5, p. 27-45, 2015

WHO. **Floods**. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/floods#tab=tab_1>. Acesso em: setembro 2021.

YADUVANSHI, A., SHARMA, R. K., KAR, S. C., & SINHA, A. K. Rainfall–runoff simulations of extreme monsoon rainfall events in a tropical river basin of India. **Natural Hazards**, v. 90, p. 843–861, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3075-0>.

YONEHARA, S. & KAWASAKI, A. Assessment of the tidal effect on flood inundation in a low-lying river basin under composite future scenarios. **Journal of Flood Risk Management**, v. 13, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12606>.

ZIMMERMANN, E., BRACALENTI, L., PIACENTINI, R. & INOSTROZA, L. Urban flood risk reduction by increasing green areas for adaptation to climate change. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 2241-2246, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.822>.