



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Projeção da população atingida pelo aumento no nível do mar em Ilha Comprida, litoral sul de São Paulo

João Felipe Cardoso dos Santos

Monografia da disciplina de População, Espaço e Ambiente ministrada pela Dra. Silvana Amaral e Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro, do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPE

São José dos Campos

2021

RESUMO

O nível médio do mar (NMM) continuará subindo independentemente das ações antrópicas sobre o ambiente diminuírem ou não. Dessa forma, estamos vivendo um momento de necessidade do entendimento das consequências da elevação do NMM. Essa compreensão auxiliará na geração de planos de mitigação em todos os níveis de gestão populacional. Nesse contexto, o presente trabalho projetou as áreas e a população impactada pela elevação do NMM para o ano de 2050. Os resultados indicaram a necessidade da redistribuição da população de setores censitários para as áreas de infraestrutura urbana. Essa redistribuição possibilitou gerar uma estimativa da população impactada (cerca de 1300 habitantes) ignorando os grandes vazios demográficos existentes na Ilha Comprida. Também foi observado que, não necessariamente, as áreas de IU mais populosas serão as mais afetadas pela elevação do NMM. O trabalho foi elaborado com base em um cenário conservador de elevação do NMM, indicando que as análises aqui presentes devem ser consideradas como um “óbvio ululante” no planejamento urbano. Futuramente, outros aspectos como erosão costeira, índices de vulnerabilidade social e a resiliência do município perante as catástrofes naturais já ocorridas podem aprimorar tais projeções.

1. INTRODUÇÃO

Os seres humanos estão inequivocamente aquecendo o planeta e isso está provocando mudanças rápidas na atmosfera, nos oceanos e nas regiões polares, e aumentando o clima extremo em todo o mundo (IPCC, 2021). Sob esse clima em aquecimento, o nível médio do mar (NMM) tem subido e continuará a subir, uma vez que o NMM não é um efeito reversível das mudanças climáticas. Mesmo sob os cenários de redução de emissões mais otimistas, o mundo experimentará o aumento do nível do mar por vários séculos.

A mudança do NMM até 2050 está em grande parte bloqueada: independentemente da rapidez com que as nações consigam reduzir as emissões, o mundo provavelmente terá um aumento médio global do NMM de 15 a 30 centímetros até meados do século (KOPP, 2021).

As projeções do aumento futuro do nível do mar são essenciais para planejadores costeiros e formuladores de políticas que tentam compreender e contabilizar os impactos do nível do mar em suas comunidades. Compreender a ciência, determinar quais projeções usar e ter acesso a essas projeções e dados subjacentes são desafios que as partes interessadas devem enfrentar. Portanto, as áreas costeiras terão que considerar uma ampla gama de estratégias de adaptação, incluindo migração ou retirada controlada.

Entretanto, muitas cidades costeiras não possuem sistemas de monitoramento ou planos de enfrentamento as alterações do clima, sendo inexistente a pauta climática nos processos de tomada de decisão e audiências públicas. De acordo com AMANCIO (2021):

“Planos de gestão bem delineados e aplicados são a chave para se atender agendas voltadas para políticas públicas que visem a sustentabilidade, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 2030 (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS, 2017), que também podem promover a atuação municipal no Plano Nacional da Década do Oceano, em elaboração (TURRA; BIAZON, 2021).”

Nesse contexto, o presente trabalho pretende estimar as áreas e a população impactada pela elevação do NMM no município de Ilha Comprida, litoral sul de São Paulo, para o ano de 2050.

2. ÁREA DE ESTUDO

Ilha Comprida é reconhecida pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) como reserva da biosfera do planeta. A ilha tem 74 quilômetros de praias ininterruptas, e uma área de 192 km². A ilha apresenta uma largura média de 3 km e, excetuando o Morrete com cerca de 40 metros de altura, a maior parte da ilha exhibe cotas entre 3 a 5 metros (BECEGATO; SUGIO, 2007).

A Ilha Comprida integra quatro UCs: a Área de Proteção Ambiental Cananeia-Iguape-Peruíbe (APA-CIP), a APA da Ilha Comprida, a APA Marinha Litoral Sul e a Área de Relevante Interesse Ecológico do Guará (ARIE do Guará). Em contraposição ao seu rico patrimônio ambiental, o Vale do Ribeira, onde está localizada a ilha, é uma das regiões mais pobres e menos desenvolvidas do Estado de São Paulo, com indicadores de condições de vida e renda entre os menores do Estado (<https://www.valedofuturo.sp.gov.br>).

Turismo, comércio e serviços são as principais formas de rendimento na Ilha Comprida, juntamente com o serviço público (SIGAM, 2016). Segundo Queiroz e Pontes (1999), embora o turismo tenha favorecido os empregos temporários para a população fixa, proporcionou também a especulação imobiliária, com a ausência de planejamento urbano.

Números oficiais do censo 2010 informam uma população de 9.025 habitantes. Atualmente, de acordo com dados do Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), vinculado ao portal de estatísticas do estado de São Paulo, a ilha tem 10.410 habitantes sendo 5.058 homens e 5.352 mulheres (razão de sexo igual a 105.8) (Figura 1).

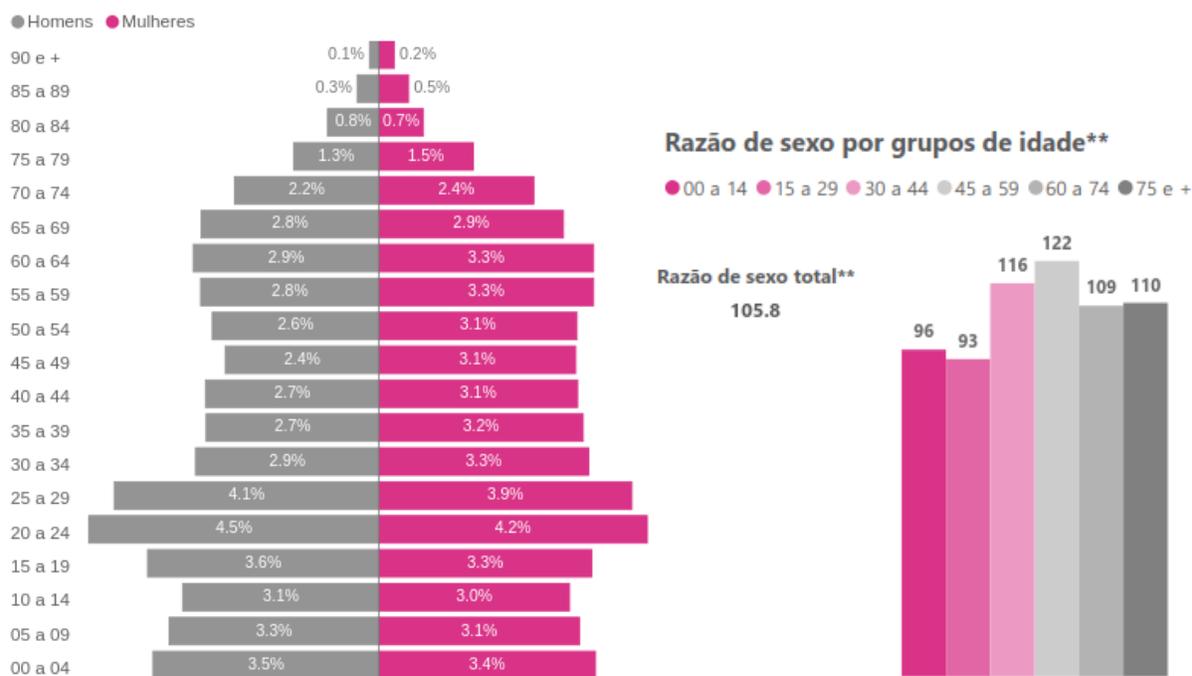


Figura 1. População por idade e sexo e razão de sexo por grupo de idade. Fonte: Seade população (<https://populacao.seade.gov.br/>).

A população se encontra principalmente na região central e norte da ilha, próxima à ponte que a conecta ao centro urbano de Iguape (Figura 2). Essa região (cerca de 70% da área total) pertenceu ao município de Iguape até 1992, enquanto a região ao sul (cerca de 30% do total) fez parte do município de Cananéia.

Essa população se encontra em manchas urbanas, enquanto o restante da ilha são grandes vazios demográficos protegidos pelas leis ambientais.

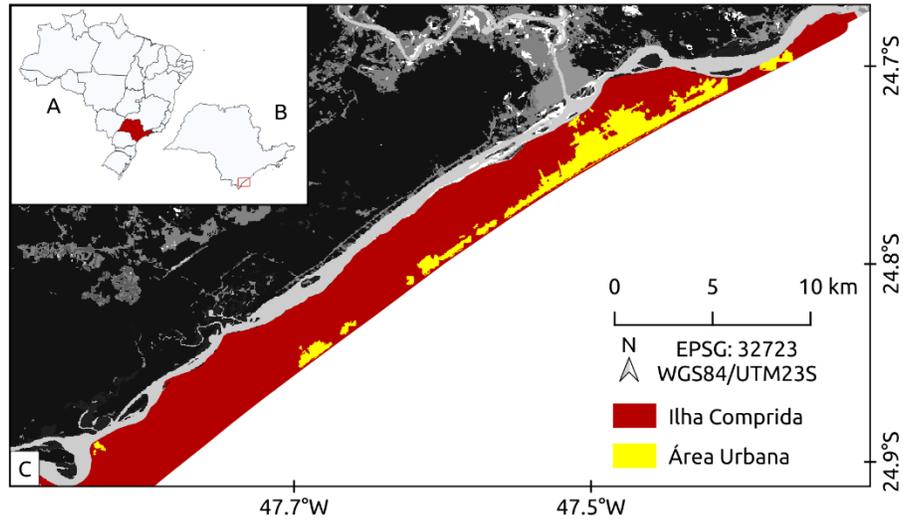


Figura 2. Município de Ilha Comprida, localizado no litoral sul do estado de São Paulo. (C) limites da Ilha com o oceano e cidades vizinhas (vermelho), área classificada como infraestrutura urbana (amarelo).

3. METODOLOGIA

O trabalho foi dividido em quatro etapas (Figura 3). Detalhes de cada etapa metodológica estão descritas nas próximas subseções.

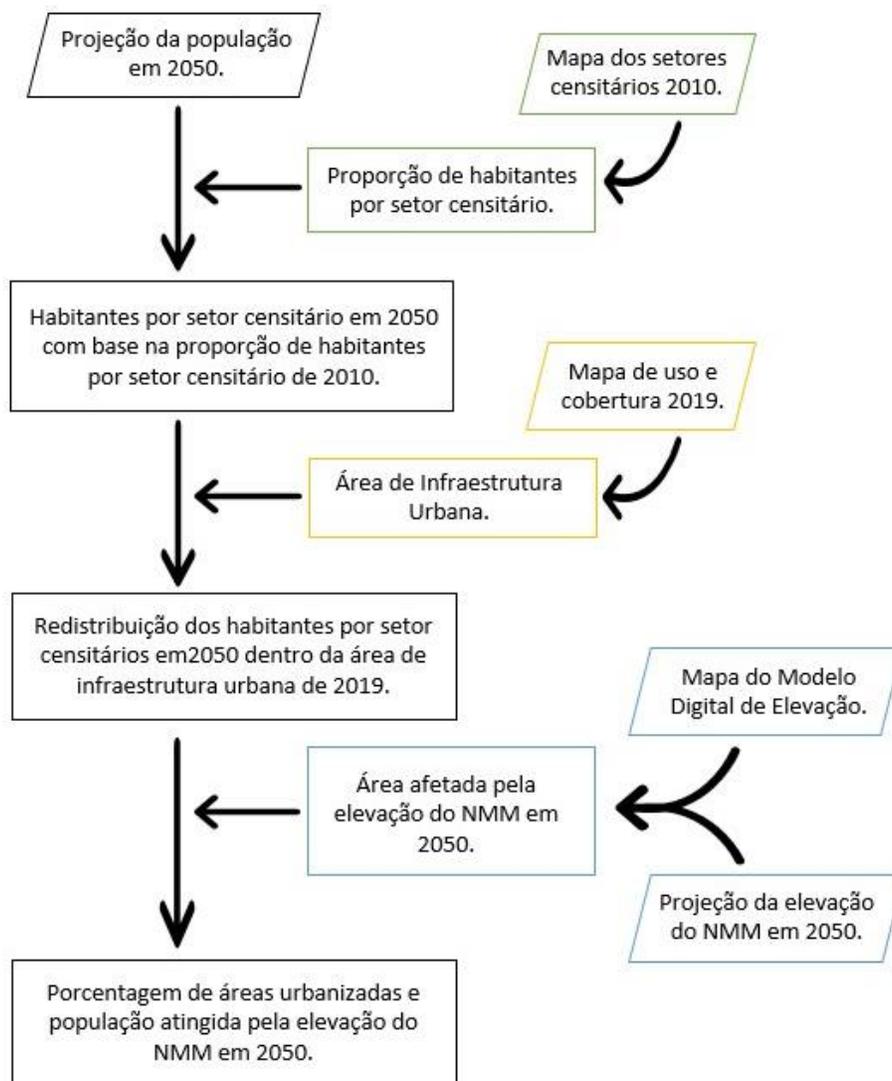


Figura 3. Fluxograma das etapas metodológicas e os produtos obtidos em cada etapa.

3.1. Projeção e taxa de crescimento da população

Dados da projeção populacional no município de Ilha Comprida foram obtidos do SEADE (<https://populacao.seade.gov.br/>) em escala municipal. Esses dados foram atualizados em 15 de julho de 2021 com base na metodologia descrita no documento *online* https://produtos.seade.gov.br/produtos/projpop/pdfs/projpop_metodologia.pdf. De acordo com o descrito no documento:

“A Fundação Seade realiza, mensalmente, uma pesquisa nos Cartórios de Registro Civil de todos os municípios do Estado de São Paulo, coletando informações detalhadas sobre o registro legal dos eventos vitais – nascimentos, casamentos e óbitos –, que compõem a base de dados das estatísticas vitais paulistas.”

A partir dessas informações, a projeção é desagregada em regiões administrativas e municípios com base na população recenseada em 2010, pelo IBGE.

3.2. Dados do censo 2010

Dados do censo de 2010 (IBGE, 2010) foram adquiridos através do complemento (*plugin*) disponível para o software QGIS. Foi utilizada a versão 0.4 desse complemento instalado na versão 3.16 do QGIS. Este complemento possibilitou baixar os setores censitários da ilha, junto com as informações para cada um dos setores, as mesmas disponíveis em [https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo Demografico 2010/Resultados do Universo/Agregados por Setores Censitarios/](https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/).

Para o presente trabalho foi escolhido dados da população total para cada setor censitário da Ilha Comprida em 2010. A imagem dos setores censitários de 2010 foi obtida no formato vetorial em coordenadas geográficas e datum SIRGAS2000 (EPSG 4674). Esse mapa foi reprojetoado em UTM 23S e datum WGS84 (EPSG 32723).

3.3. Uso e cobertura da terra

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (Mapbiomas) é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite (SOUZA et al., 2020). A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org>.

Foi utilizada a coleção 5 da série anual de mapas, referente ao ano de 2019, com o intuito de identificar as áreas urbanas do município de Ilha Comprida. A identificação foi feita com a separação da classe “Infraestrutura Urbana” (IU) das demais classificações de acordo com o descrito por Souza et al. (2020) (Figura 4).

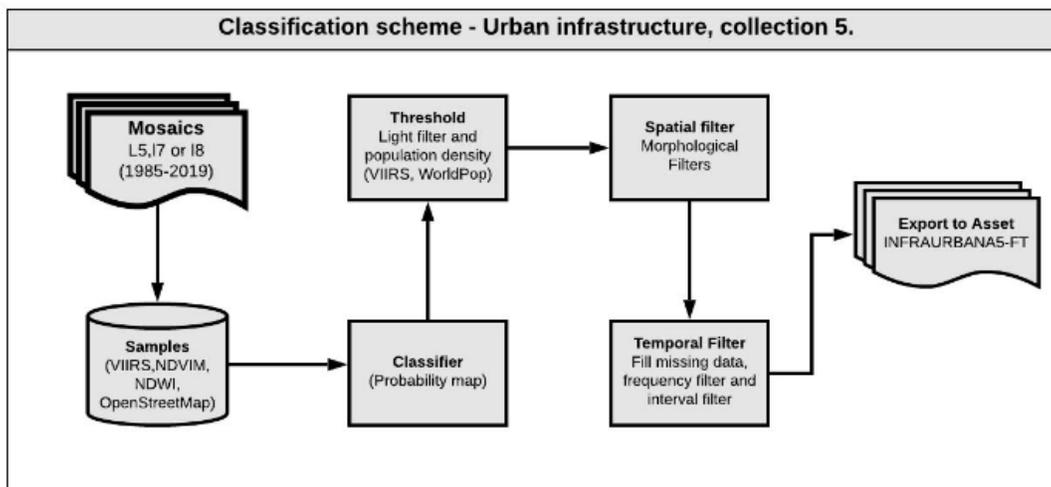


Figura 4. Método de classificação de áreas de IU, projeto Mapbiomas. Fonte: Souza et al. (2020).

A imagem do Mapbiomas de 2019 foi obtida no formato matricial com resolução de 30 metros, projeção WGS84 e coordenadas geográficas (EPSG 4326). Essa imagem foi reprojeta para EPSG 32723.

3.4. Estimativa do NMM e Modelo de Elevação Digital (MDE)

A estimativa do NMM para o ano de 2050, foi calculada com base no valor do NMM em 1990 somado à taxa anual de elevação do nível do mar e ao valor da mais alta maré observada (DALMAS et al., 2020).

Medidas históricas do marégrafo de Cananéia são divididas em dois períodos, de 1954 a 2008, e de 2012 até o presente (ALBARICI et al., 2018). No segundo período de medições, tanto os valores do NMM quanto da taxa anual de elevação, destoam dos valores dos modelos, inclusive no cenário SSP5-S8.5 do IPCC, considerado o mais alarmante (Tabela 1). Dalmas et al. (2020) utilizaram a informação do NMM em 1990, igual a 172 cm, como base para as projeções até o ano de 2100. Esse valor inicial corrobora com o observado em Albarici et al. (2018) e foi escolhido como base no presente trabalho (Figura 5).

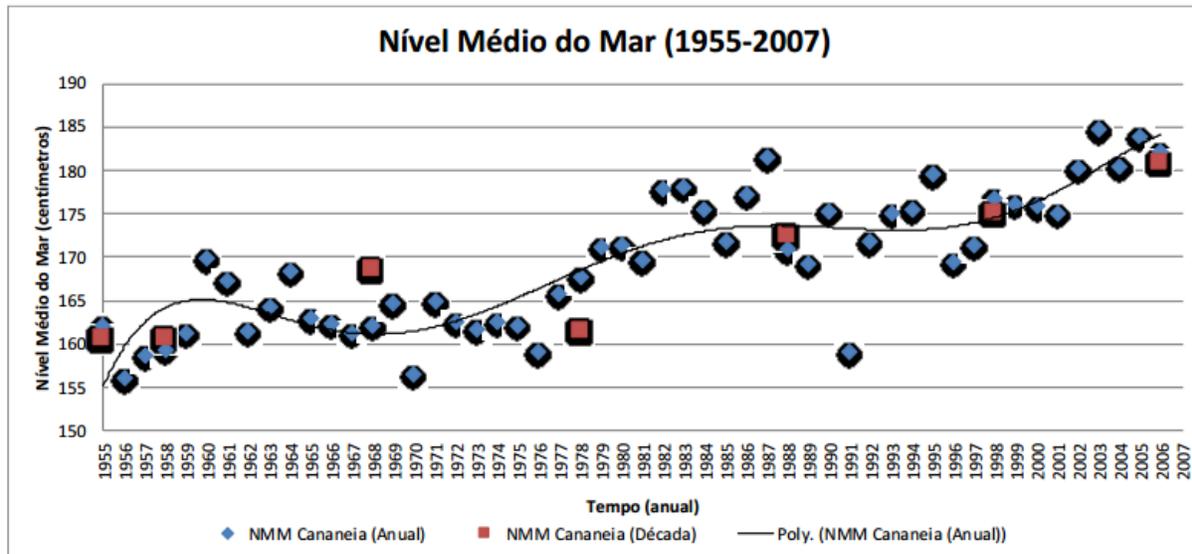


Figura 5. Medições do NMM do marégrafo de Cananéia para o primeiro período de registros (1955 - 2007). Fonte: Albarici et al. (2018).

A partir da definição do NMM foram avaliados seis modelos de elevação do NMM entre os anos de 1990 a 2020 (Tabela 1). Após 2020, a estimativa foi feita com base no modelo regional do IPCC (FOX-KEMPER et al., 2021) disponível em <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>.

O valor da mais alta maré utilizado neste trabalho, está disponível em <https://tabuademaes.com/br/so-paulo/ilha-comprida>, e é igual a 140 cm. Esse valor foi então somado à projeção do NMM, gerando uma projeção do nível máximo de maré (NMaxM). O valor estimado para o NMaxM foi utilizado na delimitação da área alagada.

Tabela 1. Modelos de taxas de elevação do NMM entre 1990 e 2050.

Referência	Taxa de elevação do NMM (cm/ano)							NMM em 2050 (cm)	NMM em 2050 + preamar ⁽¹⁾	Observação
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050			
Dalmas et al. (2020)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	197.3	337.3	Usa a mesma taxa ao longo do tempo.
Albarici et al. (2018) – Marégrafo	0.39	0.39	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	207.7	347.7	Separa as estimativas em dois períodos baseado na descontinuidade dos dados maregráficos de Cananéia entre 2008-2012.
Albarici et al. (2018) – NOAA	0.32	0.32	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	198.9	338.9	
Albarici et al. (2018) – Col. Univ.	0.24	0.24	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	190.0	330.0	
Albarici et al. (2018) – AVISO	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	191.6	331.6	Usa a mesma taxa ao longo do tempo. Não possui modelo regional.
Albarici et al. (2018) – CSIRO	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	192.4	332.4	
IPCC 2021 SSP1-1.9	x	x	x	0.51	0.50	0.52	0.54	198.8	338.8	Decenal a partir de 2020. Cenário conservador.
IPCC 2021 SSP5-8.5	x	x	x	0.57	0.62	0.76	0.90	203.0	343.0	Decenal a partir de 2020. Cenário sem política climática.

⁽¹⁾valor da mais alta maré igual a 140 cm. Representa o nível máximo de maré (NmaxM).

As estimativas do NmaxM foram aplicadas em duas cenas do MDE da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM): s25_w048_1arc_v3 e s26_w048_1arc_v3. Os MDEs são organizados em cenas de 1°x1° e oferecem 30 metros de resolução espacial conforme descrito em https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. As cenas foram adquiridas através da plataforma *Earth Explorer* da *United States Geological Survey* (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Utilizando o software *Sentinel Application Platform* (SNAP) versão 8.0, as cenas do MDE foram então unidas, recortadas, reprojctadas no sistema EPSG 32723 e corrigidas através de matemática de bandas. Nessa última etapa foram substituídos valores negativos do MDE por zero, em seguida foi aplicado um preenchimento de células vazias e, por fim, realizada uma suavização na matriz do MDE através de uma média móvel de 3x3 pixels.

4. RESULTADOS

4.1. Projeção dos dados censitários

Com os valores do censo de 2010, foi construído o cenário da população da Ilha Comprida dividida por setor censitário (Figura 6a), sua densidade (Figura 6b) e a proporção de habitantes em cada setor com relação a população total (Figura 6c).

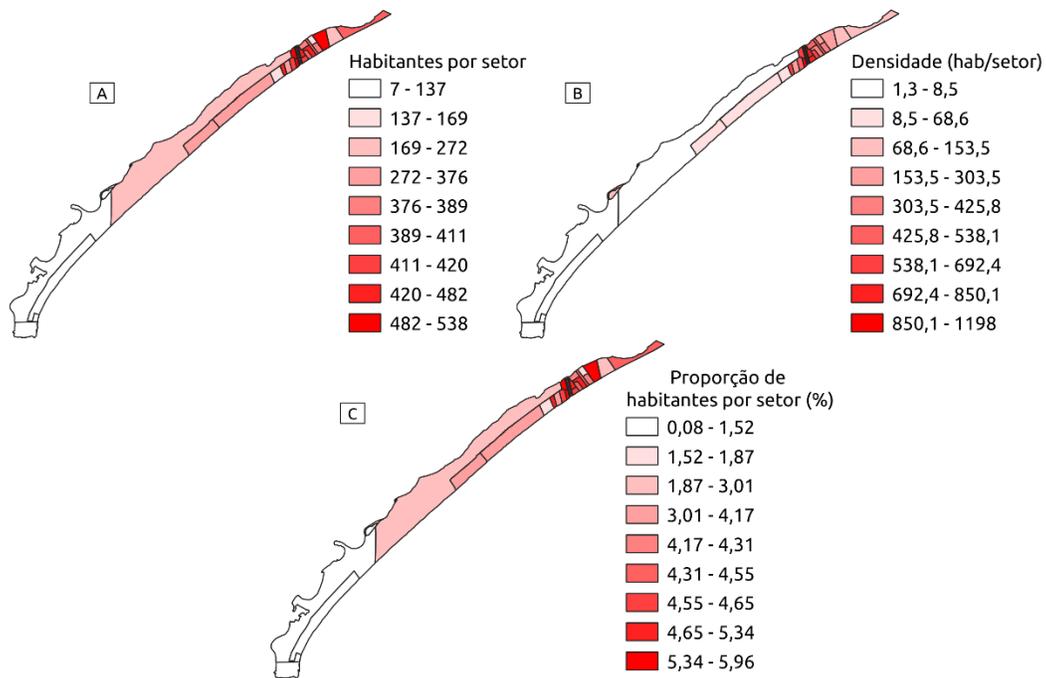


Figura 6. Mapa de habitantes por setor censitário (A), densidade demográfica (B) e proporção de habitantes por setor (C).

De acordo com o censo, a população total da Ilha Comprida em 2010 are de 9025 habitantes, com uma concentração populacional nos setores central ($> 600 \text{ hab/km}^2$) e norte da ilha ($\sim 300 \text{ hab/km}^2$). Souza e Oliveira (2016) afirmam que a partir da década de 1980, a abertura de loteamentos e de arruamentos foram as principais situações responsáveis por importantes modificações nas classes de uso da terra na Ilha Comprida, sobretudo em seus setores central e nordeste. A busca por lotes e casas nesse período está relacionada a abertura da Rodovia Régis Bittencourt (BR-116), onde o turismo passou a ser uma alternativa econômica, além da atividade pesqueira (SIGAM, 2016). A proximidade destes setores com a região central de Iguape e também com a construção da ponte que liga estes municípios, em 1992, incentivaram a ocupação. Mesmo após a criação da APA, a Ilha Comprida ainda sofre com a especulação imobiliária (SANTOS; CARMO, 2017; MESQUITA 2021).

Foi distribuída a projeção da população em 2050 (Figura 7), com base na proporção de habitantes por setor censitário de 2010 (Figura 6c). A projeção da população permanente da ilha em 2050 é de 12.332 habitantes com uma taxa que decresce cerca de 50% a cada dez anos.

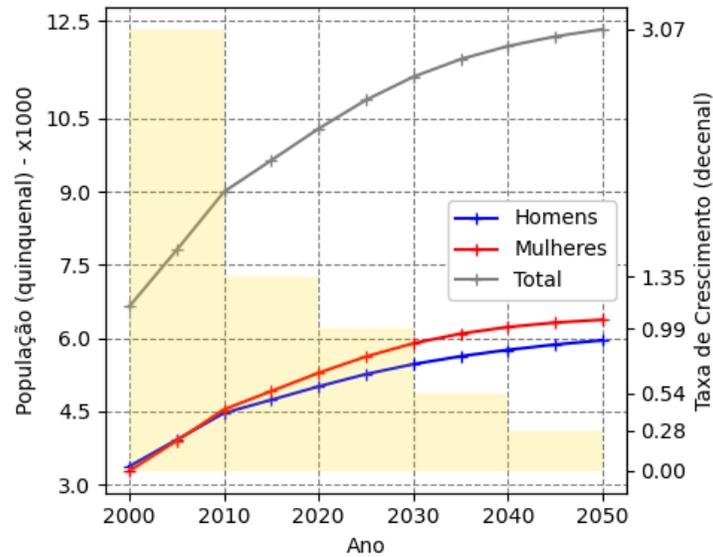


Figura 7. Projeção da população total do município de Ilha Comprida até 2050 e respectiva taxa de crescimento.

A taxa de crescimento no decênio de 2000-2010, igual a 3,07%, é a maior entre as cidades vizinhas de Cananéia e Iguape. Grande parte desse crescimento está relacionado à migração da população após a emancipação da ilha em 1992 (SANTOS; CARMO, 2017). Ainda de acordo com Santos e Carmo (2017), outros elementos demográficos que podem alterar a composição da população, como a fecundidade e a natalidade, não apresentaram mudanças que pudessem ter levado a esse crescimento significativo no período referido. Outra informação que corrobora com o observado pelos autores são as taxas de crescimento das cidades vizinhas, com valores baixos quando comparados ao da Ilha Comprida (Tabela 2).

Tabela 2. Taxa de crescimento em Ilha Comprida e cidades vizinhas de Cananéia e Iguape.

Município	Taxa de crescimento (%)				
	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Cananéia	-0,03	0,09	0,35	0,26	0,12
Iguape	0,51	0,22	0,28	0,11	-0,1
Ilha Comprida	3,07	1,35	0,99	0,54	0,28

A população total da ilha em 2050 foi distribuída, proporcionalmente, por setor (Figura 8a) e a densidade recalculada com base na projeção (Figura 8b).

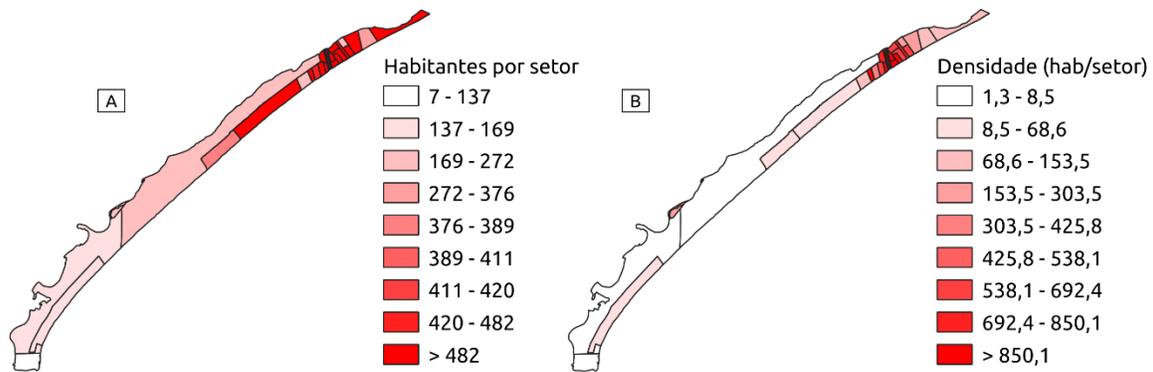


Figura 8. Mapa de habitantes por setor censitário (A) e densidade demográfica (B) com projeção populacional em 2050.

4.2. Redistribuição da população

A distribuição da população dentro de cada setor (Figura 8a) não ocorre de forma homogênea. Pelo contrário, existem manchas urbanas na ilha onde a população se concentra. Fotos aéreas (Figura 9a) e imagens de satélite (Figura 9b) da Ilha Comprida mostram essas áreas.



Figura 9. (A) Foto aérea da região central da Ilha Comprida e (B) imagem RGB do sensor MSI a bordo do satélite Sentinel-2, 28/07/2020. Fonte: (A) <https://www.familysearch.org/>

Ao avaliar a classificação de infraestrutura urbana (IU) feita pelo Mapbiomas, constatou-se uma subestimativa dessas áreas. As áreas de subestimativa da IU foram observadas em locais com construções esparsas, classificadas principalmente como áreas de agricultura. Já as áreas onde a IU foi superestimada foram encontradas em locais de solo exposto próximas às regiões caracterizadas como de IU. A Figura 10 apresenta alguns pontos onde a classificação precisou ser corrigida.

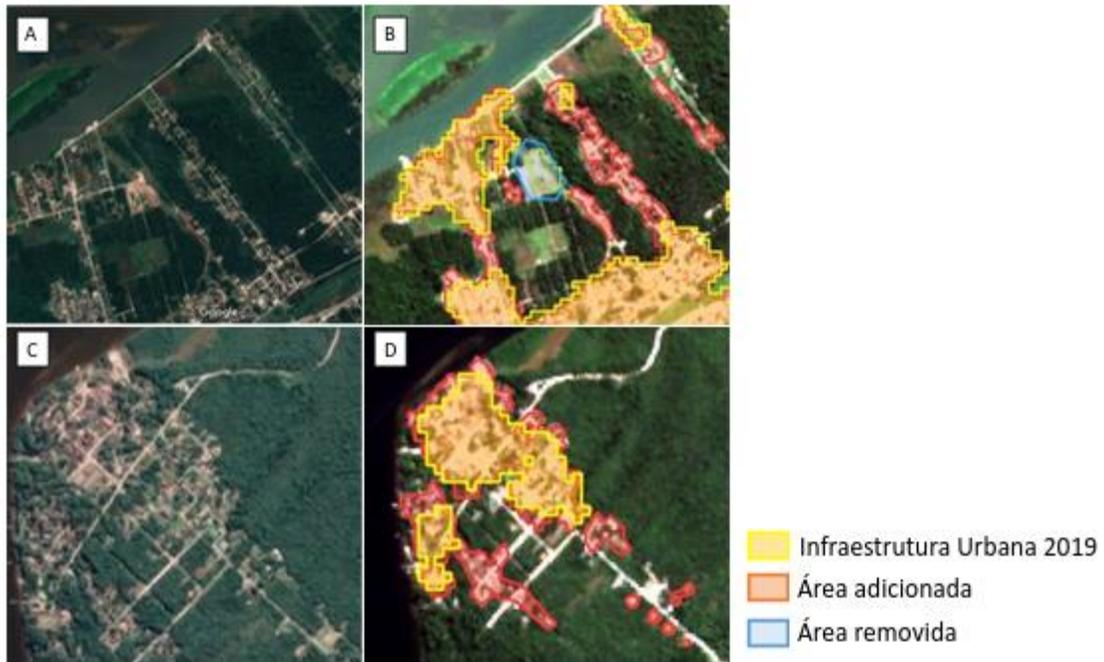


Figura 10. (A) e (C): imagens do Google Earth© utilizadas na correção das áreas classificadas como IU. (B) e (D): polígonos indicando onde foram acrescentadas novas áreas IU (vermelho) ou excluídas (azul) do mapa original (amarelo).

A correção da classificação de IU foi realizada com imagens do satélite Sentinel-2 e da plataforma do Google Earth©, ambos com imagens do ano de 2020. Dessa forma, o resultado esperado do novo mapa de IU deve se assemelhar com o mapa de classificação para o ano de 2020. Essa metodologia foi utilizada pois, a classificação do Mapbiomas para o ano de 2020 foi disponibilizada no final de agosto de 2021, quando o presente trabalho já estava concluído. O resultado do mapa corrigido se encontra na Figura 11.

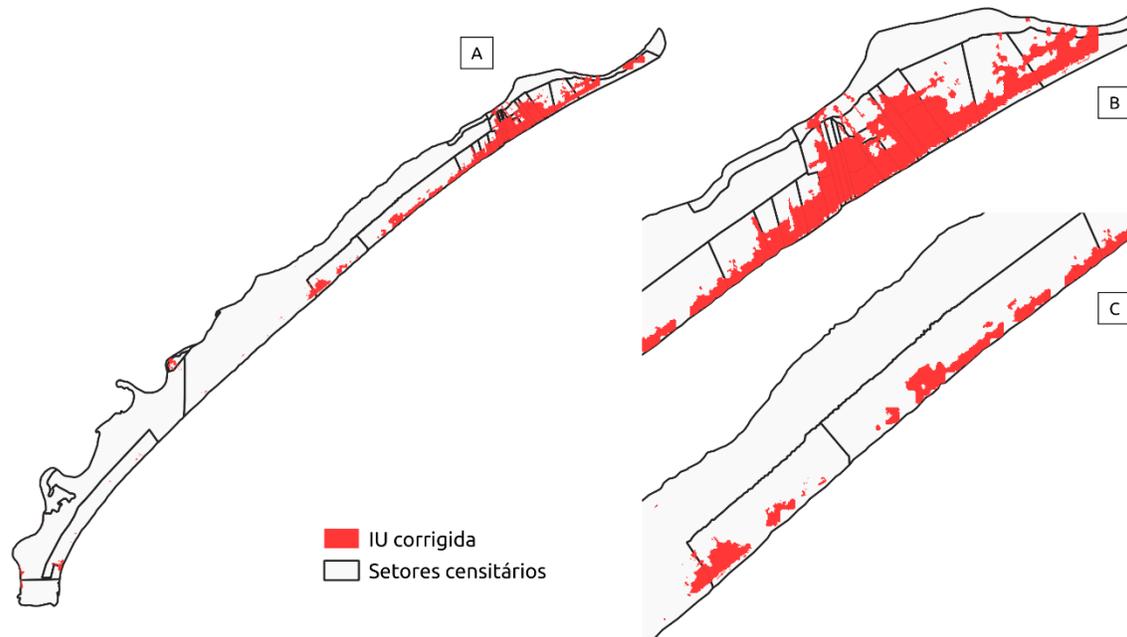


Figura 11. Camada das áreas corrigidas classificadas como IU (em vermelho), sobreposta ao limite dos setores censitários da ilha.

De acordo com a Figura 11 a maior parte das áreas de IU estão voltadas para o oceano e localizam-se nas regiões central e norte da ilha. Alguns setores censitários com valores acima de 300 hab/km² (Figura 8b) têm áreas de IU ocupando 50% da sua área (Figura 11b), indicando que a densidade populacional deve ser ainda maior nessas regiões, nesse caso, o dobro. O mesmo pôde ser observado ao sul das regiões centrais (Figura 11c).

Para quantificar a ocupação populacional em 2050 dentro das áreas de IU e, conseqüentemente, dentro de cada setor, foi utilizado o mapa corrigido de 2019 (Figura 11) com as seguintes observações:

- Com o Decreto Estadual de 1989 a APA da Ilha Comprida foi dividida conforme a Figura 12, onde cada zona tem sua especificidade com relação ao uso do solo (Tabela 3).

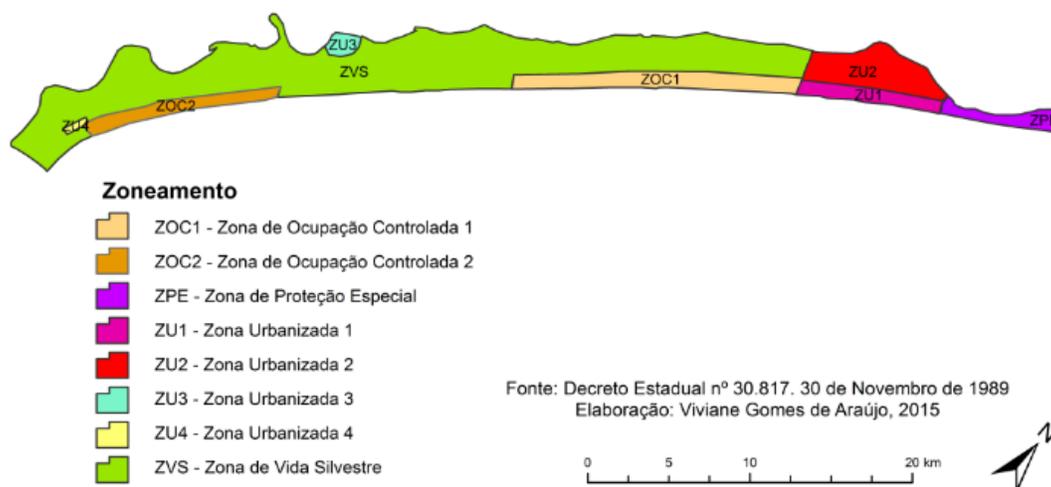


Figura 12. Zoneamento da APA da Ilha Comprida. Fonte: Araújo (2015). Disponível em Araújo (2017).

Tabela 3. Restrições de loteamentos em cada zona da APA da Ilha Comprida. Fonte: SOUZA (2014). Disponível em Araújo (2017).

Zona	Restrições (Decreto Estadual nº 30.817/89)
ZU	ZU1, ZU3 e ZU4 – Lotes mínimos com: “quinhentos metros quadrados desde que existente rede de abastecimento de água e rede coletora de esgotos, dotada de sistema de tratamento”. ZU2 – Lotes mínimos com: “mil metros quadrados, desde que existente rede de abastecimento de água e rede coletora de esgotos, dotada de sistema de tratamento”.
ZOC	ZOC1 e ZOC2 - Lotes mínimos com: “mil metros quadrados, quando projetada a dotação de sistema coletivo de tratamento de esgotos, ou solução equivalente”; “dois mil e quinhentos metros quadrados, quando adotado o sistema individual de tratamento e de disposição dos esgotos”.
Núcleos de Pescadores	“na ZPE, na ZVS e nos Núcleos de Pescadores, não será permitido parcelamento de solo, qualquer que seja sua modalidade”.
ZPE	
ZVS	

- As zonas urbanas, podem crescer em direção ao norte das zonas Z1 e Z2 (Figura 12). As áreas ao redor são classificadas como ZPE e ZVS o que impede o crescimento para outras regiões. O crescimento populacional nas ZOC1 e ZOC2 se restringe à lotes com tamanho mínimo de mil metros quadrados, o que suavizaria o número de domicílios construídos por área. Portanto, as áreas que ainda podem ser ocupadas são restritas ou de baixa densidade populacional.
- De acordo com informações da Prefeitura de Ilha Comprida, entre os meses de dezembro a fevereiro, a população flutuante chega a 600 mil pessoas (<https://www.ilhacomprida.sp.gov.br/cidade/dados-gerais>). Por se tratar de uma cidade onde o turismo é uma das principais economias do local, grande parte dos domicílios são do tipo particulares ocasional (Tabela 4) (SIGAM, 2016). Estes domicílios podem passar a ser ocupados pela população projetada para 2050. Dessa forma, a cidade pode crescer em população sem, necessariamente crescer em área de IU.

Tabela 4. Informação de domicílios e estado de ocupação. Dado: censo 2010. Fonte: SIGAM, 2016.

Município	Total de Domicílios Particulares	Particulares Ocupados	Particulares Não Ocupados			Total de Domicílios Coletivos
			Uso Ocasional	Fechados	Vagos	
Iguape	14.426	9.020	3.466	84	1.856	40
Ilha Comprida	10.662	3.126	6.834	0	702	331
Litoral Sul	25.088	15.839	11.663	84	3053	436

- A Prefeitura municipal apresentou em 2002 uma proposta ao Governo do Estado de readequação da APA Ilha Comprida, após estudo realizado em parceria com órgãos ambientais (IBAMA, CETESB e Instituto Florestal) e ONG (SOS Mata Atlântica) propondo novos parâmetros de uso e ocupação do solo, pela qual 30% de seu território passaria a ser focado no Plano Diretor (a ser elaborado) como área própria à urbanização (ARARIPE; FIGUEIREDO; DEUS, 2008). Entretanto, esse plano ainda não entrou em atividade.

A partir destes pontos, utilizou-se o mapa de IU corrigido (Figura 11) como base para a redistribuição da população. Conseqüentemente, este mapa foi utilizado também para analisar as áreas alagadas pela elevação do nível médio do mar (Subseção 4.3). A Tabela 5 resume as informações populacionais projetadas para o ano de 2050 dentro da IU de cada setor censitário.

Tabela 5. Distribuição populacional em 2010 e para 2050 nos setores censitários e nas áreas de IU.

Setores censitários	Habitantes em 2010	Área (km²)	Densidade (hab_2010/km²)	Proporção da pop. Total (%)	Habitantes em 2050	Densidade (hab_2050/km²)	Área de IU corrigida (km²)	Área do setor classificada como IU (%)	Densidade por área de IU por setor censitário (hab_2050/km²)
352042605...									
0001	389	0,37	1065,01	4,31	532	1455,17	0,26	72,26	2013,77
0002	396	0,74	538,14	4,39	541	735,36	0,59	80,84	909,64
0004	494	0,80	621,14	5,47	675	848,79	0,33	41,10	2065,43
0005	104	44,44	2,34	1,15	142	3,20	0,23	0,52	612,91
0006	7	5,37	1,30	0,08	10	1,79	0,07	1,33	134,93
0008	185	68,59	2,70	2,05	253	3,69	0,33	0,48	761,94
0010	137	0,89	153,55	1,52	187	209,81	0,25	27,52	762,45
0011	169	0,51	333,46	1,87	231	455,75	0,02	4,86	9377,06
0012	120	14,20	8,45	1,33	164	11,55	0,21	1,50	768,05
0013	426	0,57	745,12	4,72	582	1018,10	0,50	87,38	1165,21
0014	440	1,03	425,78	4,88	601	581,75	0,81	78,40	741,99
0015	538	3,25	165,67	5,96	735	226,36	1,15	35,45	638,61
0016	482	0,70	692,43	5,34	659	946,20	0,28	39,87	2373,29
0017	376	12,86	29,23	4,17	514	39,94	2,15	16,73	238,74
0018	276	6,87	40,18	3,06	377	54,90	1,05	15,33	358,17
0019	418	0,44	954,69	4,63	571	1304,63	0,28	64,83	2012,55
0020	231	0,27	850,07	2,56	316	1161,76	0,19	68,74	1690,06
0021	168	0,81	208,36	1,86	229	284,64	0,38	47,48	599,51
0022	380	0,91	415,52	4,21	519	567,85	0,87	94,59	600,32
0023	505	0,42	1198,02	5,60	690	1637,13	0,38	91,10	1797,08
0024	411	0,62	664,24	4,55	562	907,64	0,51	82,50	1100,22
0025	385	0,83	466,58	4,27	526	637,56	0,17	21,17	3012,24
0026	272	3,36	81,06	3,01	372	110,77	1,11	33,05	335,16
0027	395	5,04	78,43	4,38	540	107,18	1,78	35,36	303,14
0028	342	1,13	303,48	3,79	467	414,62	0,54	47,94	864,95
0029	417	0,95	439,79	4,62	570	600,87	0,54	56,51	1063,29
0030	142	2,07	68,63	1,57	194	93,75	0,63	30,52	307,20
0031	420	0,53	792,73	4,65	574	1083,26	0,51	96,78	1119,35

Na comparação entre a densidade da população projetada por setor censitário e nas áreas de IU por setor censitário, a população exposta chega a ser duas vezes maior quando distribuída dentro das áreas de IU (Figura 13).

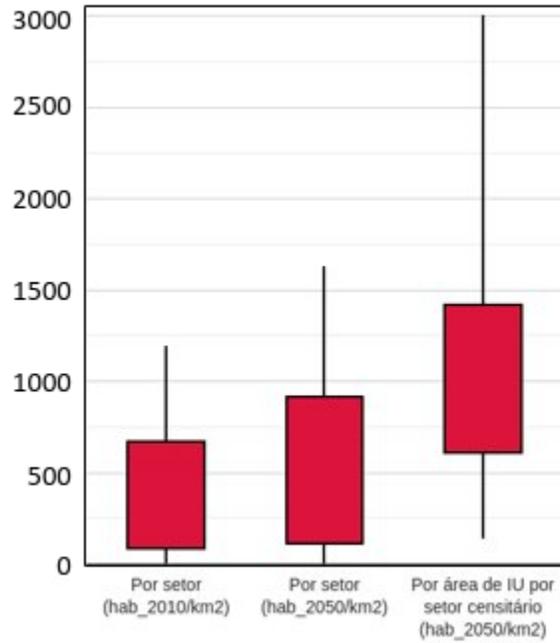


Figura 13. Box-plot com a densidade demográfica por setor censitário e por área de IU.

As colunas de densidade de habitantes em 2050 por km² por setor, e densidade de habitantes em 2050 por km² por IU por setor (Tabela 5), foram ilustradas na Figura 14 e Figura 15, respectivamente.

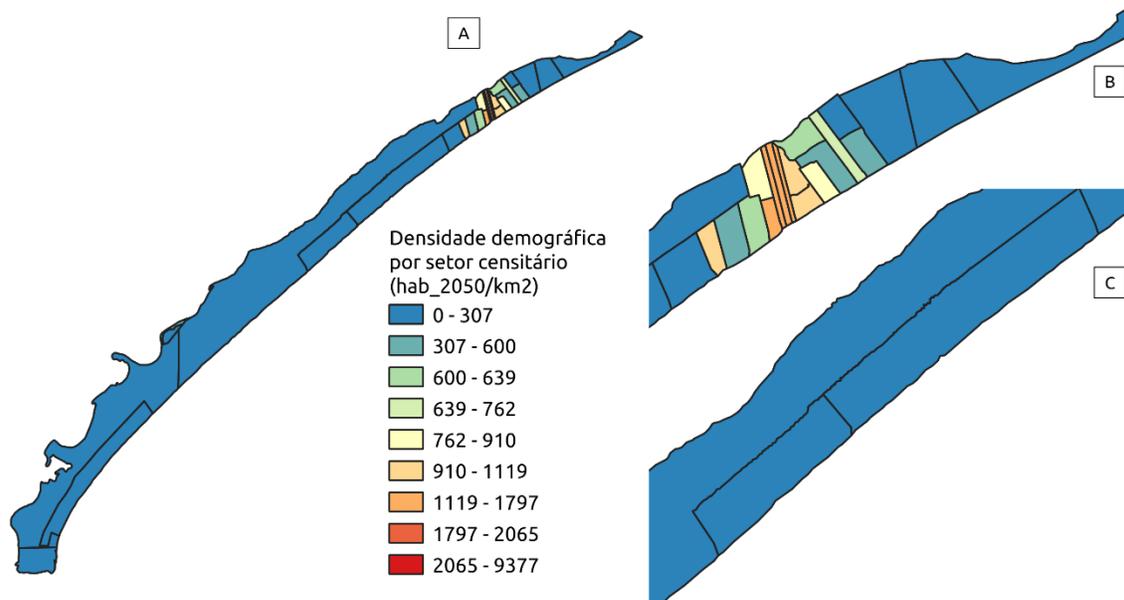


Figura 14. Mapa da densidade demográfica em 2050 utilizando a área dos setores censitários.

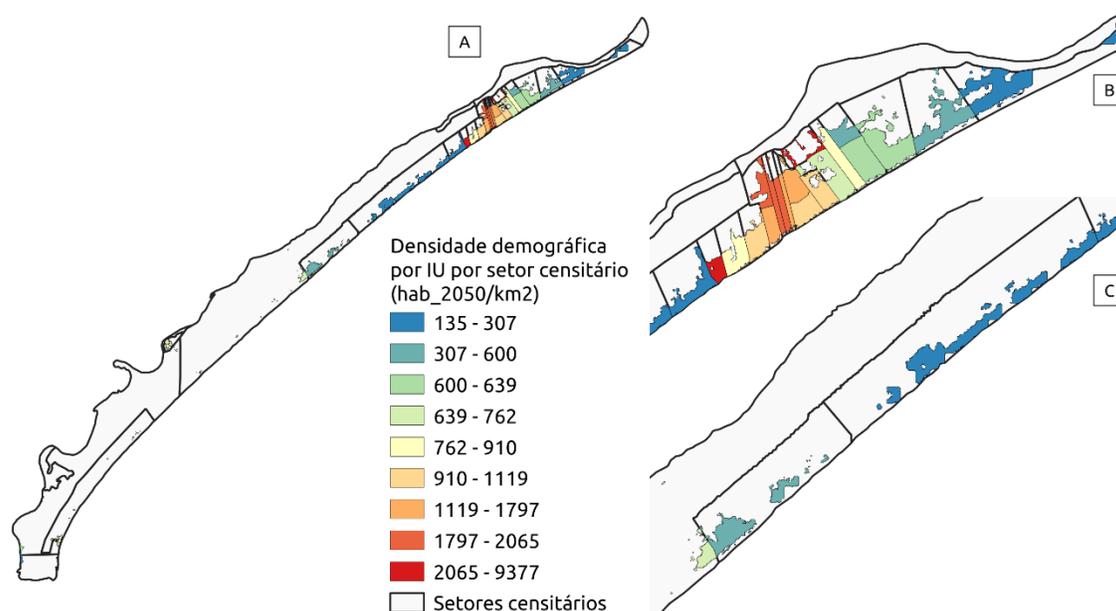


Figura 15. Mapa da densidade demográfica em 2050 redistribuída nas áreas de IU por setor censitário.

A camada da estimativa do NMaxM em 2050 foi sobreposta ao mapa da Figura 15. A análise do impacto causado espacialmente (onde) e quantitativamente (número de habitantes) está descrito na Subseção 4.3.

4.3. Estimativas da elevação do NMM e impactos sobre a população em 2050

Para a estimativa da elevação do NMM, foram escolhidos dois modelos disponíveis na Tabela 1. O primeiro, foi o modelo regional da NOAA, utilizado entre 1990 e 2020. O segundo, foi o modelo regional do IPCC considerando a cenário mais otimista/conservador. A combinação destes modelos foi baseada na semelhança entre as taxas de elevação no período de 2020 a 2050. Dessa forma, foi considerado que o período anterior, cujos dados do IPCC não estão disponíveis tendem a ser semelhantes aos da NOAA.

Como resultado, o NMM em 2050 chegará a 1,99 metros que, somado à máxima maré histórica, chegará a 3,38 metros. Esse valor foi aplicado ao MDE, considerando como impactada toda região com altitudes menores do que 3,40 metros (Figura 16a). Em seguida foi aplicado o filtro móvel de 3x3 pixels para a retirada de “ilhas” sem conexão com outras áreas alagadas (Figura 16b) resultando na região da Figura 16c.

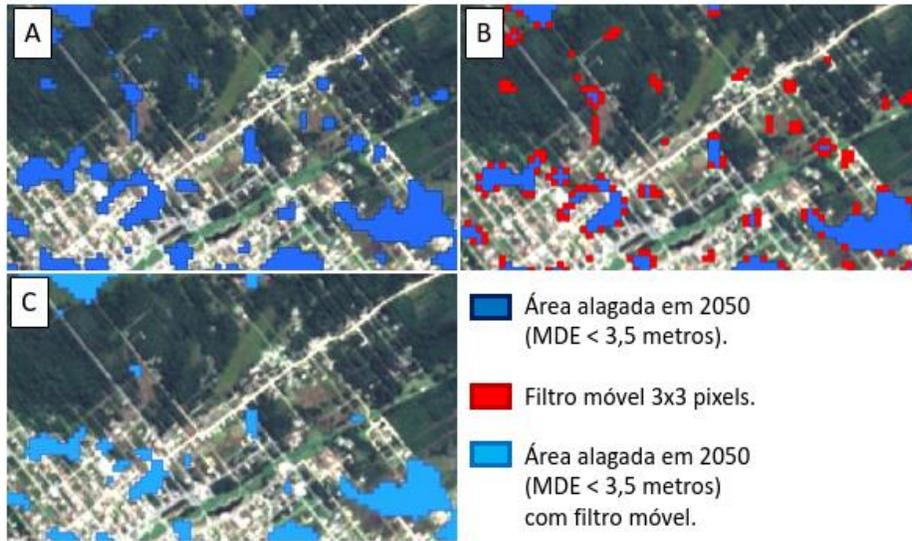


Figura 16. Exemplo do processamento realizado na estimativa de área alagada.

A Figura 17 mostra as áreas alagadas por setores censitários e por regiões de IU para toda a extensão da Ilha Comprida.

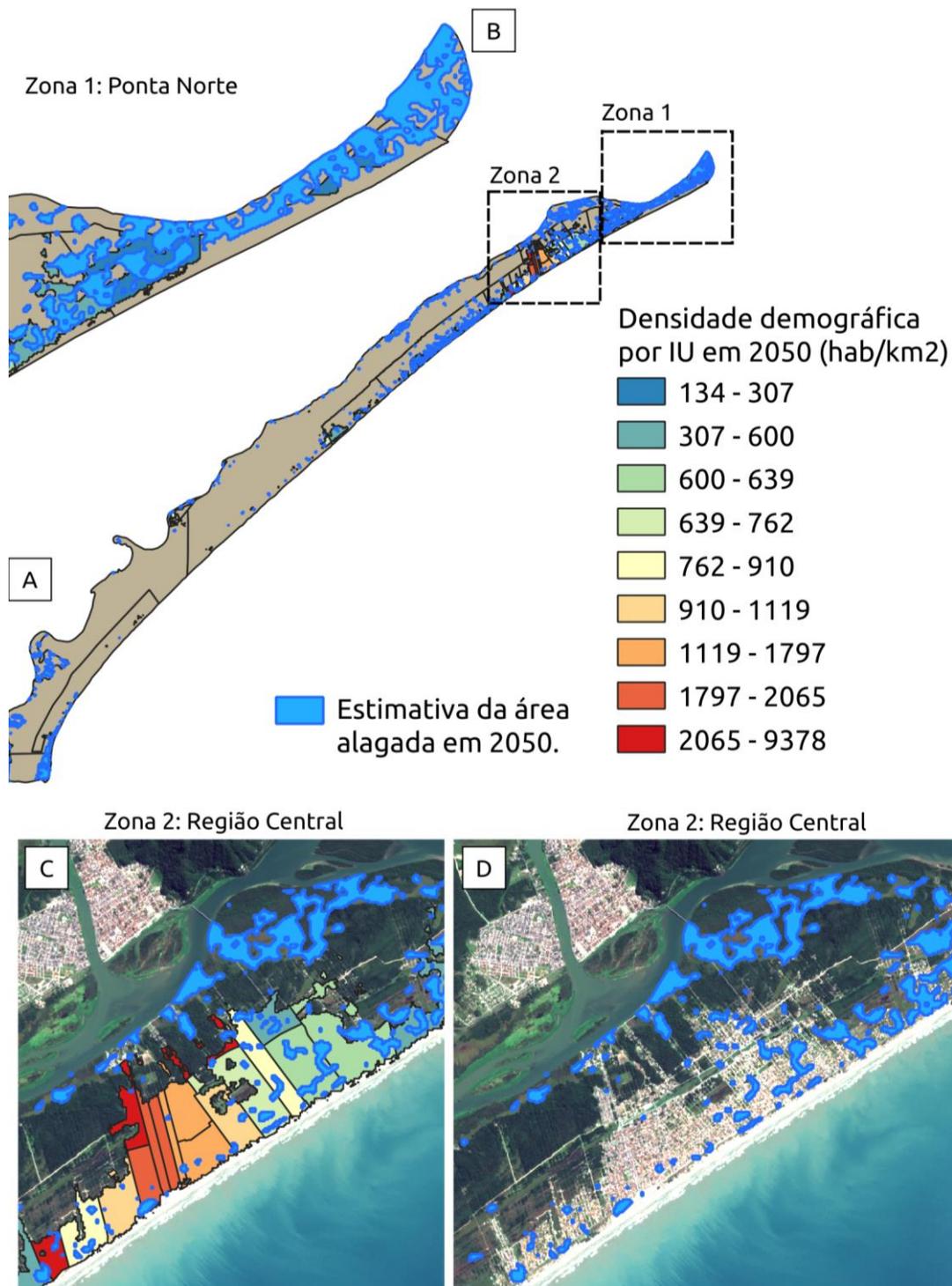


Figura 17. (A) Mapa das áreas alagadas em 2050 no município de Ilha Comprida. (B) Recorte na região da Ponta Norte da ilha. (C) e (D) Recorte na região do núcleo urbano com e sem os polígonos de densidade demográfica, respectivamente.

Com base na Figura 17a, a Ponta Norte da ilha será a mais afetada pela elevação do NMM. DALMAS et al., (2020) modelaram o NMM para 2100 utilizando dados do IPCC (2017) e, de acordo com o modelo, toda a Ponta Norte e a região do núcleo urbano (Figura 18) ficariam submersas. Estes autores ainda consideram outros cenários, modelos e períodos, mas em todos os casos mostraram essas regiões alagadas.

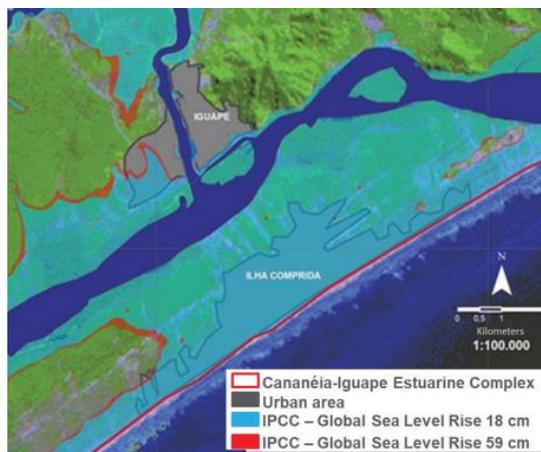


Figura 18. Impacto da elevação do NMM de acordo com o modelo do IPCC 2017. Fonte: Dalmas et al. (2020)

A região da Ponta Norte (Figuras 17b), apresentou uma discordância entre os dados do censo de 2010 e a classificação da IU pelo Mapbiomas. De acordo com o censo 2010, a região mais ao norte da ilha (mais impactada pela elevação do NMM em 2050) não é habitada, ou seja, tem-se zero habitantes nesse setor. Entretanto, imagens do Mapbiomas desde 2010, época do censo, classificam áreas dentro desse setor como sendo de IU. Imagens do Google Earth e do satélite Landsat-7 corroboram com a informação do Mapbiomas de que existe população dentro desse setor. Portanto, a população total atingida deverá ser maior do que a informada na Tabela 5.

A avaliação mais conservadora utilizada nesse trabalho, mesmo tendo menos impacto, ainda causaria grandes mudanças na dinâmica populacional, principalmente na região norte da ilha. Essa afirmação é corroborada pelo estudo de SILVA et al. (2021) sobre as taxas de erosão e morfodinâmica da Ponta Norte da ilha. De acordo com SILVA et al. (2021), a Ponta Norte tem crescido em comprimento, porém vem perdendo faixa de areia e diminuído em largura (Figura 19). Com isso, o NMM em 2050 teria impactos mais severos nessa região do que nas demais, mas essa combinação de fatores não foi analisada nesse presente trabalho.

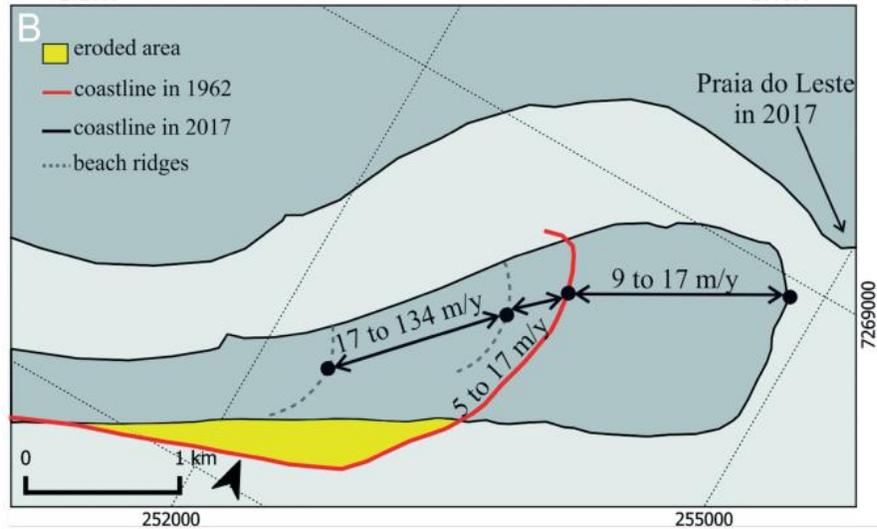


Figura 19. Análise da dinâmica sedimentar na Ponta Norte da ilha. Fonte: Silva et al. (2021).

Em números gerais, a Ponta Norte teve, em média, 45% da região de IU alagada, o equivalente a 372 habitantes impactados. Já o núcleo urbano (Figuras 17c,d), onde é observada a maior densidade populacional ($> 1000 \text{ hab/km}^2$), a área de IU afetada pela elevação do NMM foi, em média, de 8,3%, o equivalente a 627 habitantes. Portanto, maiores áreas não necessariamente estão relacionadas à maiores estragos de infraestrutura. Além disso, pequenas alterações na região central do núcleo urbano correspondem a centenas de habitantes impactados. Os números de cada setor estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Área alagada pela elevação do NMM em 2050 e o número de habitantes impactados.

Setores censitários	Habitantes em 2050	Área de IU corrigida (km ²)	Densidade por área de IU por setor censitário (hab_2050/km ²)	Área alagada por IU por setor (km ²)	Proporção de área alagada por IU por setor (%)	Habitantes impactados
352042605...						
0001	532	0.26	2013.77	0.002	0.61	3
0002	541	0.59	909.64	0.060	10.16	55
0004	675	0.33	2065.43	0.002	0.55	4
0005	142	0.23	612.91	0.059	25.26	36
0006	10	0.07	134.93	0.007	10.06	1
0008	253	0.33	761.94	0.014	4.08	10
0010	187	0.25	762.45	0.000	0.00	0
0011	231	0.02	9377.06	0.005	22.03	51
0012	164	0.21	768.05	0.045	21.27	35
0013	582	0.50	1165.21	0.000	0.00	0
0014	601	0.81	741.99	0.079	9.78	59
0015	735	1.15	638.61	0.149	12.92	95
0016	659	0.28	2373.29	0.029	10.48	69
0017	514	2.15	238.74	0.682	31.71	163
0018	377	1.05	358.17	0.055	5.18	20
0019	571	0.28	2012.55	0.000	0.00	0
0020	316	0.19	1690.06	0.008	4.42	14
0021	229	0.38	599.51	0.053	13.83	32
0022	519	0.87	600.32	0.159	18.39	95
0023	690	0.38	1797.08	0.034	8.79	61
0024	562	0.51	1100.22	0.023	4.50	25
0025	526	0.17	3012.24	0.012	6.98	37
0026	372	1.11	335.16	0.386	34.83	129
0027	540	1.78	303.14	0.803	45.10	243
0028	467	0.54	864.95	0.044	8.11	38
0029	570	0.54	1063.29	0.018	3.33	19
0030	194	0.63	307.20	0.112	17.77	34
0031	574	0.51	1119.35	0.019	3.79	22
Município	12332	16.14	763.84	2.86	17.71	1350

Santos e Carmo (2017) realizaram uma extensa pesquisa com relação à percepção do risco ambiental pelos moradores e veranistas da Ilha Comprida. Em resumo, há uma resistência da população da Ponta Norte em mudar-se de balneário mesmo quando suas casas foram atingidas por algum desastre natural (erosão, invasão do mar) ou estão na iminência de serem afetadas. Em entrevistas com moradores e veranistas fica evidente que estes já percebem a elevação do NMM na ilha como descrito nas passagens a seguir retiradas de Santos e Carmo (2017):

“O mar avançou demais, antigamente era esporádico. Nos últimos anos foi aumentando. Antes uma casa caía e demorava pelo menos uns cinco anos... quando a gente comprou aqui era a uns 500 metros do mar e a gente comprou já meio longe por causa da maresia, etc... mas não adiantou, agora já está mais perto, nem sei quantos metros”. (Entrevista #3.07_veranista)

“Sim, está avançando e não tá parando. Antigamente vinha e voltava, agora não tá parando não”. (Entrevista #3.12_morador).

“Sim, o nível do mar subiu com certeza. Bem lento, mas está acontecendo”. (Entrevista #3.13_morador)

Os entrevistados por Silva e Carmo (2017) também responderam que em caso do avanço do mar, recorreriam a recursos próprios, tanto para veranistas como para moradores da Ilha Comprida. A segunda forma de enfrentamento mais respondida foi a Defesa Civil/Prefeitura, em que alguns entrevistados mencionaram que tentariam algum tipo de indenização. O trabalho de Silva e Carmo (2017) traz detalhes da percepção ao risco de elevação do NMM e erosão costeira e maiores informações estão em Silva (2015).

Com esse trabalho cabe agora, identificar locais onde a população poderá se realocar até 2050, se as estimativas e projeções forem concretizadas. Os resultados do presente estudo, embora iniciais, já demonstram o que outros autores perceberam, que é a vulnerabilidade da população da Ponta Norte aos fatores ambientais. Cabe agora, que estas análises tenham sua utilidade dentro do contexto governamental como planos de mitigação e alertas à população que vive na ilha. Outras partes da ilha também passarão por realocação e estratégias de mitigação dos efeitos da elevação do NMM, embora não tenham sido apontadas nesse presente estudo.

Várias reuniões participativas já foram realizadas com a população da Ilha Comprida visando a elaboração de documentos importantes para o planejamento e gestão da cidade (ARAÚJO; CARPI JUNIOR, 2017). Entretanto, parte da população local acabou perdendo o interesse em participar de reuniões públicas participativas de novos trabalhos. Segundo os entrevistados, não existiram retornos com os principais resultados obtidos sobre tais participações, ou por muitas vezes, os trabalhos eram inacabados (ARAÚJO; CARPI JUNIOR, 2017).

Serrao-Neumann et al. (2013) identificaram dois fatores críticos que influenciam a adaptação às mudanças climáticas:

- A necessidade de tornar a ciência climática mais útil para os tomadores de decisão.
- O papel da ação coletiva em reforçar a capacidade adaptativa.

Os resultados reforçam a necessidade de se pensar em ações que deverão ser viáveis daqui 30 anos.

5. CONCLUSÕES

O trabalho demonstrou a necessidade de redistribuir a população, a fim de excluir do contexto as áreas de vazios demográficos. Foi possível observar uma inconsistência entre os dados do IBGE e do Mapbiomas para um setor censitário da Ponta Norte o que pode ter subestimado a população impactada. Mesmo diante dessa subestimativa o número de habitantes que precisarão se realocar ainda é alto. Além disso, foi utilizado uma projeção conservadora para a elevação do NMM. A continuação deste estudo deve levar em conta outros fatores que agravam o impacto do ambiente sobre a população.

REFERENCIAS

ALBARICI, F. L.; GUIMARÃES, G. N.; TRABANCO, J. L. A. 2018. Análise relativa do nível médio do mar em Cananeia/SP. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 176-193.

AMANCIO, L. S. 2021. Estudo da série histórica do Nível Médio do Mar, sua relação com clima e ocupação urbana. **Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental)** - Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo. 46 p.

ARARIPE, C.; FIGUEIREDO, P.; DEUS, A. 2008. Zoneamento de APA. Preocupação com a capacidade de suporte ou garantia da ação antrópica capitalista? O caso de Ilha Comprida, Litoral Sul de São Paulo. IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, **Anais [...]**, Brasília, DF, jun. 2008.

ARAÚJO, V. G. 2015. Conflitos Entre Áreas de Uso e Ocupação das Terras e Áreas de Conservação no Município de Ilha Comprida (SP). **Monografia (Bacharelado em Geografia)** - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 74 p.

ARAÚJO, V. G.; OLIVEIRA, R. C. 2017. Conflitos entre o uso da terra e unidades de conservação em áreas litorâneas: o caso da APA Ilha Comprida (SP), Fórum Ambiental da Alta Paulista, **Periódico Eletrônico**, v. 13, n. 1., p. 14-24.

BECEGATO, J. L.; SUGIO, K. 2007. Impacto ambiental antrópico na APA (área de proteção ambiental) da Ilha Comprida (SP): da pré-história à atualidade. **Revista UnG – Geociências**, v. 6, n. 1, p. 107-117.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS. **Guia para Integração dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável nos Municípios Brasileiros: Gestão 2017-2020**. Brasília: CNM, 2017. 140 p.

DALMAS, F. B.; OJEDA ZÚJAR, J.; FRAILE-JURADO, P.; PARANHOS FILHO, A. C.; OLIVEIRA, A. P. G.; SAAD, A. R.; MACEDO, A. B. 2020. Modeling of a future scenario of potential sea level rise and consequences to land use in the Cananéia-Iguape EstuarineLagoonal Complex (Brazil). **Pesquisas em Geociências**, v. 47 (2020), n. 1: e0876, doi.org/10.22456/1807-9806.101332.

FOX-KEMPER, B.; HEWITT, H. T.; XIAO, C.; AÐALGEIRSDÓTTIR, G.; DRIJFHOUT, S. S.; EDWARDS, T. L.; GOLLEDGE, N. R.; HEMER M.; KOPP, R. E.; KRINNER, G.; MIX, A.; NOTZ, D.; NOWICKI, S.; NURHATI, I. S.; RUIZ, L.; SALLÉE, J-B.; SLANGEN, A. B. A.; YU, Y. 2021, Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. **In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KOPP, R. E. 2021. IPCC climate report: Profound changes are underway in Earth's oceans and ice – a lead author explains what the warnings mean. **Journal The Conversation [online]**. Disponível em: <https://theconversation.com/ipcc-climate-report-profound-changes-are-underway-in-earths-oceans-and-ice-a-lead-author-explains-what-the-warnings-mean-165588> Acessado em: 02/09/2021.

MESQUITA, J. L. 2021. Ilha Comprida está ameaçada pela especulação imobiliária, **Mar sem Fim [online]**. Disponível em: <https://marsemfim.com.br/ilha-comprida-esta-ameacada-pela-especulacao-imobiliaria/> . Acesso em: 24/08/2021.

SANTOS, F. M. 2015. Dinâmica populacional e mudanças ambientais: riscos e adaptação em Ilha Comprida, litoral sul de São Paulo. **Tese (Doutorado em Demografia)** - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, 236 p.

SANTOS, F. M.; CARMO, R. L. 2017. As dimensões humanas das mudanças ambientais: percepção ambiental e estratégias de adaptação em Ilha Comprida–São Paulo. **Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 17, n. 2, pp. 117-137.

SERRAO-NEUMANN, S.; DI GIULIO, G. M.; FERREIRA, L. C.; CHOY, D. L. (2013) - Climate change adaptation: Is there a role for intervention research? **Futures**, n. 53, p. 86-97.

SIGAM (2016). Meio Socioeconômico – ARIEG, **Diagnóstico Técnico – Produto 2**, 32 p.

SILVA, M. S. S.; GUEDES, C. C. F.; SILVA, G. A. M.; RIBEIRO, G. P. 2021. Active mechanisms controlling morphodynamics of a coastal barrier: Ilha Comprida, Brazil. **Ocean and Coastal Research**, v69:e21004. doi.org/10.1590/2675-2824069.20-338mss

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; NETO, L. C. F.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. 2020a. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sens.** v. 12, i. 7, e. 2735. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

SOUZA et al. (2020b) - Urban Infrastructure ATBD - **Coleção 5**. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Urban_Infrastructure_ATBD_Colecao_5.0_v1.docx.pdf. Acesso em: 24/08/2021.

SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, R. C. 2016. Modificações do uso da terra em paisagens costeiras: a Ilha Comprida (SP) como estudo de caso. **Geographia Meridionalis**, Pelotas, v. 2, n. 1, p. 84-108.

SOUZA, T. A.; OLIVEIRA, R. C. 2017. Alterações do uso da terra na Ponta da Praia e no Pontal da Trincheira, município de Ilha Comprida (SP), entre os cenários de 1972 e de 2012. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física, Campinas, São Paulo, **Anais [...]**, p. 6591-6602. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.1854.

TURRA, A.; BIAZON, T. Uma década para garantir o futuro do oceano. **Jornal da USP [online]**. São Paulo, jan. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/uma-decada-paragarantir-o-futuro-do-oceano/> . Acesso em: 16/07/2021.