



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEODÉSIA**

MARIA BEATRIZ MOREIRA PEREIRA

**ANÁLISE ESPACIAL DA POPULAÇÃO DO ESTADO DA BAHIA VULNERÁVEL À
ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR COM APOIO DE DADOS DE OBSERVAÇÃO DA
TERRA**

**Salvador
2023**

MARIA BEATRIZ MOREIRA PEREIRA

**ANÁLISE ESPACIAL DA POPULAÇÃO DO ESTADO DA BAHIA VULNERÁVEL À
ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR COM APOIO DE DADOS DE OBSERVAÇÃO DA
TERRA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes de Geodésia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Pedrassoli

Salvador

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA
Rua Prof. Aristides Novis nº 2 Federação - CEP 40.210-630 - Salvador – Bahia
e-mail: agrimensura@ufba.br

ENGJ43 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO II
FICHA DE AVALIAÇÃO

ALUNO: Maria Beatriz Pereira Moreira recebeu o conceito final	
TÍTULO: Análise espacial da população do estado da Bahia vulnerável à elevação do nível do mar com apoio de dados de observação da Terra	
ORIENTADOR(A):	Julio Cesar Pedrassoli
PROFESSOR(A) 1:	Heinrich Hasenack
PROFESSOR(A) 2:	Patricia Lustosa Brito
PROFESSOR(A) 3:	

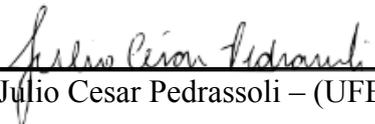
Avaliação da Banca

	ORIENTADOR	PROFESSOR 1	PROFESSOR 2	PROFESSOR 3
Conceito por avaliador	aprovado	aprovado	aprovado	

Conceito final da banca: () APROVADO(A) () REPROVADO(A) () Aprovação condicionada ao atendimento das observações

Correções necessárias: () Não () Sim – Prazo: _____ dias

Salvador, 11 de Dezembro de 2023,


Julio Cesar Pedrassoli – (UFBA)


Heinrich Hasenack (UFRGS)


Patricia Lustosa Brito – (UFBA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, Carla Vianna, que sempre soube que eu conseguiria concluir, antes mesmo de mim. Dedico a minha avó, Deuzedina Vianna, que sei que está me acompanhando e dando forças de onde estiver. Dedico também à minha família que sempre me apoiou e possibilitou focar nos estudos e aspirações profissionais, de forma mais direta ao meu pai, Márcio Melo, meus irmãos, Camilla, Melissa, João e Valentina, meus avós, Luiz Fernando, Marlene, Simone e Ubiratan, meus sobrinhos Lucca e Luiz Henrique e todos os meus tios e primos. Dedico também a Raul Magno, meu amor, que me ajudou durante toda a formação e apoiou todas as minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, minha mãe Carla Vianna, meu pai Márcio Melo, meus irmãos Camilla Moreira, Melissa Vianna, João Melo e Valentina Melo e meus avós, Deuzedina Vianna, Luiz Fernando Moreira, Marlene Campos, Simone Melo e Ubiratan Faria, que me formaram e me deram todo o suporte nesta jornada.

Agradeço aos meus tios, Aline Pereira, Axel Hegouet, Renata Moreira, Fernando Pereira, Luiz Fernando Filho, Carlos Roberto Vianna, Luciana Melo, Viviane Zanini e Marcela Emília, que me incentivaram e corrigiram sempre que precisei de assistência

Agradeço a Raul Magno, meu parceiro de vida, companheiro de curso e de profissão que tanto me ajudou de maneira técnica, me apoiou durante a elaboração deste trabalho e acolheu as minhas dificuldades.

Agradeço ao professor Dr. Julio Pedrassoli, por toda disponibilidade, ensinamentos, pelas dicas e correções, e pela paciência durante a execução deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia da Escola Politécnica da UFBA, por todo o conhecimento passado durante a minha formação, em especial, os professores Dra. Fernanda Puga, Msc. Fabíola Andrade, Dr. Artur Brandão, Dra. Vivian Fernandes e Dra. Patrícia Lustosa, que me deram oportunidades de pesquisa em iniciação científica, auxiliaram no desenvolvimento profissional com oportunidades de estágio e tanto agregaram na minha formação.

Agradeço a Lorena Nizama, pelo companheirismo e apoio irrestrito, na confecção deste trabalho e durante todo o curso. Por todo suporte, direcionamentos, esforços, desenvolvimento de projetos profissionais e amizade.

Agradeço a Leonardo Dias, pelas dicas que me ajudaram neste trabalho, pela parceria nas demais disciplinas e pela amizade construída nesse período.

Agradeço aos meus colegas da UFBA, que se tornaram amigos e me ajudaram nesta jornada: Luana Lyra, Misael Bispo, Sofia Sinoti, Ítalo Tavares, Gabriele Lisboa, Mateus Ribeiro, Roberto Victor, Victor Gomes, Paula Emanuelle e Marcelo Trindade.

Agradeço aos meus primos, Bruna Rosa, Cecília, Manuela, Bernardo e Matheus, e aos meus sobrinhos, Lucca Moreira e Luiz Henrique Moreira, por tornarem

minha jornada mais interessante.

Agradeço aos amigos que construí ao longo da vida, que estão comigo até hoje e viram de perto essa caminhada até aqui: Pietra Fassheber, Maria Eduarda Biondi, Cleison Nascimento, Luana Guimarães e a todos os outros que participaram da minha construção.

Agradeço ao pessoal da FMLF, que me acolheram no meu primeiro estágio e enriqueceram a minha construção profissional.

Agradeço aos amigos que fiz na Belov Engenharia, que trouxeram novos conhecimentos, sempre ensinados com paciência, e proporcionou um grande crescimento profissional e pessoal.

Agradeço, por fim, a todos os colaboradores da SCCON, lugar que me proporcionou grande crescimento profissional e apreço pelo sensoriamento remoto.

RESUMO

O aumento do nível do mar resultante das iminentes mudanças climáticas traz a discussão sobre a necessidade de estudos e estimativas das áreas e população afetadas direta e indiretamente. A utilização de métodos de sensoriamento remoto, possibilita a realização destes estudos em áreas com grande extensão territorial e a baixo custo. Neste trabalho desenvolveu-se uma metodologia de análise de dados populacionais e altimétricos e sua relação com a proximidade litorânea para o estado da Bahia. Foi construído um código, na plataforma Google Earth Engine, que possibilita o cálculo da população que está inserida em áreas passíveis de sofrer alterações com a elevação do nível do mar. As técnicas empregadas permitiram a divisão da diferença de elevação existente na Bahia em faixas de altitude com intervalo de 100 m, a soma populacional inserida em cada uma destas faixas, os municípios que são abarcados pelas altitudes mais próximas ao nível do mar e a relação da área urbanizada com a proximidade da linha de costa. Os resultados apresentam as cidades que correm o risco de terem o maior número de cidadãos afetados e as regiões das cidades a serem afetadas. Essa metodologia se mostrou adequada para este tipo de análise gerando resultados que expressam a urgência dos órgãos responsáveis pelo planejamento da infraestrutura em incluir instrumentos de adaptação às mudanças do nível do mar e desenvolver estratégias de realocação da população inserida nas áreas costeiras de maneira a reduzir a velocidade de crescimento da população inserida nesta região.

Palavras-chave: População. Altitude. Linha de Costa. Área Urbanizada. Nível do Mar.

ABSTRACT

The rise in sea level resulting from imminent climate change brings about the discussion regarding the need for studies and estimates of the areas and population directly and indirectly affected. The use of remote sensing methods enables the conduct of these studies in areas with vast territorial extension, in addition to being a cost-effective technique. In this work, a methodology for the analysis of population and altimetric data and its relationship with coastal proximity was developed for the state of Bahia. A code was built on the Google Earth Engine platform, allowing the calculation of the population within areas susceptible to changes with the rise in sea level. The employed techniques involve dividing the elevation difference in Bahia into altitude bands with a 100 m interval, summing the population within each of these bands, identifying municipalities encompassed by altitudes closest to sea level, and examining the relationship between urbanized areas and coastal proximity. The results highlight the cities at risk of being affected with a higher number of citizens and the regions within cities that are susceptible to impact. This methodology proved suitable for this type of analysis, generating results that underscore the urgency for infrastructure planning authorities to incorporate adaptation tools for sea level changes and develop strategies for relocating the population in coastal areas to reduce the population growth rate in this region.

Keywords: Population. Altitude. Coastline. Urbanized Area. Sea level

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudanças pretéritas e futuras no oceano e na criosfera	29
Figura 2 - Fluxograma metodológico	30
Figura 3 - Acesso ao modelo digital de elevação SRTM através do Google Earth Engine	31
Figura 4 - Acesso aos dados do WorldPop através do Google Earth Engine	33
Figura 5 - Modelo digital de elevação obtidos do SRTM	37
Figura 6 - Uso e ocupação do solo disponibilizada pelo MapBiomias.....	39
Figura 7 - Localização da área de estudo	40
Figura 8 - Inserção das variáveis iniciais no código	41
Figura 9 - Definição da distância da linha de costa no código	42
Figura 10 - Definição das faixas de altitude	42
Figura 11 - Função para gerar faixas de altitude e exportar imagem	43
Figura 12 - Função para gerar faixas de altitude e exportar imagem	44
Figura 13 - Soma da população por faixas de altitude	44
Figura 14 - Soma da população por faixas de altitude em determinada distância da linha de costa	45
Figura 15 - Trecho do código que calcula máxima e mínima elevação na Bahia.....	48
Figura 16 - Faixas de elevações de altitude da Bahia.....	49
Figura 17 - Faixas de elevações de altitude da Bahia com limites municipais	52
Figura 18 - Delimitações geográficas das regiões costeiras delimitadas pelas distâncias escolhidas	56
Figura 19 - Área urbanizada sobre as faixas de altitude em toda a área de estudo..	68
Figura 20 - Área urbanizada sobre as faixas de altitude aproximada para região costeira.....	70
Figura 21 - Mancha urbana sobre as faixas de altitude na RMS.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia	51
Gráfico 2 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia	53
Gráfico 3 - População existente nos municípios com mais pessoas nas faixas 21, 20 e 19	54
Gráfico 4 - Populações residentes na faixa de altitude mais baixa por distância da linha de costa	57
Gráfico 5 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 1 km de extensão da costa.....	60
Gráfico 6 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 5 km de extensão da costa.....	62
Gráfico 7 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 10 km de extensão da costa.....	65
Gráfico 8 - População existente nas faixas de 21 a 12 em 50 km de extensão da costa.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores das variáveis para o cálculo do Índice de Suscetibilidade	25
Quadro 2 - Dados Geoespaciais implementados	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Projeções de alterações nas temperaturas futuras para dois períodos sob quatro RCPs.....	28
Tabela 2 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia	49
Tabela 3 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano	52
Tabela 4 - Populações residentes na faixa de altitude mais baixa por distância da linha de costa	56
Tabela 5 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 1 km da costa	58
Tabela 6 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 1 km de extensão da costa.....	59
Tabela 7 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 5 km da costa	60
Tabela 8 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 5 km de extensão da costa.....	61
Tabela 9 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 10 km da costa	63
Tabela 10 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 10 km de extensão da costa.....	64
Tabela 11 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 50 km da costa	65
Tabela 12 - População existente nas faixas de 21 a 12 em 50 km de extensão da costa.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
1.1	DADOS E MÉTODOS PARA MODELAGEM DA EXPOSIÇÃO AO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	20
2	REVISÃO TEÓRICA.....	20
2.1	O PROBLEMA DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR PARA AS CIDADES NO BRASIL E NO MUNDO	20
2.1.1	Dificuldades para a população costeira no âmbito nacional	21
2.2	CÁLCULOS DE AUMENTO DO NÍVEL DO MAR E DE EXPOSIÇÃO DAS POPULAÇÕES URBANAS COSTEIRAS	22
2.2.1	Sistematização de projeções do aumento do nível do mar	23
2.2.2	Identificação da população costeira em situações de vulnerabilidade... 24	
2.3	DADOS ABERTOS ACESSÍVEIS DISPONÍVEIS PARA ESTA APROXIMAÇÃO NO BRASIL	25
2.3.1	Quantidade e distribuição geográfica da população	26
2.3.2	Modelo digital de elevação	26
2.3.3	Áreas urbanizadas em regiões costeiras	27
2.3.4	Mudanças físicas causadas pelo aquecimento global	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
3.1	MÉTODOS.....	30
3.1.1	Definição das faixas de altitudes	30
3.1.2	Cálculo da população por faixa de altitude	32
3.1.3	Distribuição da população em relação à distância da linha de costa.....	33
3.1.4	Identificação da área urbanizada nas regiões mais próximas à linha de costa	34
3.2	MATERIAIS.....	35
3.2.1	SRTM	36
3.2.2	WorldPop.....	37
3.2.3	MapBiomas.....	38

3.3	ÁREA DE ESTUDO.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	CÓDIGO GOOGLE EARTH ENGINE	41
4.1.1	Etapas de construção e disponibilidade	41
4.1.2	Adaptabilidade e replicabilidade	45
4.2	ANÁLISES POPULACIONAIS COSTEIRAS.....	48
4.2.1	População por faixas de altitude.....	48
4.2.2	Variação altimétrica por município baiano e respectivas densidades demográficas	51
4.2.3	Relação populacional com a distância da linha de costa.....	55
4.2.4	Identificação da área urbanizada na área de estudo e sua proximidade com a linha de costa.....	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
5.1	CONCLUSÕES.....	72
5.2	LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A elevação do nível do mar é uma das consequências climáticas que mais preocupa os órgãos governamentais responsáveis pelo planejamento e infraestrutura das cidades. Cidades costeiras e/ou de baixa altitude serão as mais afetadas em um futuro cenário com variação marítima elevada. Existem muitos estudos sobre as mudanças climáticas provocadas por ações antrópicas, sobretudo estudos que relacionam as alterações do clima futuro com a emissão de gases poluentes e demais atividades humanas.

As evidências científicas apontam que uma das principais alterações causadas pelo aquecimento global é a contínua perda de massa nas calotas polares e geleiras e diminuição da extensão e espessura do gelo marinho no Ártico, devido ao aumento de temperaturas. Essa perda de massa adiciona um valor de água doce aos oceanos, alterando não só o nível de água como as suas características físicas e biológicas. O aumento do nível do mar não acontece de maneira uniforme em todo o planeta, suas variações implicam em diferentes consequências para as regiões.

O Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (SROCC/IPCC, 2019) aponta como principais consequências desta adição de massa d'água os aumentos nos ventos e chuvas de ciclones tropicais, o tamanho das ondas extremas, crescimento de eventos extremos de nível do mar, erosão costeira e inundações. Os estudos que embasam o relatório apontam também uma alteração nas regiões onde estes eventos ambientais acontecem, visto que se observou uma migração da intensidade e da frequência de ciclones tropicais do Pacífico Norte nas cinco últimas décadas.

As alterações ocorrem tanto em características físicas como citadas, como biológicas, modificando e reduzindo os ecossistemas marinhos e costeiros. É importante salientar que os ecossistemas costeiros são os responsáveis por aplacar os impactos do aumento do nível do mar na linha costeira.

Vale ressaltar que os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade se diferenciam quanto à disposição de risco. Sendo a suscetibilidade a probabilidade de ocorrer um determinado fenômeno independente dos fatores sociais associados à situação. Enquanto a vulnerabilidade implica risco, fragilidade ou dano, apresentando a ameaça de não se ter as necessidades mínimas cobertas.

A vulnerabilidade da população em relação às implicações citadas é lida como qualquer impacto negativo que a população sofre por essa alteração marítima. Isso inclui insegurança alimentar, recursos hídricos, qualidade da água, meios de subsistência, saúde e bem-estar, infraestrutura, transporte, turismo e recreação, que são alterados de maneira desigual entre as populações de cada região.

As projeções para a perda de massa de gelo e acréscimo do nível do mar são crescentes para as próximas décadas, considerando o constante aumento de temperatura do ar. Regiões com geleiras menores (Europa Central, Cáucaso, Ásia Central, Escandinávia, Andes tropicais, México, leste da África e Indonésia) têm projeção de total descongelamento ainda neste século, mesmo que haja diminuição da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

Até o meio do século atual é previsto que o número de eventos extremos em relação ao nível do mar, que aconteciam uma vez por século até o passado, passem a acontecer com maior frequência, chegando a se tornarem eventos anuais. As mudanças projetadas em ondas e marés variam localmente quanto à amplificação ou atenuação desses riscos (IPCC, 2019), entretanto, num cenário de emissão constante de gases, a projeção é de elevação do nível do mar em até 1 m até o ano de 2300.

Segundo o estudo *O Futuro que Não Queremos* (UCCRN, 2018), a população urbana total em risco devido ao aumento do nível do mar, pode chegar a mais de 800 milhões de pessoas, distribuídas por 570 cidades, até 2050. No entanto, “nenhum estudo integrado sobre a vulnerabilidade dessas cidades ao aumento do nível do mar e aos outros efeitos das mudanças climáticas, incluindo o aumento da frequência e intensidade das chuvas, foi realizado no Brasil” (PBMC, 2016). O Sexto Relatório de Avaliação (IPCC, 2022) traz informações de fácil acesso como resposta ao aumento do nível do mar, como opções de adaptação e barreiras, mas a conclusão apresentada visa evitar novos desenvolvimentos em locais costeiros expostos e incentivar a realocação, como únicas possibilidades de eliminar os riscos costeiros nas próximas décadas. Algumas outras pesquisas corroboram os resultados das citadas, avaliando, pelo menos, três diferentes cenários, e reconhecendo que o problema é global, porém, em sua maioria, os resultados quantitativos são descritos principalmente para regiões ao norte do planeta e/ou no continente asiático, como em Strauss (2021).

Muito se fala sobre as consequências ambientais envolvidas no aumento do nível do mar, entretanto, ainda existe um déficit de avaliação em relação aos riscos para as comunidades costeiras. Também é difícil encontrar referências literárias

acerca das comunidades do sul global, como planos de adaptação às mudanças climáticas do Brasil, por exemplo.

Existem planos de adaptação sendo realizados em diferentes partes do país, porém é comum que todos eles sejam planejados em escala local, geralmente na esfera municipal. A cidade de Salvador possui o Plano de Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima (PMAMC, 2020), que tem, entre outros objetivos, projetar futuros cenários de emissões, desenvolver um Índice de Risco Climático, conduzir estudos de inclusão e garantir uma construção participativa do plano.

O Índice de Risco Climático desenvolvido no PMAMC de Salvador foi definido com base em projeções de estudos como o relatório especial Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras às mudanças climáticas (PBMC, 2017) e (BELÉM, 2007) que apontam uma elevação de 8 cm no período entre 1992-2006, apresentando uma estimativa de que este valor atinja 50 cm até 2050 ou 2100. A metodologia do PMAMC aponta que a análise de risco frente às mudanças do clima foi baseada nos conceitos apresentados na avaliação de risco do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC - AR5 (IPCC, 2014) porém com uma abordagem contemplando, inicialmente, apenas a vulnerabilidade social. As ameaças climáticas utilizadas foram: inundações, deslizamentos, ondas de calor, proliferação de vetores de doenças e secas meteorológicas. E, para ameaça do aumento do nível do mar, foram considerados dados secundários disponibilizados pelo Climate Central (disponíveis em: <https://www.climatecentral.org>). Cada uma das ameaças avaliadas gerou um mapa resultante, dividido em bairros e prefeituras-bairro, que mostram cinco classes de risco, de muito baixo a muito alto.

A partir disso, três anos foram adotados como marcos temporais para definição de metas intermediárias gerais de mitigação e de adaptação para Salvador. Também foram apresentadas ações em formato de fichas para alcance destas metas. Apesar de ser um plano bem estruturado e realista, é um plano pensado para o município e, não pode ser replicado para maiores localidades, visto que é inteiramente baseado na realidade local. O Brasil é um país com dimensões continentais e isso dificulta o estudo das variações no país como um todo, pois como já citado, as variações não ocorrem de maneira uniforme. Entretanto, estudos como o proposto neste trabalho são necessários para estimar uma exposição de população vulnerável em uma proporção estadual, para que possibilite a definição de planos de ação com financiamento e envolvimento estatais.

No Brasil, a zona costeira se estende por mais de oito mil quilômetros, passando por 17 estados e 274 municípios (MMA, 2018), sendo a zona costeira do estado da Bahia a mais extensa, com quase um oitavo do total. Levando em consideração a necessidade de conhecimento quantitativo acerca da população que compõe essa região, este trabalho busca analisar a relação entre o crescimento populacional e a faixa costeira da Bahia, assim como o crescimento populacional em áreas com altitudes mais próximas do nível médio dos mares. Para isso, é necessário, também, realizar a análise temporal da mudança de uso e ocupação do solo sobre todas as faixas de altitude, visando avaliar as consequências destas alterações num aumento de risco populacional com a alteração de nível marítimo.

1.1 DADOS E MÉTODOS PARA MODELAGEM DA EXPOSIÇÃO AO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR

Utilizar um Modelo Digital de Elevação (MDE) com os dados de modelagem espacial e os dados de uso e ocupação do solo proporcionam uma alternativa mais eficiente em comparação aos métodos tradicionais, em relação à área de abrangência e tempo de análise.

Os dados do MDE permitem a avaliação e análise da suscetibilidade natural, pois trata da disposição geográfica da região e a probabilidade dos fenômenos naturais, acelerados pela ação antrópica de aquecimento global, atingirem aquela região. Os dados populacionais permitem a avaliação e análise da vulnerabilidade da comunidade que está inserida nas áreas de maior proximidade com o nível do mar. Os dados de uso e ocupação do solo permitem a interação entre as informações quantitativas e qualitativas do risco de sofrer danos para a população com o estudo da elevação do nível do mar e as ocorrências das dinâmicas naturais que vão se comportar de maneira mais intensa nessas regiões.

Por meio da integração destes métodos, é possível desenvolver mapas de risco em cima dos dados conhecidos de elevação do nível do mar. O mapeamento de risco de inundação é frequentemente o primeiro passo para o gerenciamento de risco de inundação (Plate 2002).

O MDE tem sido usado como parte integrante de bancos de dados GIS visando a modelagem hidrológica (Correia et al. 1998; Singh e Saraswat, 2016). Existem alguns modelos de elevação disponíveis de acesso gratuito e digital, como os extraídos do SRTM, ALOS, TanDEM-X, ASTER GDEM etc. É necessário se atentar

ao utilizar um produto de qualidade, em termos de precisão e resolução, e que tenha dados suficientes para a localidade de estudo, para servir de base para uma análise de risco de inundação, sendo assim, o produto escolhido para compor este trabalho foi o MDE oriundo da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

A união entre técnicas e ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com o aumento da disponibilidade de imagens de sensoriamento remoto tem feito com que o campo das estimativas populacionais para pequenas áreas, a partir da utilização de imagens orbitais, se popularize. Existem algumas bases de dados globais calculadas através dessa metodologia, tais como WorldPop, Global Human Settlement Layer (GHSL), Center for International Earth Science and Information/Socioeconomic Data and Application Center (CIESIN/SEDAC), e existem os dados regionais e locais, que possuem maior precisão, como o censo demográfico (IBGE).

Alguns trabalhos feitos para conferir a qualidade das projeções populacionais produzidas por modelagem espacial apresentaram resultados satisfatórios sobre essas projeções. “Pode-se inferir que o mapeamento via imagens orbitais contribui para a produção de estimativas mais robustas em áreas de baixa densidade populacional e mais afetadas por fluxos migratórios” (CAMPOS, 2022). Como essas metodologias permitem uma projeção populacional de intervalo curto de tempo e precisão compatíveis com o objeto e intuito do estudo, o produto escolhido para compor este trabalho foram os dados de modelagem espacial do Projeto Global WorldPop.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo estimar a população existente no estado da Bahia que está exposta a sofrer maiores riscos como consequência da elevação do nível do mar.

1.2.2 Objetivos específicos

Para obter resultados condizentes com o objetivo geral da pesquisa, estabeleceu-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Calcular a população existente para faixas de altitude com intervalo de 100 m;

- b) Identificar relação entre a quantidade populacional e as faixas de distância da costa marítima;
- c) Definir quantas pessoas viviam próximas à costa e em baixas altitudes na Bahia em 2020;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho é composto por 5 capítulos. O primeiro capítulo é responsável por apresentar o tema da pesquisa, sua importância e objetivos. O segundo capítulo apresenta uma fundamentação teórica do tema e a descrição dos principais conceitos relacionados ao estudo. O terceiro capítulo descreve os materiais utilizados para desenvolver a análise e a metodologia proposta para a pesquisa. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos, assim como as discussões sobre os resultados esperados e as diferenças entre estes. O quinto, e último, capítulo apresenta as considerações finais acerca das conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é revisar os conceitos teóricos que embasam a temática do trabalho, com ênfase no problema do aumento do nível do mar, os métodos mais utilizados para a estimativa da ocupação de áreas inundáveis e a disponibilidade de dados existentes para este tipo de análise. Os tópicos foram definidos com o intuito de, inicialmente, fundamentar a problemática, basear a metodologia definida e escolha dos elementos geográficos utilizados e de trazer os dados já existentes sobre a linha de pesquisa deste estudo.

2.1 O PROBLEMA DO AUMENTO DO NÍVEL DO MAR PARA AS CIDADES NO BRASIL E NO MUNDO

71% de sua superfície da Terra é composta por oceanos e, cerca de, 10% de sua área coberta por geleiras ou mantos de gelo. Esta área possui o nome de Criosfera (IHU, 2021). As mudanças no oceano decorrentes do aquecimento global impactam diretamente milhões de pessoas, principalmente, a população costeira com o aumento do nível do mar, e, conseqüentemente, seu avanço sobre a costa. Cohen e Small (1998) estimaram que 1.883.109 pessoas, ou aproximadamente 33% da população mundial, viviam a menos de 100 metros de altitude em relação ao nível do

mar, mas apenas 15,6% de toda a área habitada se encontrava abaixo dos 100 metros de elevação.

Mudanças no tamanho ou localização das massas de gelo podem alterar o nível do mar, afetar as correntes oceânicas, aumentar a frequência e amplificar as ondas extremas, assim como, intensificar os ventos e chuvas dos ciclones tropicais. Os ecossistemas marinhos e costeiros são os mais afetados por essas alterações, tendo em vista que cerca de 40% da população do planeta vive em até 60 km da costa (Hanson, 2011). Desde 1993, tanto os satélites como os marégrafos registraram uma subida do nível do mar de cerca de 3,2 mm/ano (IPCC, 2013; Masters, 2012).

Os assentamentos costeiros representam, muitas vezes, a expansão urbana desordenada, com a proliferação de habitações informais, em especial nos países de baixa e média renda, intensificando a vulnerabilidade a perigos como erosão costeira, inundações costeiras, alagamentos e enchentes, e movimentos de massa nas encostas, que são consequências das alterações ambientais descritas acima.

Alguns dos impactos negativos observados na realidade da população como um todo são a insegurança alimentar e hídrica. As mudanças climáticas interromperam o acesso e a disponibilidade de alimentos nas áreas de pastoreio, caça, pesca e coleta, prejudicando os meios de subsistência da população (IPCC, 2019).

2.1.1 Dificuldades para a população costeira no âmbito nacional

A frequência, intensidade e concentração de chuvas intensas têm aumentado nas últimas décadas no sudeste brasileiro (Magrin, 2014), isso, associado aos fatores físicos, sociais e econômicos expõem as cidades a riscos extremos de inundações e secas. No Brasil, as principais cidades em áreas continentais e costeiras ficam nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, entre essas, as áreas consideradas com maior risco são aquelas com maior densidade demográfica.

A maior parte dos elementos que compõem a zona costeira brasileira estão situados em cotas inferiores a 10 m acima do nível médio do mar (NMM) e são expostos a uma dinâmica de interação terra-mar-ar que potencializa as ameaças de impacto das mudanças climáticas (PBMC, 2016).

Em relação ao aumento no nível do mar, as principais implicações que podem ser geradas são aumento da erosão costeira, aumento da frequência e intensidade das inundações costeiras, perdas de terrenos naturais e urbanizados/antropizados,

fragmentação e até destruição de ecossistemas marinhos e costeiros, migração de espécies de fora do ecossistema, aumento da vulnerabilidade de pessoas e construções, redução dos espaços habitáveis, acidificação e perda de oxigênio das águas superficiais, comprometimento dos sistemas de saneamento básico (esgoto e água potável), impactos nas atividades portuárias, perda de solos férteis, problemas nas atividades agropecuárias, industriais, turísticas e de serviço-comércio, comprometimento dos recursos pesqueiros, perda de potencial turístico, alto custo para recuperação, prejuízos socioeconômicos e perda da qualidade de vida. Em relação ao risco de mortalidade, um maior número de vítimas está associado a desastres hidrológicos, particularmente na costa do leste do Nordeste, e nas regiões Sudeste e Sul do Brasil (PBMC, 2016). Os riscos associados podem ser manifestados em termos econômicos e na mortalidade da população. O risco hidrológico é maior, em termos de perdas econômicas, nos estados do Sul e Sudeste (PBMC, 2016).

A expansão urbana, proveniente do aumento populacional, intensifica o uso da terra, e pressiona ambientes costeiros levando à perda de habitats (Rosenzweig, 2015). Contudo, apesar da grande exposição que as zonas costeiras sofrem, estas regiões são bastante atrativas para o estabelecimento de aglomerados urbanos, o que imprime a necessidade de um planejamento urbano estratégico voltado para prevenção de desastres naturais e adaptação/relocação, para minimização dos impactos ocasionados frente às mudanças climáticas, reforçando que a inclusão de planos preventivos relativos aos impactos das mudanças do nível do mar na legislação urbana local é raridade nas cidades brasileiras.

2.2 CÁLCULOS DE AUMENTO DO NÍVEL DO MAR E DE EXPOSIÇÃO DAS POPULAÇÕES URBANAS COSTEIRAS

Os cálculos para estimativa do aumento do nível do mar e para definição de projeções futuras sobre a progressão deste aumento são realizados por diversas instituições, públicas e privadas. Apesar de existirem muitos estudos presentes e análises temporais que apresentam informações quanto ao aumento do nível do mar nas últimas décadas, a maioria das projeções de clima futuro é resultado de regionalização (reduções de escala) das projeções dos modelos climáticos globais. Durante a busca por referências das metodologias já existentes de previsão e projeção do aumento do nível do mar, notou-se uma defasagem muito grande sobre modelos e pesquisas brasileiras, que levam em conta as condições locais específicas. O

modelo que mais se adequa à realidade do Brasil é o modelo regional Eta do CPTEC/INPE, alojado em modelos globais.

Para definição da exposição populacional a essas mudanças, os cálculos são feitos envolvendo questões não apenas ligadas à quantidade populacional, mas também à vulnerabilidade desta população. O crescimento urbano desenfreado gera uma diferença de exposição para as parcelas da população existentes em uma mesma distância do litoral. Os planejamentos urbanos nas áreas costeiras favorecem os interesses imobiliários e turísticos (MAGAROTTO, 2021), essa disparidade gera uma necessidade de variáveis distintas na definição dos cálculos de exposição populacional a riscos de impactos ambientais.

2.2.1 Sistematização de projeções do aumento do nível do mar

Entre 2013 e 2022 houve um aumento médio do nível do mar de 4,62 mm por ano (globalmente), sendo esse número aproximadamente o dobro do ritmo da primeira década registrada, 1993-2002 (OMM, 2022). Esses números alarmantes imprimem a necessidade de estudos específicos sobre este impacto ambiental ocasionado pelo aquecimento global. Alguns destes estudos feitos para vários cenários e várias localidades, em esferas globais e regionais, são as projeções de aumento do nível do mar até o fim do século XXI.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), um órgão criado pela ONU, fornece avaliações científicas regulares sobre a mudança do clima, suas implicações e possíveis riscos futuros. Os produtos gerados pelo IPCC são preparados por três grupos de trabalho, de maneira a abranger todos os aspectos da ciência relacionados à mudança do clima, sendo eles: Grupo de Trabalho I (Base da Ciência Física), Grupo de Trabalho II (Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade) e Grupo de Trabalho III (Mitigação da Mudança do Clima).

O IPCC adota, para produzir cenários de emissões, estágios que incluem uma série temporal de emissões e concentração de gases de efeito estufa que se prolongam até 2100, chamados Cenário RCP (Representative Concentration Pathways) (IPCC, 2013). As avaliações das mudanças futuras projetadas nos relatórios do IPCC são baseadas nos modelos de projeções climáticas utilizando essas RCPs que fornecem um conjunto de muitos cenários possíveis que levariam a diferentes níveis de aquecimento global.

Os cenários de emissões são uma combinação dos modelos climáticos globais que incorporam fatores locais e globais. As projeções de aumento do nível do mar são realizadas utilizando as observações do aumento de 1986 a 2005, avaliando a temperatura média global do ar na superfície, a temperatura média global na superfície do mar, os dias de ondas de calor marinhas, o teor de calor do oceano (0 – 2000 m prof.), a perda de massa do manto de gelo da Groenlândia, a perda de massa do manto de gelo da Antártida, a perda de massa de geleiras, o pH da superfície do oceano, o oxigênio do oceano (100 – 600 m prof), a extensão de gelo marinho no Ártico (setembro), a extensão de cobertura de neve no Ártico (junho) e a área de *permafrost* próxima da superfície, para cada um dos cenários RCP.

2.2.2 Identificação da população costeira em situações de vulnerabilidade

O número de indivíduos em situação de vulnerabilidade em face das inundações costeiras e do aumento do nível do mar em áreas urbanas é estabelecido ao calcular a projeção da população urbana nas regiões suscetíveis das cidades costeiras. Por esta razão, o conhecimento prévio das projeções do aumento do nível do mar é necessário para definir a faixa de abrangência dos impactos, calcular a taxa populacional existente nessa região, as condições de habitação e das edificações, e a forma como a mitigação realizada nessas localidades impactam diretamente as seguintes faixas de distância do mar.

Por se tratar de uma área de estudo sobre projeções futuras, os dados acerca da população também são dados projetados, modelados a partir de diversas fontes de informação como bases de dados globais produzidas por sensoriamento remoto e dados locais de censos demográficos ou pesquisas acadêmicas, por exemplo. Os mapas de uso e cobertura do solo também são imprescindíveis para determinação da porção de território afetado pelo aumento do nível do mar referente a área de infraestrutura urbana.

Utilizando os dados e o crescimento demográfico é possível ter previsões quantitativas, entretanto, alguns parâmetros precisam ser estabelecidos para se estabelecer uma metodologia de antecipação do estado de suscetibilidade e da porção da comunidade que se encontrará sob esta vulnerabilidade. Gornitz (1991) desenvolveu uma metodologia para descrever a suscetibilidade a uma mudança física, que utiliza diferentes intervalos de suscetibilidade (muito baixa a muito alta), associando a cada um deles um valor, como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Valores das variáveis para o cálculo do Índice de Suscetibilidade

Variáveis	Muito Baixa 1	Baixa 2	Moderada 3	Alta 4	Muito Alta 5
Geomorfologia	Costas de falésia rochosa, fiord	Falésias médias, costas recortadas	Falésia baixa, costas de deriva glacial, planície aluvial	Praias cascalhosas, estuários, lagoas	Praias arenosas, pântanos salgados, planos lamosos, deltas, mangues, recifes de coral
Taxas de erosão / acreção (m/a)	>2,0	1,0 – 2,0	-1,0 – 1,0	-2,0 – -1,0	<2,0
Declividade da costa (%)	>1,20	1,20 – 0,90	0,90 – 0,60	0,60 – 0,30	<0,30
Variação relativa do nível médio do mar (mm/a)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Altura significativa da onda (m)	<0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 - 1,25	>1,25
Amplitude da maré (m)	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0

FONTE: Adaptada de Gornitz (1991).

As variáveis apresentadas se tratam de variáveis físicas e geológicas, entretanto, variáveis sociais também devem ser levadas em consideração para determinação da vulnerabilidade da população costeira. Lourenço (2013) aponta que três fatores estão associados à vulnerabilidade em termos ambientais, sendo estes: exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco. Portanto, além da localização da população na união entre as projeções futuras populacionais e marítimas, faz-se necessário avaliar fatores físicos como a acessibilidade a rotas de escape em possíveis situações de risco iminente.

2.3 DADOS ABERTOS ACESSÍVEIS DISPONÍVEIS PARA ESTA APROXIMAÇÃO NO BRASIL

Alguns dados utilizados para identificar e quantificar a população vulnerável à elevação do nível do mar são dados de livre acesso, e estão disponíveis para aproximações realizadas no Brasil. Um dos dados necessários para avaliar essa situação é a estimativa populacional para as próximas décadas, unindo essa

informação ao segundo dado prioritário desta aproximação, a área afetada, estimada, pela elevação do NMM.

Entretanto, para trabalhar com tantas informações estimadas, é necessário conhecer a realidade destes dados, e os modelos matemáticos que permitem calcular dados futuros. Os principais tipos de informações necessárias, existentes e disponibilizadas atualmente sobre áreas litorâneas e passíveis de riscos, são: quantidade e distribuição geográfica da população, modelo digital de elevação, infraestrutura urbana em áreas costeiras, mudanças físicas causadas pelo aquecimento global e as projeções das mudanças destas variáveis.

2.3.1 Quantidade e distribuição geográfica da população

Os dados disponíveis para o Brasil sobre a população que apresentam não somente os números populacionais, mas também a localização destes habitantes são os dados locais e os dados globais.

Os principais dados locais são obtidos do censo do IBGE, que atualmente já foram atualizados para o ano de 2021 (mas agregados apenas a nível municipal), os mapas dos setores censitários. Os dados podem ser acessados por localidade, em formato vetorial ou alfanumérico, permitindo uma construção de análises. São disponibilizados para todo o Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Geográficas Intermediárias, Regiões Geográficas Imediatas, Concentrações Urbanas e/ou Municípios.

Os dados globais, em sua maioria, são dados obtidos a partir de modelagem espacial que consiste em utilizar métodos baseados em dados de sensoriamento remoto e técnicas de análise espacial para estimar e representar a população em superfícies de densidade. Existem algumas bases de dados globais que indicam a distribuição populacional espacial e são disponibilizadas para livre acesso como por exemplo WorldPop, GHSL, CIESIN-SEDAC, entre outras.

2.3.2 Modelo digital de elevação

Para o Brasil, o IBGE disponibiliza um modelo digital que representa as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações. O material está disponível nos formatos TIF e ASCII, nas escalas 1:25000 e 1:50000. Articuladas por folhas segundo o recorte do mapeamento sistemático brasileiro. Abrange um quadrilátero geográfico

de 07'30" de latitude por 07'30" de longitude, segundo informações disponibilizadas nos metadados do produto.

Além do modelo obtido pela fonte local já conhecida, IBGE, as principais fontes de modelos digitais de elevação gratuitos e globais são o SRTM, com modelos digitais de elevação obtidos através de interferometria de radar; o ASTER, com modelos obtidos utilizando técnicas de estereoscopia ótica e fotogrametria digital; o ALOS, modelo também obtido por técnicas de estereoscopia ótica e fotogrametria digital; e o COPERNICUS DEM, com modelos obtidos utilizando dados WorldDEM. Todos os MDE's citados possuem resolução espacial média de 30 metros.

2.3.3 Áreas urbanizadas em regiões costeiras

O processo de povoamento brasileiro favoreceu a implantação das primeiras vilas e cidades na faixa litorânea. De acordo com dados de 2018 do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Brasil apresenta 274 municípios costeiros, altamente urbanizados. Na Bahia, a atividade turística é um dos principais meios para a produção dos espaços urbanos. É grande o número de investimentos destinados ao desenvolvimento do turismo no Litoral Norte, mas estes se concentram em algumas localidades. (Antón, 2014)

Um ponto muito abordado na análise sobre as áreas urbanizadas costeiras da Bahia é o fato de que o turismo é determinante na implantação de infraestrutura. Contudo, as decisões urbanas costumam ser tangenciadas pelas necessidades dos turistas, e não das populações locais. Essas atividades econômicas também impulsionaram a infraestrutura urbana para além do turismo, mas como sendo alvo de segundas residências e condomínios de veraneio de nativos com poder aquisitivo elevado (Vilar, 2013).

2.3.4 Mudanças físicas causadas pelo aquecimento global

Os dados, quantitativos e qualitativos, acerca das mudanças físicas na criosfera e nos oceanos são informações que compõem o Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (SROCC/IPCC, 2019).

A tabela abaixo é apresentada no SROCC com informações de projeções de alterações nas temperaturas futuras para os anos restantes da primeira e para a segunda metade do século XXI, para cada um dos cenários RCP.

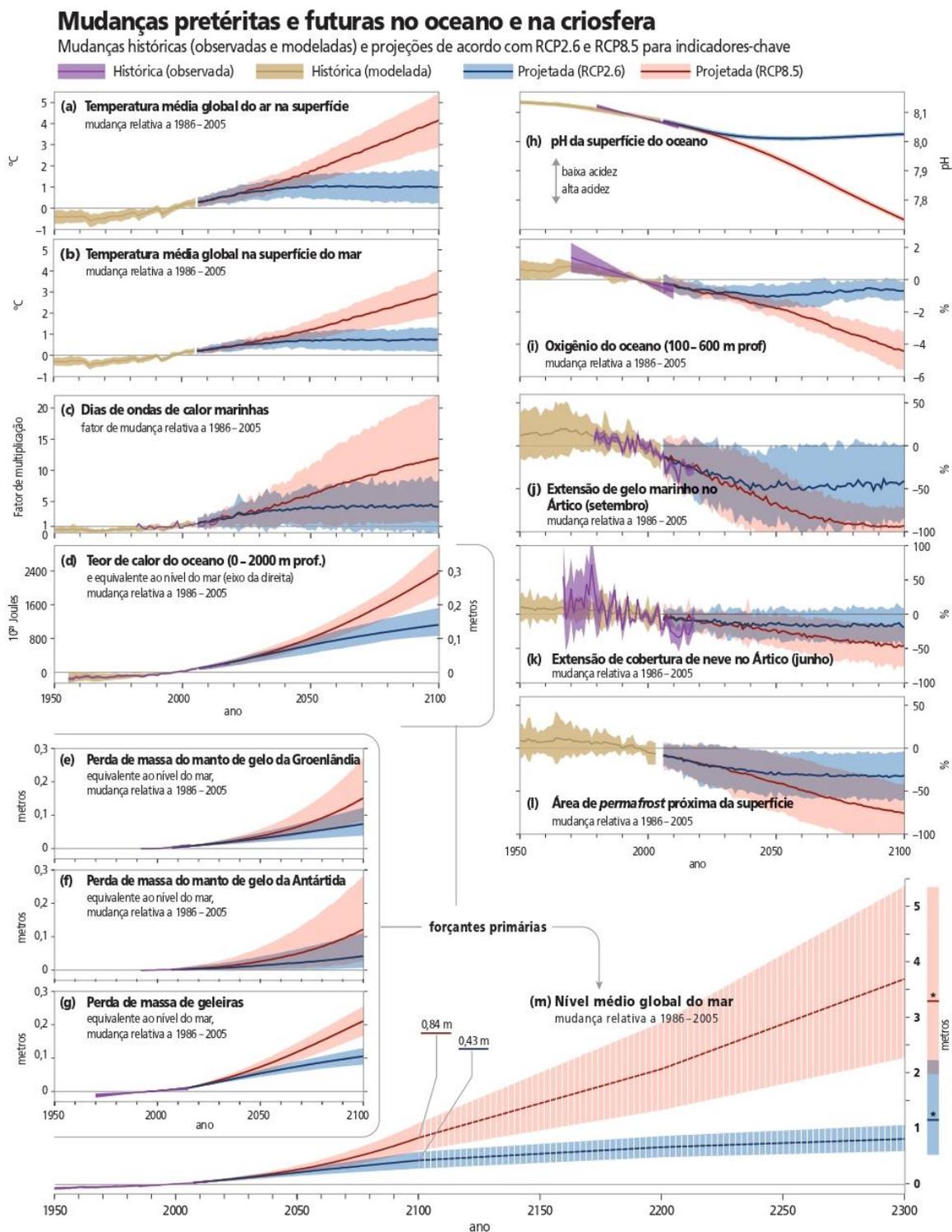
Tabela 1 - Projeções de alterações nas temperaturas futuras para dois períodos sob quatro RCPs

Cenário	Curto-prazo: 2031 –2050		Final do século: 2081 – 2100	
	Média (°C)	Variação provável (°C)	Média (°C)	Variação provável (°C)
RCP2.6	2,0	1,1 a 2,0	1,6	0,9 a 2,4
RCP4.5	1,7	1,3 a 2,2	2,5	1,7 a 3,3
RCP6.0	1,6	1,2 a 2,0	2,9	2,0 a 3,8
RCP8.5	2,0	1,5 a 2,4	4,3	3,2 a 5,4

FONTE: Adaptada do IPCC (2019)

A figura abaixo foi retirada do SROCC e apresenta as mudanças pretéritas e futuras no oceano e na criosfera, uma análise gráfica de mudanças históricas observadas e modeladas e projeções de acordo com RCP2.6 (cenário mais otimista) e o RCP8.5 (cenário mais otimista) para os principais indicadores.

Figura 1 - Mudanças pretéritas e futuras no oceano e na criosfera



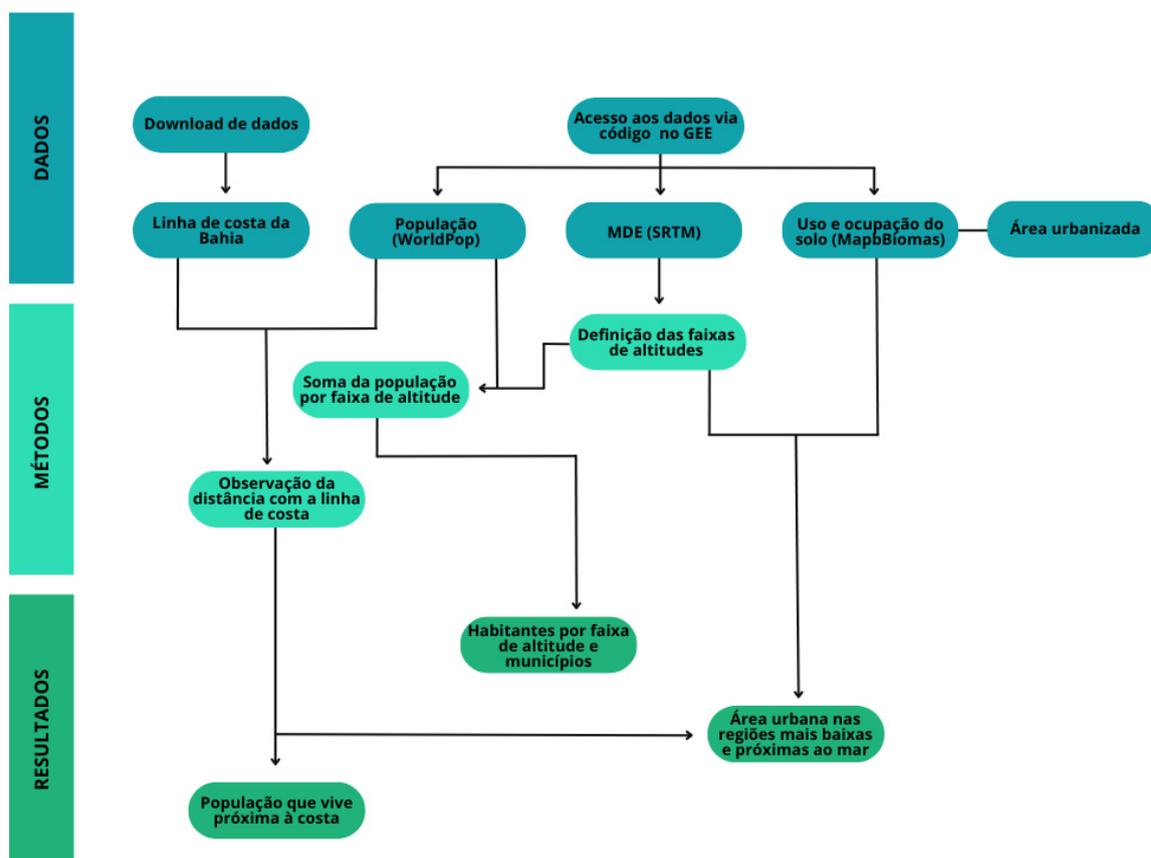
FONTE: Adaptada do IPCC (2019)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos aplicados neste trabalho. Apontam-se as etapas e recursos utilizados para a seleção, inserção e processamento

dos dados de estudo, dentre eles as imagens de satélite e informações organizacionais específicas para as análises. Para obter-se os objetivos descritos, gerou-se um fluxograma de trabalho (Figura 2) com intuito de apresentar as etapas de maneira mais clara, permitindo uma melhor identificação dos resultados intermediários e dos processamentos que serão realizados utilizando esses resultados e um outro grupo de dados iniciais.

Figura 2 - Fluxograma metodológico



FONTE: Autor (2023).

3.1 MÉTODOS

3.1.1 Definição das faixas de altitudes

A definição da população exposta à elevação do nível do mar foi realizada, inicialmente, como tendo seu primeiro passo de metodologia a definição das faixas de altitude existentes na área de estudo, o estado da Bahia, para analisar quais as regiões estão incluídas nas altitudes mais baixas e, assim sendo, as regiões mais expostas a risco de alterações de infraestrutura com o aumento do nível médio dos mares (NMM).

Para esta metodologia, foram empregadas, através de acesso via Google Earth Engine, as informações do Modelo Digital de Elevação (MDE), elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores.

Figura 3 - Acesso ao modelo digital de elevação SRTM através do Google Earth Engine

NASA SRTM Digital Elevation 30m



Dataset Availability

2000-02-11T00:00:00 - 2000-02-22T00:00:00

Dataset Provider

[NASA / USGS / JPL-Caltech](#)

Collection Snippet

```
ee.Image("USGS/SRTMGL1_003")
```

DESCRIPTION BANDS TERMS OF USE CITATIONS

The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, see [Farr et al. 2007](#)) digital elevation data is an international research effort that obtained digital elevation models on a near-global scale. This SRTM V3 product (SRTM Plus) is provided by NASA JPL at a resolution of 1 arc-second (approximately 30m).

This dataset has undergone a void-filling process using open-source data (ASTER GDEM2, GMTED2010, and NED), as opposed to other versions that contain voids or have been void-filled with commercial sources. For more information on the different versions see the [SRTM Quick Guide](#).

Documentation:

- [User's Guide](#)
- [General Documentation](#)
- [Algorithm Theoretical Basis Document \(ATBD\)](#)

FONTE: Adaptada da NASA (2023)

Utilizando as informações disponibilizadas pelo SRTM, calculou-se os valores verdadeiros de mínima e máxima altitude existentes dentro de toda região da área de estudo, através de redução das informações por pixel, impressas na camada de entrada do MDE.

A partir do conhecimento da variação de altitude na área de estudo, foram definidas faixas com variação de 100 m em cada uma delas, exceto na última faixa, pois a variação de altitude não gera um número múltiplo de 100 com resto 0.

Com as faixas definidas, foi necessário inserir os pixels com as altitudes correspondentes às variações dentro de cada uma das faixas, gerando assim o mapa de região correspondente às variações de altitude.

Esta reclassificação foi feita a partir dos valores mínimos de cada uma das faixas, sendo estes sempre 100 números a mais do que o número mínimo da faixa anterior. Através de uma função, foi possível gerar uma coleção de imagens em que cada uma fosse referente à uma faixa de altitude utilizando o menor valor e adicionando 100 para validar o intervalo da faixa, e utilizando a banda de elevação do

MDE para inserir a geometria onde a altitude do pixel corresponde a elevação do intervalo da faixa.

Em seguida, foi realizada uma sobreposição dessas imagens de maneira que os locais que as altitudes mais baixas, como aparecem em todas as camadas, sejam impressas na faixa mais alta e as altitudes mais altas, por só se repetirem em uma faixa serem impressas na faixa 1. Com isso, foi possível adicionar ao mapa da plataforma uma camada com a coleção de imagens com as regiões de mesma altitude separadas com suas informações de faixas de altitude.

3.1.2 Cálculo da população por faixa de altitude

Com o conhecimento e classificação das faixas de altitude presentes na área de estudo, a etapa seguinte para geração dos primeiros resultados que relacionam as variáveis ambientais com as variáveis populacionais foi realizar o cálculo da população presente em cada faixa de altitude, quais faixas de altitude existem em cada um dos municípios baianos e quantos habitantes por faixa de altitude dentro dos municípios.

O cálculo da população por altitude é conhecido como demografia hipsográfica, estudo feitos desde o século passado, como em Cohen (1998), apontam que os números populacionais diminuem mais rápido do que exponencialmente com o aumento da elevação. Validando, assim, esta metodologia de estudo pois imprime a informação de que a densidade populacional dentro de 100 metros verticais do nível do mar é significativamente maior do que em qualquer outra faixa de elevação e representa muito mais pessoas.

Para esta etapa, foram empregadas, através de acesso via Google Earth Engine, as informações de dados demográficos espaciais, elaborados a partir do grupo de pesquisa WorldPop (worldpop.org.uk).

Figura 4 - Acesso aos dados do WorldPop através do Google Earth Engine

WorldPop Global Project Population Data: Estimated R... 🔗



Dataset Availability
2000-01-01T00:00:00 - 2021-01-01T00:00:00

Dataset Provider
[WorldPop](#)

Collection Snippet 🔗

```
ee.ImageCollection("WorldPop/GP/100m/pop")
```

[See example](#)

DESCRIPTION BANDS IMAGE PROPERTIES TERMS OF USE CITATIONS DOIS

Global high-resolution, contemporary data on human population distributions are a prerequisite for the accurate measurement of the impacts of population growth, for monitoring changes, and for planning interventions. The WorldPop project aims to meet these needs through the provision of detailed and open access population distribution datasets built using transparent and peer-reviewed approaches.

Full details on the methods and datasets used in constructing the data, along with open access publications, are provided on the [WorldPop website](#). In brief, recent census-based population counts matched to their associated administrative units are disaggregated to ~100x100m grid cells through machine learning approaches that exploit the relationships between population densities and a range of geospatial covariate layers. The mapping approach is Random Forest-based dasymetric redistribution.

This dataset depict estimated number of people residing in each grid cell in 2010, 2015, and other years.

For 2020, the breakdown of population by age and sex is available in the [WorldPop/GP/100m/pop_age_sex](#) and [WorldPop/GP/100m/pop_age_sex_cons_unadj](#)

FONTE: Adaptada do WorldPop (2023).

Os dados populacionais do WorldPop são disponibilizados em formato de coleção de imagens, para melhor manipulação, transformou-se a coleção em uma imagem única de maneira a permitir que as informações de altitude geradas na etapa anterior fossem adicionadas a essa imagem como uma nova banda de elevação.

A partir da camada de elevação incluída na feição da população, foi possível realizar a soma da população de todo o estado da Bahia de maneira a reduzir cada uma delas para a faixa de altitude correspondente, possibilitando a geração da informação demográfica relacionada à informação topográfica.

Essa mesma relação entre as informações possibilitou a execução do cálculo da população existente nas faixas de altitude pertencentes em cada município. Para isso, foi necessário carregar a informação geográfica da base de municípios da Bahia, para realizar a redução da informação das faixas de altitude por região municipal, e, a partir disso, realizar a soma populacional para cada trecho de faixa de altitude individualmente nos municípios em que estas são existentes.

3.1.3 Distribuição da população em relação à distância da linha de costa.

Os cálculos e métodos acima foram feitos considerando toda a área de estudo, mas também foram feitos para diferentes faixas de distância horizontal da linha de costa, transformando a área de estudos seguinte apenas na região entre a linha de

costa e o limite de distância estabelecido no início do código, foram feitas quatro aproximações utilizando essa limitação, para 1, 5, 10 e 50 km de distância da costa, dado vetorial importado dos órgãos responsáveis no Estado da Bahia.

Para obtenção desses dados, foram reproduzidas as etapas descritas acima, com diferencial de definição de uma distância limite. Essa informação da distância é uma variável a ser incluída pelo usuário, e, inclusive, pode não existir, caso não seja de interesse.

Com a definição desta distância, a linha de costa é reproduzida com um *offset* para dentro da costa e, sendo assim, a partir desta nova linha de costa, a área de estudo passa a se tornar a área total inserida inicialmente, porém agora recortada para que a área criada pela limitação da faixa intermediária entre a linha de costa inicial e a nova.

Tendo essa nova região de interesse definida, os cálculos de faixas de altitude e população por altitude foram agrupados apenas para ela. Após isso, as somas populacionais descritas no tópico 3.1.2 foram realizadas tanto para todo o estado como separadas por municípios, permitindo a definição dos municípios com maior população costeira, por exemplo.

3.1.4 Identificação da área urbanizada nas regiões mais próximas à linha de costa

O reconhecimento da área urbanizada nas regiões mais próximas ao mar foi realizado com a intenção de avaliar a mancha urbana da Bahia e analisar a relação entre esses territórios e a linha de costa do estado. Com o intuito de avaliar a densidade populacional estabelecida nas regiões costeiras e de baixa altitude, esta etapa foi a última realizada no estudo, visto que era necessário ter as informações altimétricas sobre a região costeira.

Para esta observação, foi acessada, através de acesso via Google Earth Engine, a classe de área urbanizada, da Coleção 8 do MapBiomas, recortando todo o estado da Bahia como região de interesse, utilizando a classificação do ano de 2020 para que os resultados gerados nesta etapa estejam de acordo com os dados populacionais comparados.

As informações acessadas do projeto MapBiomas foram manipuladas de maneira a só representar a classe de interesse, mascarando as outras classes mapeadas no projeto, permitindo que os toda região que possui qualquer tipo de cobertura do solo que não corresponda a urbanização seja mascarada, para que a

informação acerca da área urbana possa ser sobreposta sobre o mapa gerado com as divisões de altitudes por faixas, viabilizando a avaliação da mancha urbana sobre a região costeira e a sua mudança à medida que se distancia da linha de costa.

3.2 MATERIAIS

Para realização das análises espaciais que resultaram na avaliação dos dados deste trabalho, foram empregadas as ferramentas da plataforma de análise de dados geográficos e estatísticos Google Earth Engine. Os materiais inseridos na plataforma incluem os dados vetoriais de delimitação da área de estudo e da sua linha de costa. Incluem também os dados matriciais de MDE, dados demográficos espaciais e dados temporais de uso e ocupação do solo. O conjunto de materiais estão listados no quadro abaixo, assim como suas resoluções, datas de disponibilização e fontes.

Quadro 2 - Dados Geoespaciais implementados

Dado de entrada	Resolução /Escala	Ano	Fonte	Acesso
SRTM	30 m	2008	Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database: srtm.csi.cgiar.org .	https://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/
WorldPop	100 m	2021	WorldPop and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University (2018). Global High Resolution Population Denominators Project - Funded by The Bill and Melinda Gates Foundation (OPP1134076). Database: dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00674	https://wopr.worldpop.org/
MapBiomias	30 m	2022	Projeto MapBiomias – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 25/08/2023 através do link: plataforma.brasil.mapbiomas.org	plataforma.brasil.mapbiomas.org
Limite estadual BA	1:250000	2020	Unidades da Federação. Malha Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Acessado em 15/03/2023 através do link: ibge.gov.br	https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html

Linha de costa BA	1:50000	2019	Mapeamento Massa d'água. Estado da Bahia. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA). Acessado em 24/03/2023 através do link: mapa.geobahia.ba.gov.br	mapa.geobahia.b a.gov.br
----------------------	---------	------	--	-----------------------------

FONTE: Autor (2023).

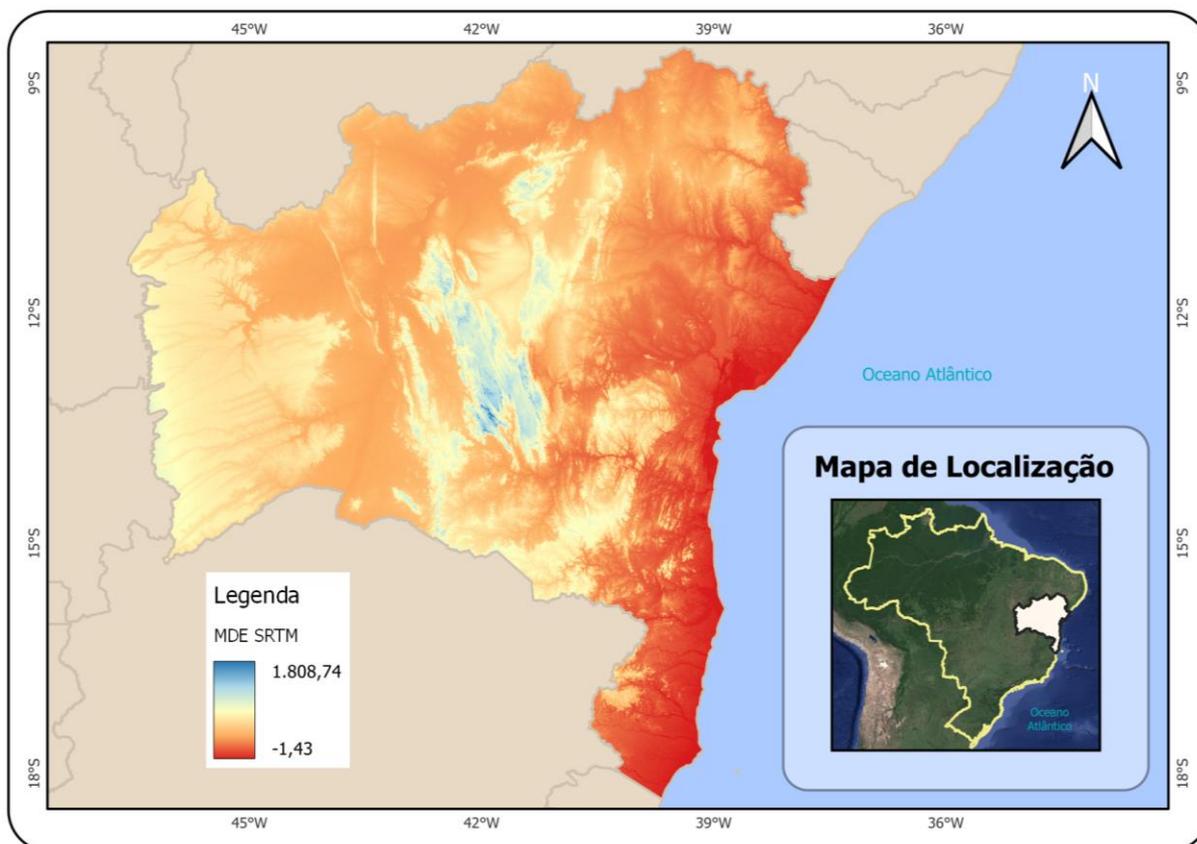
3.2.1 SRTM

A SRTM foi uma missão responsável por coletar dados topográficos em aproximadamente 80% da superfície da Terra produzindo um banco de dados digitais que permitiu a elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e a geração de uma base completa de cartas topográficas digitais terrestres de alta resolução.

A metodologia de coleta dos dados do SRTM consistia em duas antenas de radar, sendo uma localizada na baía de carga da nave espacial e a outra na extremidade oposta de uma haste de aproximadamente 60m que se estendia da baía de carga, método conhecido como interferometria de radar. Os dados obtidos pelos radares originaram dois tipos de modelos de elevação, um com maior cobertura (os dados do radar C-band) e outro com melhor resolução (os dados do radar X-band). Os dois conjuntos de dados foram utilizados para geração de dados topográficos a partir de software interferométrico.

Os dados são distribuídos em formato raster, disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. Possuem resolução radiométrica de 16 bits e resolução espacial de 90 m para quase todas as localidades. No Brasil existe o projeto Topodata que disponibiliza o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM, os dados estão organizados em quadrículas que seguem a articulação 1:250000, seu acesso pode ser feito de modo gratuito.

Figura 5 - Modelo digital de elevação obtidos do SRTM



FONTE: Autor (2023).

3.2.2 WorldPop

O WorldPop é um grupo de pesquisa que contribui para uma base de dados demográficos espaciais, complementando as fontes tradicionais de população, adquiridos de maneira remota com objetivo de que as contagens populacionais sejam mais precisas, frequentes e acessíveis. O WorldPop iniciou em 2013 com a função de facilitar as informações da população, principalmente, nos continentes menos desenvolvidos, focando em toda a América Central e do Sul, África e Ásia.

O banco de dados único do WorldPop é construído vinculado a GIS de dados de censos e estimativas oficiais de população, tendo métodos de atualização que variam de fontes como satélites, pesquisas, censos, telefones celulares, e pesquisas acadêmicas. Seu mapeamento é feito por diferentes classificações de maneira a manter-se atualizado, desenvolvendo uma abordagem de modelagem para classificações populacionais diferentes de maneira a agrupá-las sem que haja sobreposição de informações e sem que nenhuma parcela da população deixe de ser contabilizada.

É possível encontrar na documentação do grupo de pesquisa WorldPop os métodos de mapeamento, assim como a metodologia empregada para cada grupo definido, sendo eles: Mapeamento de Assentamentos, Mapeamento da Dinâmica Populacional, Mapeamento da Mudança Urbana, Mapeamento de Populações, Mapeamento de Nascimentos e Gravidezes, Mapeamento de Estruturas Etárias e Mapeamento da Pobreza.

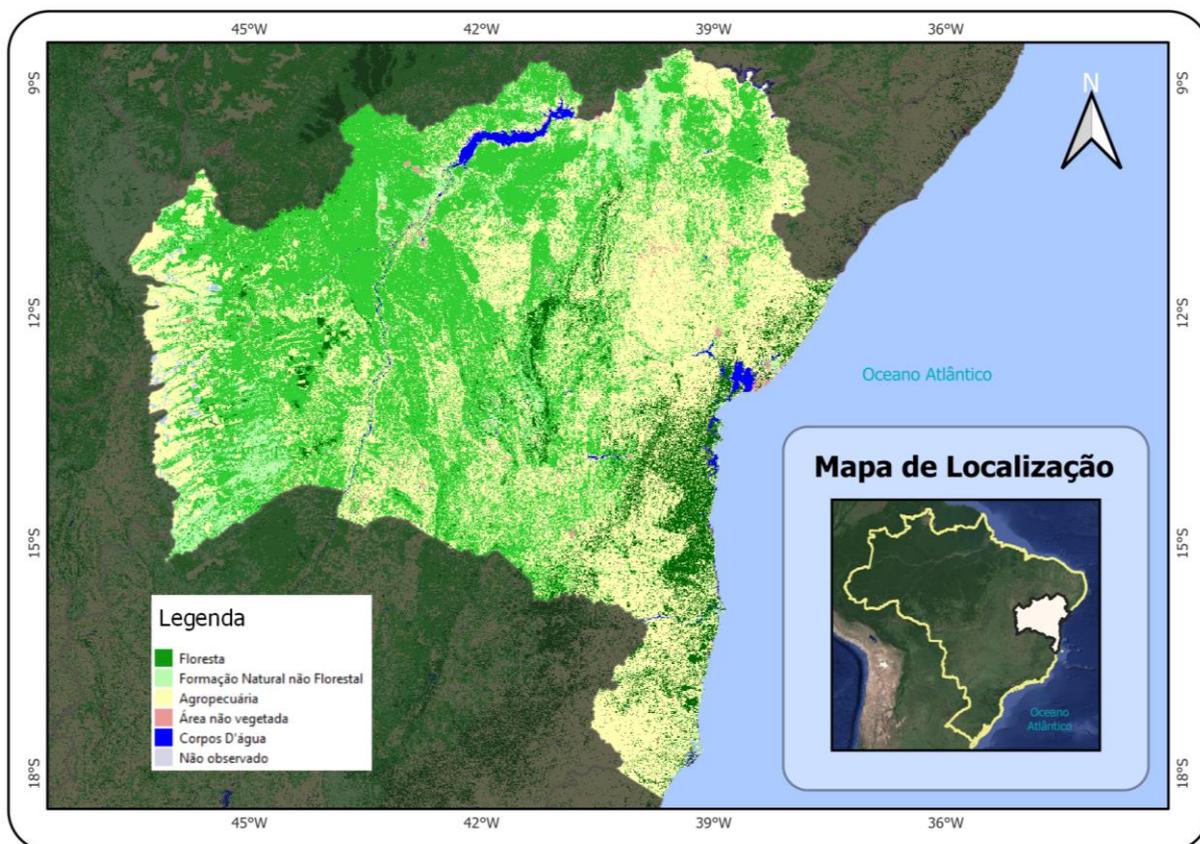
3.2.3 MapBiomias

O MapBiomias é um projeto colaborativo de mapeamento anual do uso e cobertura da terra através de técnicas de sensoriamento remoto com dados a partir de 1985. O projeto, iniciado em 2015, disponibiliza anualmente coleções de mapas, de toda extensão territorial nacional, no formato matricial com resolução espacial de 30 m. O projeto tem o objetivo de acompanhar e disponibilizar as alterações na superfície do território brasileiro com precisão, agilidade e qualidade, para que seja possível planejar e intervir sobre alterações no uso da terra e cobertura vegetal.

Os dados podem ser acessados pela plataforma do MapBiomias de acordo com a coleção de interesse, ou, por se tratar de um processamento distribuído e automatizado dos dados através de parceria com Google Earth Engine (GEE), é possível acessar as coleções diretamente pelo GEE. A coleção mais atual disponível é a Coleção 8, disponibilizada em agosto de 2023, que possui 29 classes mapeadas, cobrindo o período de 1985 a 2022.

As classes representadas são divididas em 6 principais categorias, sendo estas: Floresta, Formação Natural não Florestal, Agropecuária, Área não Vegetada, Corpo D'água, Não observado. Essas categorias visam retratar todos os biomas e vegetações brasileiras, assim como diferentes tipos de plantações, áreas não vegetadas por motivos naturais (praias, por exemplo) ou antrópicos e a hidrografia. Como cada coleção possui uma legenda própria, é possível interpretar as análises temporais de mudança no uso e ocupação do solo individualmente, tal como é possível realizar análises comparativas entre as classes.

Figura 6 - Uso e ocupação do solo disponibilizada pelo MapBiomias

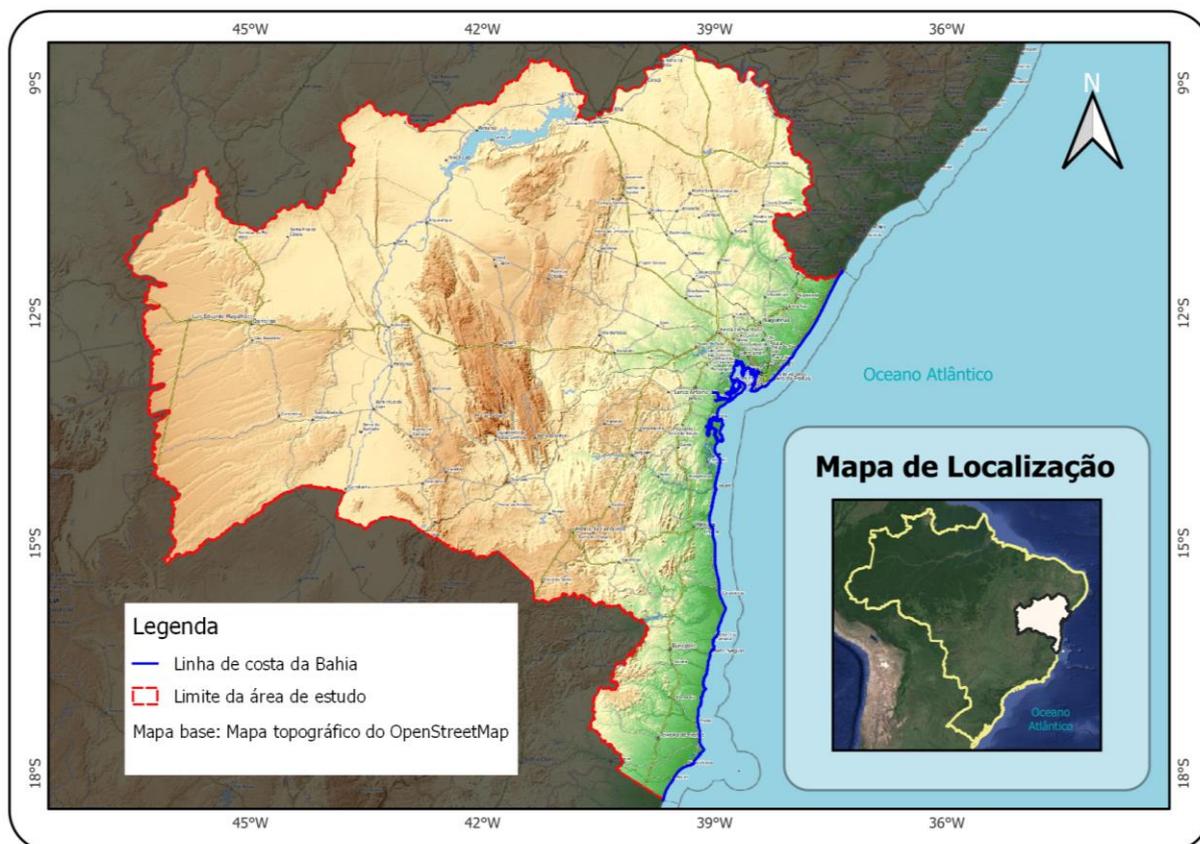


FONTE: Autor (2023).

3.3 ÁREA DE ESTUDO

Com a intenção de validar a análise de risco da elevação do nível do mar para a população, definiu-se uma área de estudo com diferentes configurações de relevo, assim como um perímetro de costa suficientemente grande para avaliação temporal de sua ocupação. Com a intenção de escolher uma área conhecida para fins de confirmação dos resultados obtidos ao longo dos processamentos, definiu-se o estado da Bahia como área de estudo, utilizando o limite do estado fornecido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), assim como a linha de costa, definida através dos limites de massa d'água do INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos), de maneira a contornar a Baía de Todos os Santos.

Figura 7 - Localização da área de estudo



FONTE: Autor (2023).

A Bahia possui um relevo formado por áreas de planície, próximas ao litoral, depressão nas regiões norte e oeste, assim como formações de planaltos ao sudeste. Tendo como altitude média, cerca de, 200 metros. Em relação à costa baiana, o litoral estende-se por mais de 1.000 km, sendo o maior do Brasil.

As características físicas e geomorfológicas da costa baiana não são iguais, dada sua extensão e realidade econômica, portanto apresentam diferentes graus de vulnerabilidade à erosão hídrica e diferentes graus de preocupação com o aumento do nível do mar. Por esta razão, os estudos disponíveis sobre o relevo, vegetação e análise populacional na costa da Bahia costumam abranger apenas parte dos municípios que apresentam as mesmas características, ou então, análises comparativas com localidades que possuem realidades muito paralelas.

Entretanto, consta-se na literatura que, aproximadamente, 70% do território do Estado da Bahia se encontra entre 300 e 900m e 23% abaixo de 300m de altitude (Alcoforado, 2003), sendo considerada a baixada litorânea o conjunto de terras situadas abaixo de 200m de altitude.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a implementação da metodologia descrita no capítulo anterior. Os resultados gerados são separados em duas principais frentes. O primeiro tópico apresenta o código em javascript aplicado na plataforma de visualização e análise de dados geoespaciais, suas propriedades de escalabilidade, disponibilidade, adaptabilidade e replicabilidade. E o segundo tópico apresenta as análises espaciais realizadas sobre os dados impressos após processamento do código construído.

4.1 CÓDIGO GOOGLE EARTH ENGINE

4.1.1 Etapas de construção e disponibilidade

O principal resultado das etapas de automatização das análises acerca da população existente em regiões que estão suscetíveis a alterações com o aumento do nível do mar é o código, em JavaScript, disponibilizado, construído através da plataforma Google Earth Engine com a inserção de dados de observação da Terra.

O código teve suas etapas de construção definidas de acordo com os objetivos específicos do projeto, sendo a etapa inicial a inserção dos dados que são acessados diretamente através da plataforma, pois são dados de projetos públicos e nacionais/mundiais, como os dados de elevação (MDE do SRTM), dados de população (WorldPop) e dados de uso e ocupação do solo (MapBiomas). As outras variáveis inseridas, para realização das observações esperadas, foram os dados de geolocalização das regiões de interesse a área de estudo total, sendo a área do projeto o estado da Bahia, a divisão municipal das cidades baianas e a linha de costa do estado que contorna a Baía de Todos os Santos e as ilhas da região.

Figura 8 - Inserção das variáveis iniciais no código

```
//Inserir as variáveis iniciais
var area_estudo = ee.FeatureCollection('users/mabimpereira/TCC/area_estudo') //area de estudo = BA IBGE
var municipios_BR = ee.FeatureCollection('projects/ee-my-jpedrassoli/assets/RECORTEES-GEOGRAFICOS/BR_Municipios_2021_com_regioes!')
var mun_BA = municipios_BR.filter(ee.Filter.eq('SIGLA', 'BA'))
var linha_costa = ee.FeatureCollection('users/mabimpereira/TCC/linha_de_costa') //linha de costa da BA pelos municipios SEI
var srtm = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003").clip(area_estudo) //SRTM recortado pra area de estudo
var wp = ee.Image(ee.ImageCollection("WorldPop/GP/100m/pop"))//Dados população do mundo inteiro
    .filter(ee.Filter.eq('year', 2020))//filtrando para o ano escolhido
    .mosaic().clip(area_estudo)//Gerando mosaico de pop para área de estudo
var mapbiomasUrbano = ee.Image("projects/mapbiomas-workspace/public/collection8/mapbiomas_collection80_integration_v1") //projeto MapBiomas
    .select('classification_2020') //selecionar coleção da pesquisa
    .eq(24) //utilizar apenas classe de área urbana
    .selfMask() //mascarar as outras classes
    .clip(mun_BA) //recortar para municipios da area de estudo
```

FONTE: Autor (2023).

Os comentários feitos ao lado das variáveis inseridas explicam o que é cada uma das variáveis, e, para as informações que foram reduzidas para o local de estudo, os comentários explicam as etapas de redução, como a seleção das bandas das imagens referentes ao ano das informações de interesse, a seleção apenas da classe de uso e ocupação do solo referente a área urbanizada e o recorte dos dados para a área de estudo.

Em seguida, o código possui uma entrada a ser definida pelo usuário de maneira a escolher a distância da linha de costa para a qual delimita-se uma nova região de os dados vão ser gerados, podendo, inclusive, não haver essa definição e utilizar-se os dados para toda a área de estudo.

Figura 9 - Definição da distância da linha de costa no código

```
// Defina para qual distancia da costa deseja calcular a população por faixa
var distancia = 1000

// Calculo da distancia ao longo da costa
var distancia_mar = linha_costa.distance(distancia).gte(0).clip(area_estudo)
//Map.addLayer(distancia_mar, {}, 'dist')
```

FONTE: Autor (2023).

Com os dados inseridos e região de estudo selecionada, o código inicia os cálculos que permitem relacionar as variáveis de estudo. O primeiro cálculo é a mínima e a máxima altitude existente no estado, para classificar essa variação de elevação em faixas de altitude de 100 m. Adicionando esses valores de mínima e máxima, e o intervalo existente para as faixas, é possível calcular-se quantas faixas serão necessárias e o valor mínimo de altitude que iniciaria o intervalo de elevação de cada faixa, para que se crie uma lista sequencial com o número de faixas a serem criadas.

Figura 10 - Definição das faixas de altitude

```
//Calcular os valores verdadeiros de altitude minima e maxima
var srtm_verdadeiro = srtm.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax(),
  geometry:area_estudo.geometry(),
  scale: 30,
  //crs, crsTransform, bestEffort,
  maxPixels: 1e13,
  //tileScale
})
print(srtm_verdadeiro, 'Valores máximo e mínimo de altitude')

//Reclassificacao por faixas de altitude
var num_faixas = (ee.Number(33).add(2030)).divide(100).ceil() //numero de classes, considerando um intervalo de 100m

var lista_intervalo_alt = ee.List.sequence({start: -33, //menor valor da Bahia
  //end
  step: 100, //o intervalo de altitude
  count: num_faixas //numero de classes desejadas
})
print(lista_intervalo_alt, 'Lista valores mínimos das faixas')

var lista_faixas = ee.List.sequence(1, 21)//Criar lista com número de faixas
```

FONTE: Autor (2023).

Para inserir as informações altimétricas de cada variação que as faixas possuem, foi criada uma função que gera uma coleção de imagens, onde cada uma dessas imagens possui uma banda de elevação que é correspondente ao intervalo da sua faixa. A função divide as altitudes pela lista, adicionando 100 m para validar o intervalo da faixa, e selecionando a banda de elevação do SRTM para inserir a geometria na faixa referente. Em seguida, é feita a sobreposição das imagens desta coleção, para gerar uma única imagem com as 21 faixas. A faixa 1 se refere aos maiores valores de elevação e a faixa 21 aos menores, pois na etapa de sobreposição as altitudes mais baixas se repetem em todas as imagens, enquanto as mais altas aparecem apenas na imagem que contém todas as altitudes. Após essas etapas, é possível exportar a imagem com as faixas de altitude separadas no intervalo escolhido, com as geometrias que correspondem àquelas altitudes inseridas em suas respectivas faixas.

Figura 11 - Função para gerar faixas de altitude e exportar imagem

```
//função para criar imagens com banda de cada faixa
var corteSrtm = function(lista){
  var x = srtm.divide(ee.Number(lista).add(100)) //dividindo as altitudes pelas faixas (add 100 p validar intervalo da faixa)
  var y = srtm.where(x.lte(1), ee.Number(lista))

  return srtm.addBands(y.eq(ee.Number(lista)).select('elevation_1') //onde x for menor q fator 1, inserir geometria na faixa referente
}

var srtmClass = ee.ImageCollection.fromImages(lista_intervalo_alt.map(corteSrtm)).toBands() //criar imagem cortando srtm por faixas de alt
print (srtmClass, 'Faixas de altitude')

//Map.addLayer (srtmClass, {}, 'SRTM classes')

//Somando a sobreposicao das faixas
var srtmClassificado = srtmClass.reduce(ee.Reducer.sum()) //valor 1: areas mais altas; valor 21 (ou sua ultima classe, podendo variar): area
print(srtmClassificado, 'srtm classificado')
//Exportar imagem das faixas de altitude
Export.image.toDrive({
  image: srtmClassificado.toFloat(), // Converter imagem to float32
  description: 'srtm_classificado',
  fileNamePrefix: 'srtm_classificado',
  region: area_estudo,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
});
```

FONTE: Autor (2023).

O ciclo seguinte do código relaciona a informação altimétrica já classificada com as informações populacionais (WorldPop) inseridas no início, adicionando, à feição de população, uma banda com os dados de elevação. Em seguida, utilizando a distância definida anteriormente também, recorta-se os dados de população com altimetria apenas para a nova região de interesse, sendo essa a zona da área de interesse inicial recortada pela linha de costa replicada na distância escolhida.

Figura 12 - Função para gerar faixas de altitude e exportar imagem

```

var SRTM_WP = wp.addBands(srtmClassificado) //cria propriedade com informação da altitude na feição de população
//print(SRTM_WP, 'SRTM_WP')

// Seleciona apenas os dados de população e faixas para a distancia de interesse
var dados_dist_mar = SRTM_WP.multiply(distancia_mar)
//Map.addLayer(dados_dist_mar, {}, 'dados_dist_mar')

```

FONTE: Autor (2023).

Posteriormente, foram utilizados comandos para realizar a soma populacional nas faixas de altitude para cada uma das regiões desejadas, a construção do comando para realizar a soma da população se repete, alterando apenas a geometria onde é feita. Primeiro foram feitas as somas da população por faixas de todo o estado, depois a soma da população por faixas por municípios da Bahia, e, por fim, essas mesmas duas somas (com divisão municipal e sem a divisão) para a região delimitada pela distância da linha de costa.

Figura 13 - Soma da população por faixas de altitude

```

// Soma da população do Estado todo
var somaPop = SRTM_WP.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum().group({
    groupField: 1,
    groupName: 'popSum',
  }),
  geometry: area_estudo.geometry(),
  scale: 100,
  maxPixels: 1e13
}); //reduz a informação da população por tds as faixas de altitude do estado

print(somaPop, 'População por faixas de altitude')

// Soma da população por municípios
var somaPopMunicipios = SRTM_WP.reduceRegions({
  collection: mun_BA,
  reducer: ee.Reducer.sum().group({
    groupField: 1,
    groupName: 'popSum',
  }),
  scale: 100,
  //crs, crsTransform, tileScale
}); //recorta as populações nas faixas por município

print(somaPopMunicipios, 'População dos municípios por faixas de altitude')

```

FONTE: Autor (2023).

Figura 14 - Soma da população por faixas de altitude em determinada distância da linha de costa

```
// Soma da população do Estado todo
var somaPopMar = dados_dist_mar.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum().group({
    groupField: 1,
    groupName: 'popSum',
  }),
  geometry: area_estudo.geometry(),
  scale: 100,
  maxPixels: 1e13
}); //reduz a informação da população por tds as faixas de altitude do estado

print(somaPopMar, 'População por faixas de altitude por distancia do mar: ' + distancia)

// Soma da população por municipios
var somaPopMunicipiosMar = dados_dist_mar.reduceRegions({
  collection: mun_BA,
  reducer: ee.Reducer.sum().group({
    groupField: 1,
    groupName: 'popSum',
  }),
  scale: 100,
  //crs, crsTransform, tileScale
}); //recorta as populações nas faixas por municipio

print(somaPopMunicipiosMar, 'População dos municipios por faixas de altitude a ' + distancia + 'm do mar')
```

FONTE: Autor (2023).

O código possui os comandos que possibilitam exportar as tabelas com as informações populacionais somadas diretamente para o Google Drive do usuário, de maneira análoga à exportação da imagem das faixas de altitude, demonstrada na Figura 11.

Por fim, é possível adicionar ao mapa da plataforma ou exportar a imagem (repetindo os comandos de exportação da imagem das faixas de altitude) com informações de uso e ocupação do solo da classe de área urbanizada em 2020, inseridas, através do projeto MapBiomas, nas primeiras linhas de construção do código.

Todos os dados utilizados são de livre acesso, os dados inseridos estão disponíveis para acesso por qualquer usuário através do Google Earth Engine, assim como o código disponibilizado no GitHub.

4.1.2 Adaptabilidade e replicabilidade

Todo o código teve sua construção pensada sob a perspectiva de gerar um produto que possa ser utilizado como ponto central de um estudo, como no caso desta pesquisa, mas que também possa ser reproduzido como uma ferramenta de suporte para outros estudos sobre o tema. Sendo assim, os dados iniciais foram escolhidos avaliando a possibilidade de replicação e acessados diretamente através da plataforma Google Earth Engine (GEE).

Isso permite que todas as variáveis envolvidas nas análises sejam alteradas para aderir a novos rumos dos estudos nesta linha. Os dados de entrada são as informações de altitude, uso e ocupação do solo, área de estudo, população, divisões municipais e linha de costa. Cada um desses dados foi acessado, ou inserido como no caso dos dados locais (área de estudo, divisões municipais e linha de costa), individualmente, sem relação com outras variáveis, para posteriormente ser tratado e relacionado com as outras informações.

A área de estudo e a linha de costa foram adicionados como *assets*, entretanto possuem seu acesso livre para consulta ou utilização por qualquer usuário. No código eles são adicionados como uma coleção de feições a partir do link do usuário de onde foram adicionados, alterando a informação da fonte, pode-se alterar essas informações para qualquer outra região, de maneira que o código siga funcionando normalmente e gerando resultados análogos aos atualmente gerados.

Os municípios baianos são acessados, também, como uma coleção de feições a partir do link do usuário de onde foram adicionados, entretanto, já é uma consulta de um outro usuário. Isso significa que a metodologia de inserção foi a mesma dos dados acima, porém a partir de um usuário diferente, validando a informação de que o acesso desse método de inserção de dados é livre. Os dados municipais, inclusive, estão inseridos com informações de municípios para todas as unidades federativas do Brasil, para facilitar a replicação deste estudo para outras localidades, e, somente em seguida, são filtradas as divisões geográficas dos municípios para a Bahia.

Os dados de uso e ocupação do solo são dados públicos do projeto MapBiomias, entretanto, as informações sobre as coleções disponíveis do projeto não são encontradas no catálogo de dados pesquisável do GEE. Deste modo, é possível acessar essas informações de maneira parecida à citada acima, porém, por se tratar de um projeto público, os dados ficam em um espaço de trabalho, separados por coleção. Definir a coleção de interesse é necessária já no momento de inserção, porém as outras filtragens são opcionais. As filtragens feitas neste estudo, e adaptáveis de acordo com o interesse, foram o ano de classificação do uso e ocupação do solo, ano de 2020 escolhido para condizer com as outras informações a serem relacionadas, não é necessário escolher apenas um ano para ser representado, sendo a classificação do ano uma banda da imagem disponibilizada; a classe de uso e ocupação representada, neste estudo utilizou-se apenas a classe de área

urbanizada, porém pode-se utilizar todas as classes presentes na coleção; e o recorte para a área de estudo, caso não fosse definida uma área para recortar os dados seriam apresentadas as informações acima para todo o Brasil, por se tratar de um projeto nacional.

Os elementos de altimetria do SRTM são acessados diretamente do servidor da USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos), com algumas opções de escolhas de versões disponíveis. Estes dados acessados diretamente do catálogo de dados do GEE têm como único elemento filtrado a área de estudo, mas, novamente, não existe uma necessidade da realização deste filtro, pode ser utilizado sem este recorte ou com suas informações recortadas para qualquer outra região abrangida pela missão.

A informação populacional também é acessada diretamente do servidor do WorldPop através do catálogo de dados do GEE, existe mais de uma categoria de dados demográficos e da mesma maneira como é inserido pode ser alterado para outra base de dados demográficos sem prejuízo das análises realizadas pelo código. Diferentemente do MapBiomas, onde cada ano se trata de uma banda da imagem disponível, as informações demográficas anuais são separadas em imagens, necessitando assim que seja realizada uma filtragem dos dados para o ano escolhido e uma transformação da coleção de imagens em apenas uma imagem. Essa filtragem pode não ser realizada, porém seriam necessárias algumas alterações de sintaxe da linguagem de programação. O outro filtro aplicado é o recorte para a área de estudo, pois, por se tratar de uma base de dados global, caso esse recorte não seja realizado, as informações seriam expressas para todo o mapa global.

Outra informação inserida no código e passível de adaptação é a definição da distância da linha de costa para a qual os comandos serão realizados. Essa distância pode ser alterada manualmente pelo usuário ao iniciar o processamento, ou pode, também, ser omitida para que as funções definidas no código sejam realizadas apenas para a área total definida na variável de área de estudo.

Os cálculos e funções que produzem a imagem de elevação separada por faixas de altitude também precisam ser adaptados a depender da alteração do código, visto que é realizado um cálculo de máxima e mínima altitude para a região denominada área de estudo, alterando a localidade do estudo, essa variação total de altitude muda e, conseqüentemente, a quantidade de faixas criadas para a variação de 100 m também muda. A alteração pode ser feita também no intervalo

compreendido por cada faixa de altitude, permitindo que a variação de cada faixa inclua um número maior ou menor de variação altimétrica.

Desta maneira, todos os usuários que acessarem o código podem testar as adaptações e replicações possíveis com ele. As adaptações principais são em relação às localidades, escala de estudo e variação temporal dos dados analisados.

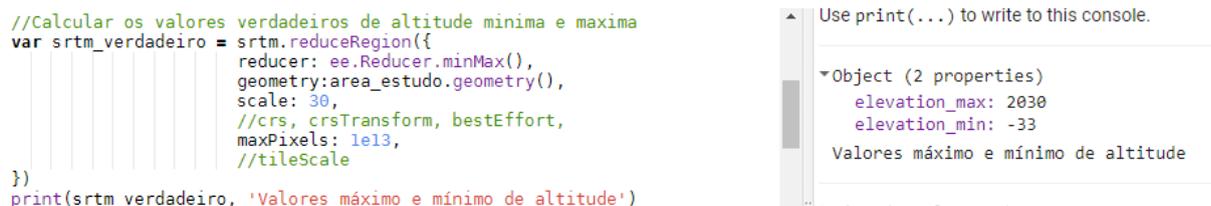
4.2 ANÁLISES POPULACIONAIS COSTEIRAS

4.2.1 População por faixas de altitude

O primeiro resultado alfanumérico obtido após o processamento do código completo foi o valor populacional inserido em cada uma das faixas de altitude. Esse resultado leva em consideração a divisão de toda a variação altimétrica existente na Bahia, por intervalos de 100m.

Para chegar a esse resultado, foi necessário inicialmente encontrar os valores de máxima e mínima altitude existentes na região. Tais dados foram obtidos através da redução das informações do MDE do SRTM para a área de estudo, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Trecho do código que calcula máxima e mínima elevação na Bahia



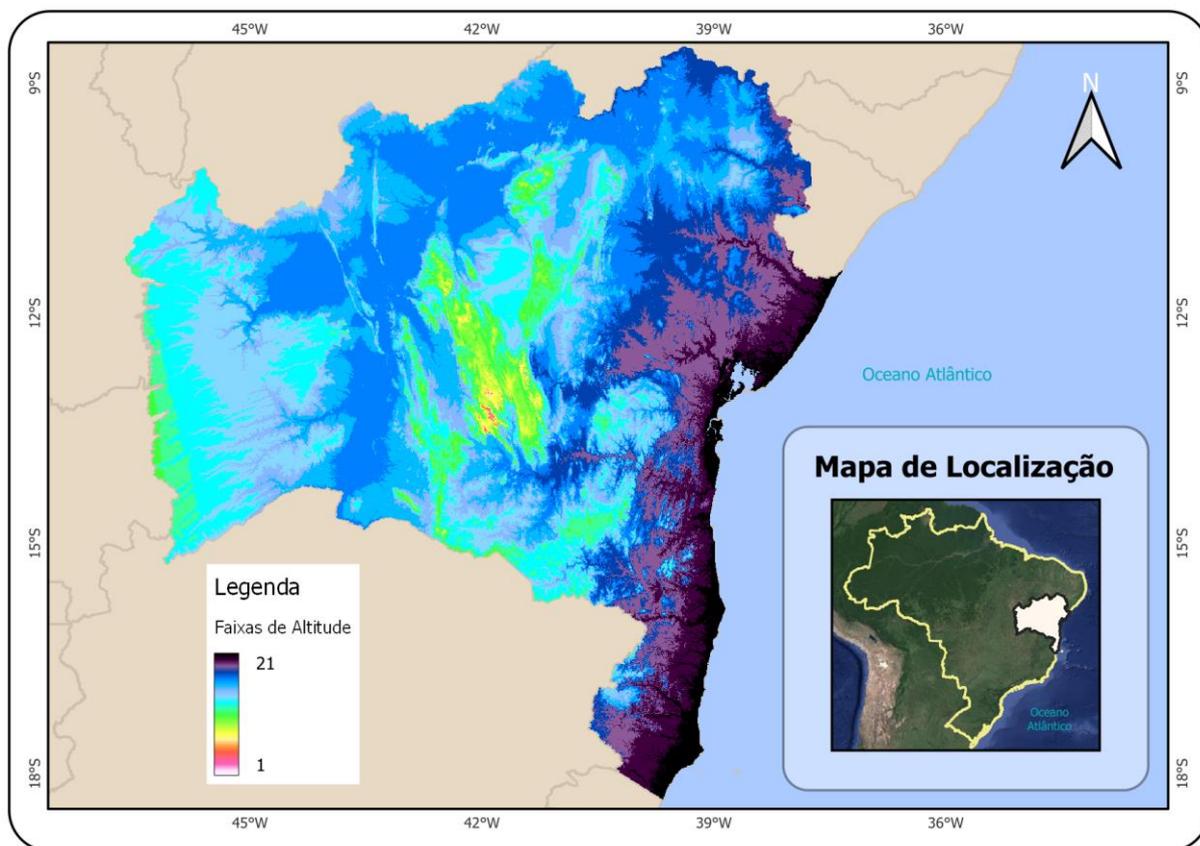
```
//Calcular os valores verdadeiros de altitude minima e maxima
var srtm_verdadeiro = srtm.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.minMax(),
  geometry: area_estudo.geometry(),
  scale: 30,
  //crs, crsTransform, bestEffort,
  maxPixels: 1e13,
  //tileScale
})
print(srtm_verdadeiro, 'Valores máximo e mínimo de altitude')
```

```
Use print(...) to write to this console.
Object (2 properties)
  elevation_max: 2030
  elevation_min: -33
  Valores máximo e mínimo de altitude
```

FONTE: Autor (2023).

Os resultados de mínima e máxima elevação foram de -33 m e 2030 m. Uma taxa de variação de 2063 metros de altitude, que, separados em faixas de intervalo de 100 m, gerou uma lista com 21 níveis de faixas de altitude. Por conta da metodologia explicada no capítulo anterior, os intervalos de altitude mais baixos, ou seja, mais próximos ao mar, foram inseridos nos últimos níveis das faixas, resultando na faixa de número 21 como a faixa em que está o NMM. A Figura 16 apresenta a representação visual das altitudes do estado divididas por estas faixas.

Figura 16 - Faixas de elevações de altitude da Bahia



FONTE: Autor (2023).

A Tabela 2 apresenta a classificação das faixas de altitude, os valores de elevação existentes em cada uma das faixas e a população residente inserida em cada uma destas para toda a região do estado.

Tabela 2 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia

Número da faixa de altitude	Faixa de altitude	População residente
1	1967 a 2030	0
2	1867 a 1966	5
3	1767 a 1866	26
4	1667 a 1766	86
5	1567 a 1666	187
6	1467 a 1566	390
7	1367 a 1466	1366
8	1267 a 1366	5154

9	1167 a 1266	10638
10	1067 a 1166	35762
11	967 a 1066	158720
12	867 a 966	366165
13	767 a 866	440490
14	667 a 766	537224
15	567 a 666	434682
16	467 a 566	905880
17	367 a 466	1502311
18	267 a 366	952916
19	167 a 266	2234101
20	67 a 166	1802026
21	-33 a 66	3753334
Total		13141464

FONTE: Autor (2023).

Os dados apresentados na tabela acima demonstram a informação de que as regiões com altitude próxima ao nível do mar são as áreas com maior contingente populacional. Os primeiros 100 m de variação são povoados por, aproximadamente, 28,56% da população total existente no estado.

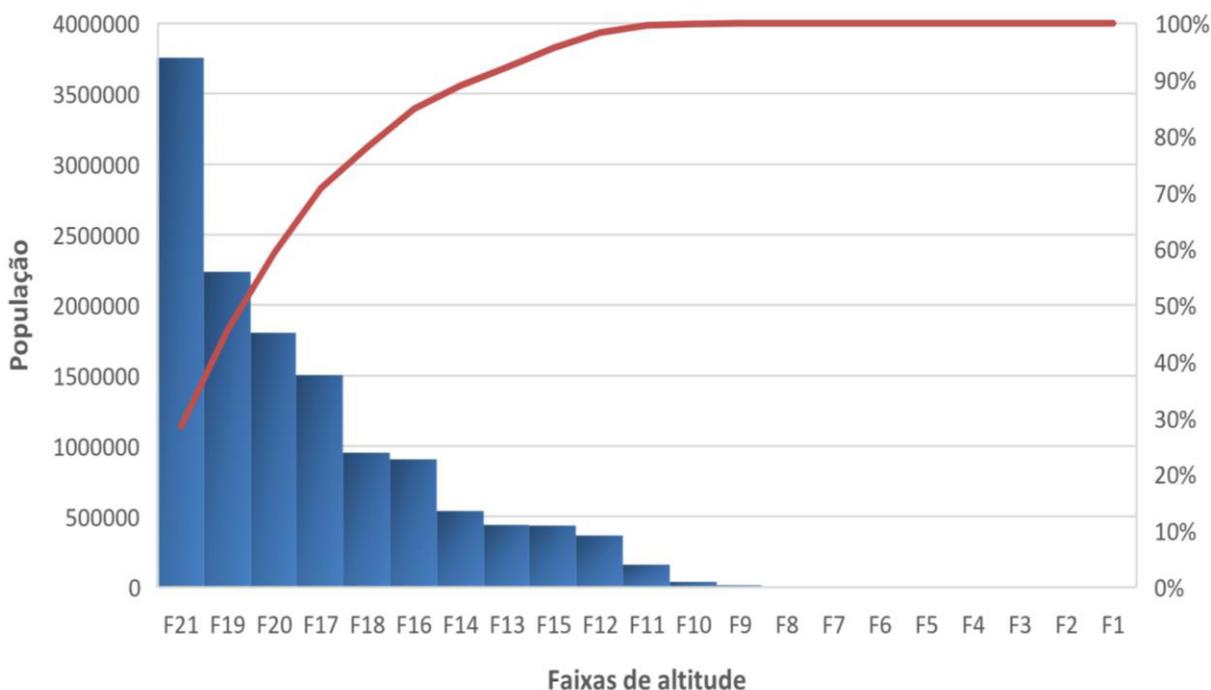
A partir da tabela, é possível também avaliar a variação de habitantes à medida que a altitude se eleva, nota-se uma diminuição brusca, não linear, de maneira que a segunda faixa de altitude com mais habitantes possui em torno de 59,52% da quantidade de residentes da faixa mais ocupada.

É possível conferir também a diferença após pouco mais de 1000 m de altitude, a soma dos habitantes existentes em todas as faixas acima dessa altitude é cerca de 33,78% dos habitantes na faixa imediatamente mais baixa, e representa menos de 0,5% do total de habitantes do estado.

No Gráfico 1 a visualização destas análises se torna mais prática, e notam-se as diferenças ocupacionais urbanas para cada uma das altitudes médias. O eixo x

apresenta os níveis de faixas de altitude, com elevações descritas na Tabela 2, e o eixo y apresenta a população existente, com linha de tendência da população total em vermelho.

Gráfico 1 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia



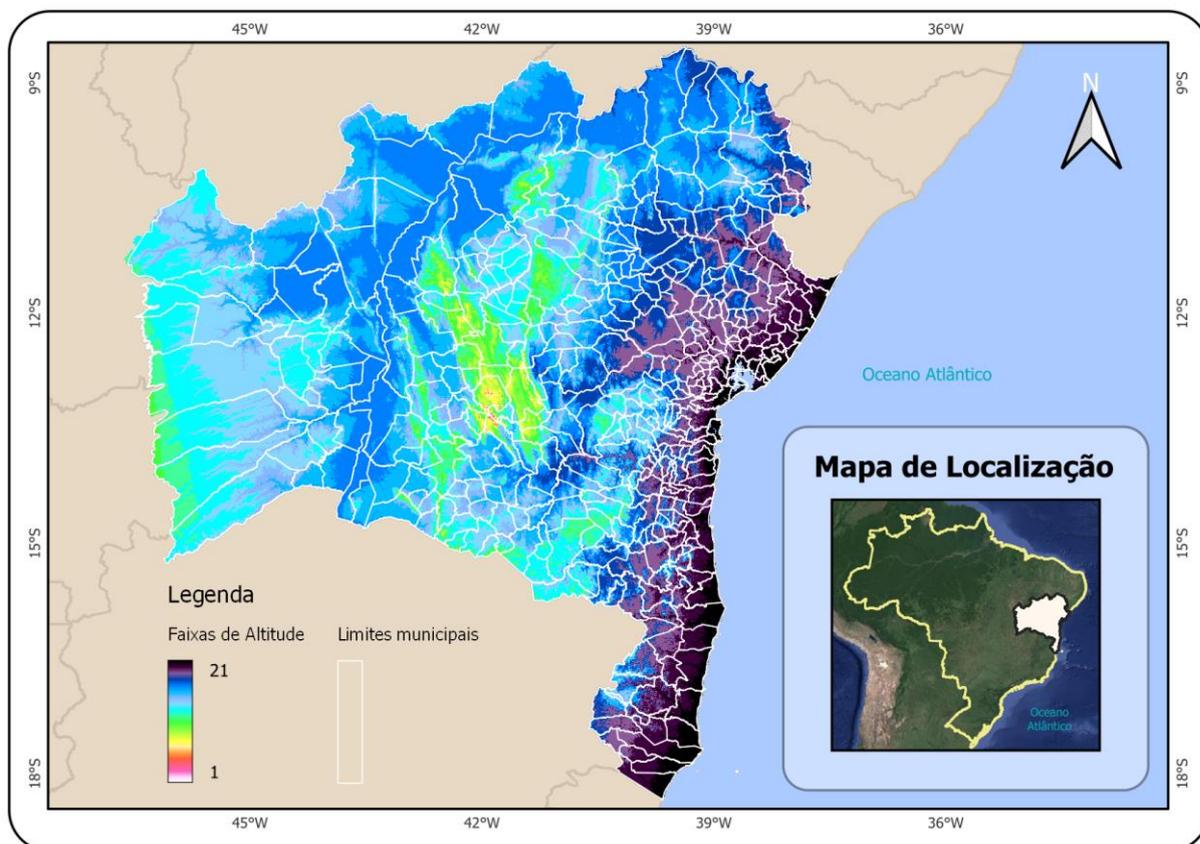
FONTE: Autor (2023).

4.2.2 Variação altimétrica por município baiano e respectivas densidades demográficas

De maneira análoga à obtenção dos resultados anteriores, foi possível gerar informações altimétricas e populacionais separadas por município da Bahia. Esses resultados expressam quantas faixas de variação existem em cada um dos municípios, assim como quantos residentes do município estão associados a cada uma destas faixas de altitude.

A complementação das informações geradas acima se dá com a categorização das divisões geográficas municipais. A Figura 17 apresenta um mapa com as divisões das faixas de altitude e a informação geográfica dos limites municipais sobreposta as faixas. É possível identificar a partir do mapa a região de cobertura das baixas altitudes, a quantidade de municípios que estão localizados nesta faixa e, com auxílio da tabela disponibilizada, identificar quais são esses municípios.

Figura 17 - Faixas de elevações de altitude da Bahia com limites municipais



FONTE: Autor (2023).

A Tabela 3 apresenta os dez municípios da Bahia que possuem o maior número de habitantes residentes na faixa de altitude mais baixa, faixa 21 (-33 m à 67 m), em ordem decrescente.

Tabela 3 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano

Município	Faixa de altitude	População residente
Salvador	21	1955978
Camaçari	21	316797
Lauro de Freitas	21	200229
Porto Seguro	21	128732
Ilhéus	21	120869
Itabuna	21	84641
Dias d'Ávila	21	82150
Simões Filho	21	74274

Valença	21	64281
Santo Amaro	21	40411

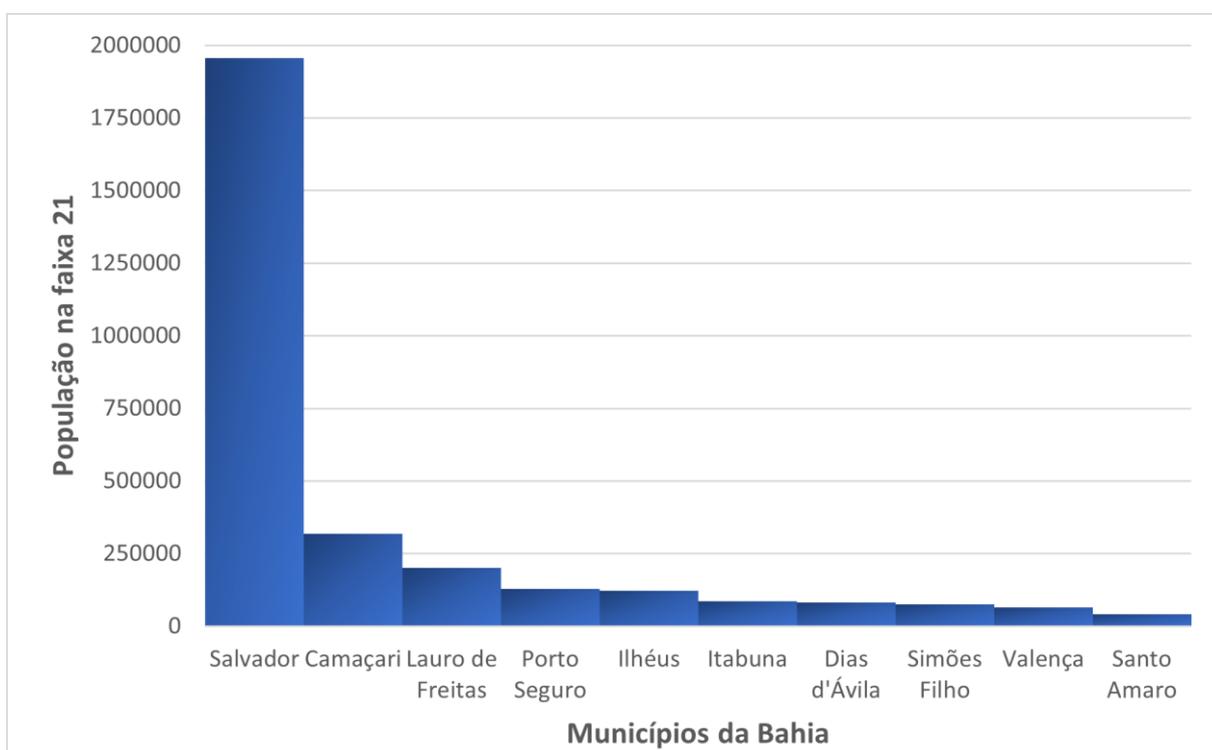
FONTE: Autor (2023).

A tabela acima permite a realização de análises da densidade demográfica na região de mais baixa altitude. O número de municípios que possuem parte do seu território com altitudes dentro das delimitadas por esta faixa é 82, entretanto os dez municípios que mais possuem habitantes nessa região, citados acima, possuem 81,76% do total da população nesta faixa.

Dentre as dez cidades com maior número de habitantes na área mais propensa a ser afetada pelo aumento do nível do mar, as cinco cidades com mais habitantes possuem cerca de 88,73% do total da tabela apresentada, e 72,55% do total da população nesta faixa. E, Salvador, capital do estado da Bahia, sozinha, detém 52,12% de toda a população nas regiões de até 67 m de altitude.

O Gráfico 2 apresenta a visualização destas análises, e torna-se notável a diferença populacional entre as cidades mais ocupadas. O eixo x exibe os dez municípios da Bahia apresentados na Tabela 3, e o eixo y exibe a população existente na faixa número 21.

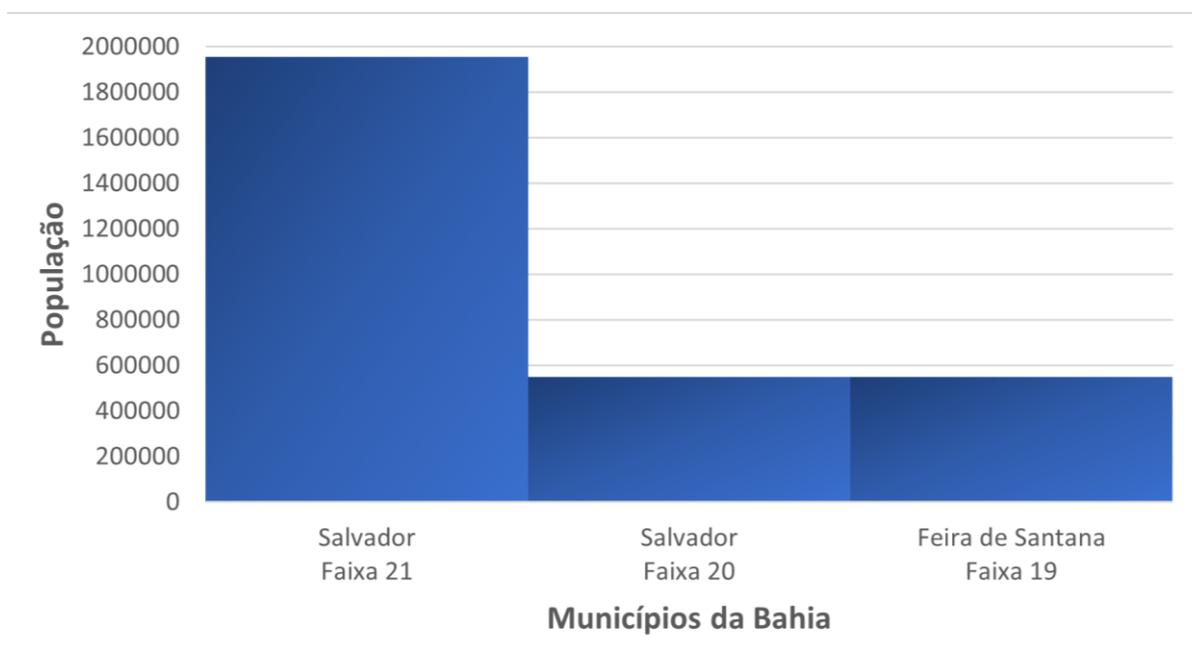
Gráfico 2 - População existente por faixa de altitude no estado da Bahia



FONTE: Autor (2023).

Além da comparação entre as regiões dos municípios nesta mesma variação de altitude, os resultados gerados nesta etapa permitem a identificação entre as cidades mais habitadas de cada uma das faixas, sendo assim, é possível comparar e observar a discrepância entre o número de pessoas residentes em cada principal município das 3 faixas com menores altitudes (faixas 21, 20 e 19).

Gráfico 3 - População existente nos municípios com mais pessoas nas faixas 21, 20 e 19



FONTE: Autor (2023).

O Gráfico 3 explicita a queda populacional com a elevação de altitude, visto que a mesma cidade é a que possui mais habitantes na faixa de altitudes mais baixas e na segunda faixa de altitudes mais baixas e não possui a mesma quantidade de pessoas residindo nas regiões com as altitudes distintas. A população de Salvador que está localizada na faixa de altitude número 21 está em torno de 1.955.978, já a população de Salvador que está localizada na faixa de altitude número 20 é cerca de 549.317 pessoas. A população de Feira de Santana, município com mais pessoas na faixa de altitude número 19 é aproximadamente 550.365 pessoas.

A mudança de apenas uma faixa (faixa 21 para faixa 20), ou seja, a elevação de 100 m, já apresenta uma diminuição populacional de pouco menos de 71,92%. E a diferença entre a população na faixa 21 do município mais ocupado (Salvador) e a

população na faixa 19 (segunda faixa com mais população, segundo Gráfico 1) do município mais ocupado (Feira de Santana) é cerca de 71,86% para menos.

4.2.3 Relação populacional com a distância da linha de costa

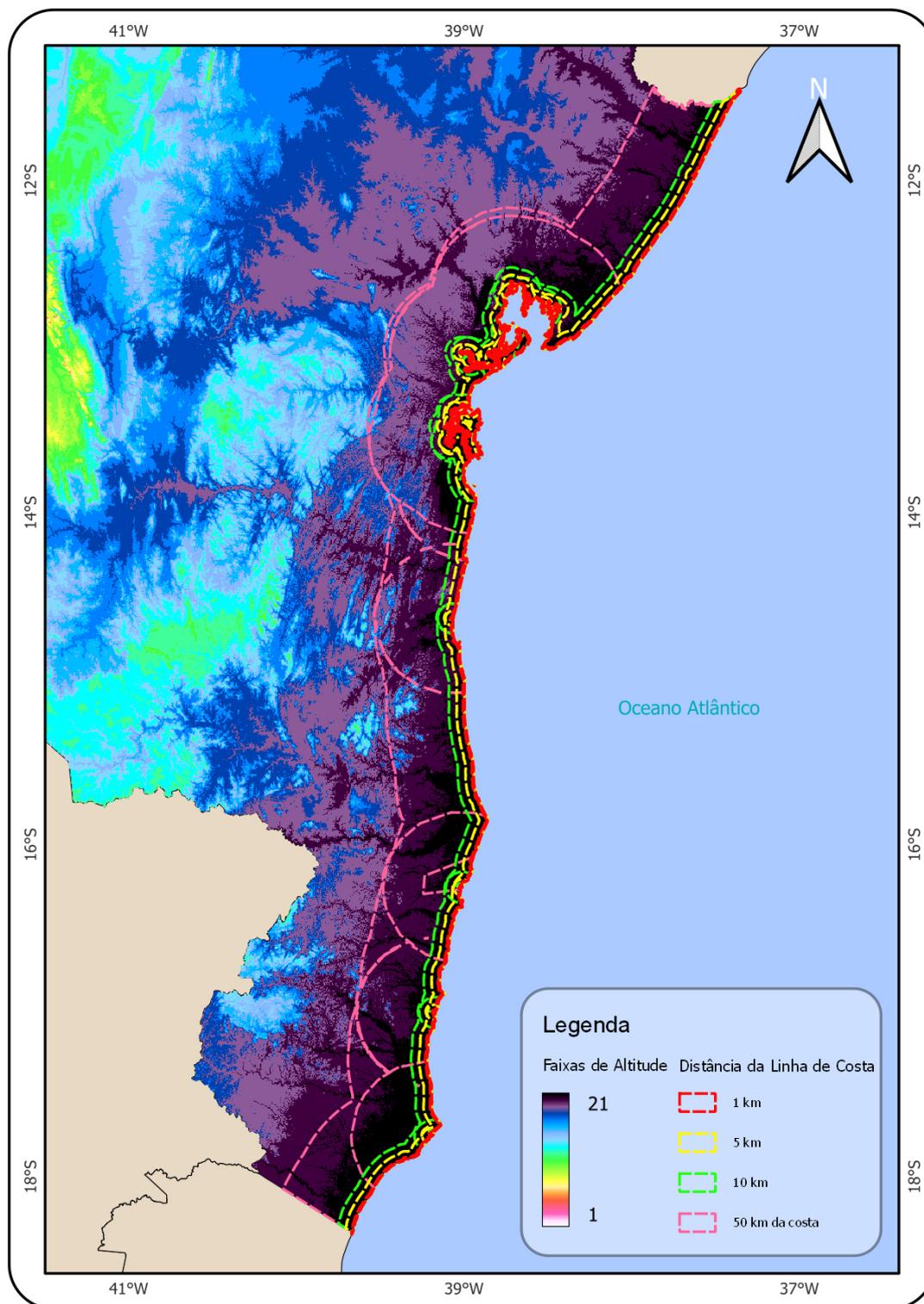
Os resultados que expressam a relação entre a população e o relevo do território baiano são de extrema importância para se avaliar a distribuição populacional e a ligação entre o desenvolvimento urbano e as altitudes, entretanto, para avaliar as regiões que podem ser afetadas diretamente com o aumento do nível do mar, é necessário avaliar os resultados da relação populacional com as altitudes próximas ao do NMM e localização próxima à linha de costa.

Para isso, foi necessário exportar os dados populacionais dos municípios por faixas de altitude para distâncias da linha de costas escolhidas para análise. As distâncias escolhidas foram 1, 5, 10 e 50 km da linha de costa, visto que a literatura aborda como região costeiras as áreas até 50/60 km de distância da linha de costa.

Com isso, os resultados gerados foram tabelas com as faixas de altitude existentes dentro das regiões criadas entre a linha de costa original e a linha de costa estendida por cada uma destas distâncias, os municípios que são abarcados por essa região e a população existente em cada faixa para cada um dos municípios dentro dessa área.

A Figura 18 apresenta a região e as faixas que estão dentro da área definida pelas distâncias escolhidas, de maneira a evidenciar as faixas de altitude predominantes na costa baiana. O mapa foi construído a partir de um buffer da linha de costa, considerando apenas a porção de terra dentro da costa.

Figura 18 - Delimitações geográficas das regiões costeiras delimitadas pelas distâncias escolhidas



FONTE: Autor (2023).

Tabela 4 - Populações residentes na faixa de altitude mais baixa por distância da linha de costa

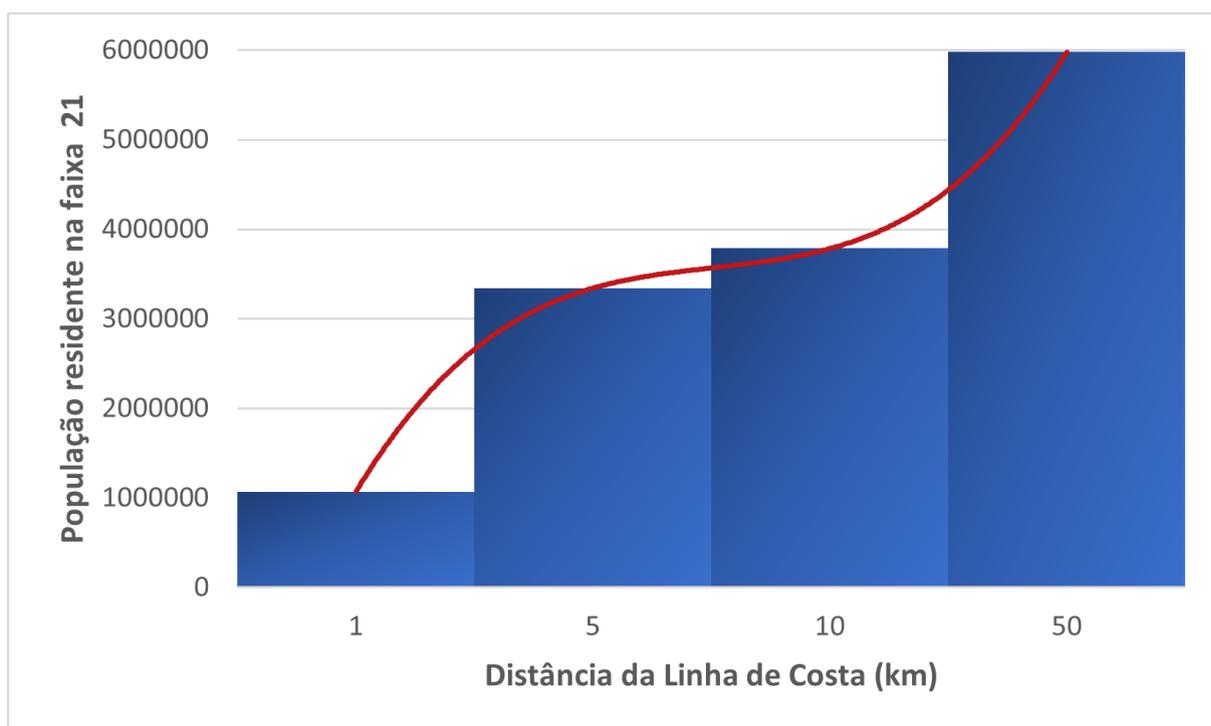
Distância (km)	População	Faixa
----------------	-----------	-------

1	1068914	21
5	3342989	21
10	3784995	21
50	5979384	21

FONTE: Autor (2023).

Assim como a Tabela 4 apresenta a população total na faixa mais baixa para cada distância da linha de costa avaliada, o Gráfico 4 retrata essa informação. Entretanto, a linha de tendência polinomial de ordem 3 indica a maneira como ocorre o crescimento populacional a cada distância avaliada, expressando, de maneira mais explícita, a diminuição do ritmo de aumento populacional à medida em que se distancia do mar. É importante se atentar ao fato de que os valores de população para as distâncias incluem a população existente na região definida pela distância anterior também, portanto não representa a diferença de habitantes em cada distância, e sim a soma da população a cada quilômetro incluído na análise.

Gráfico 4 - Populações residentes na faixa de altitude mais baixa por distância da linha de costa



FONTE: Autor (2023).

4.2.3.1 Análise populacional para 1 km de extensão da costa

A Tabela 5 apresenta os dez municípios da Bahia que possuem o maior número de habitantes residentes na faixa de altitude mais baixa, faixa 21 (-33 m à 67 m), a uma distância de 1 km da linha de costa, em ordem decrescente.

Tabela 5 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 1 km da costa

Município	Faixa de altitude	População residente
Salvador	21	713034
Ilhéus	21	54342
Vera Cruz	21	32246
São Francisco do Conde	21	23202
Valença	21	20424
Madre de Deus	21	20118
Porto Seguro	21	18187
Itaparica	21	17720
Nazaré	21	16818
Lauro de Freitas	21	15167

FONTE: Autor (2023).

As informações da Tabela 5 exprimem os dados quando se relacionam as informações populacionais na região de mais baixa altitude mais próxima ao mar. 40 municípios possuem parte de seu território dentro do primeiro quilômetro de distância da linha de costa e com relevo entre -33 m e 67 m de altitude. A soma da população nestas condições é de 1068914 pessoas, valor que representa em torno de 8,13% da população total no estado, segundo a Tabela 2. Este valor representa, também, 28% de toda a população na faixa 21, o que significa que quase 1/3 dos habitantes das altitudes mais baixas estão a, no máximo, 1000 m de distância do mar.

Apesar do valor total da população nestas condições estar distribuído por 40 cidades, as 10 que possuem mais habitantes (representadas na Tabela 5) possuem cerca de 87,12% desse valor. Assim como, Salvador, município com maior número populacional na situação analisada a partir dessas circunstâncias, possui, individualmente, aproximadamente 66,71% do total entre os 40 municípios.

Os resultados gerados para o primeiro quilômetro de extensão da costa também permitem a comparação entre a população nessa localidade nas faixas que se encontram nessa região, faixas 21, 20, 19 e 18. A Tabela 6 traz os valores dos habitantes em cada uma dessas 4 faixas dentro da região delimitada pelo *offset* de 1 km da linha de costa.

Tabela 6 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 1 km de extensão da costa

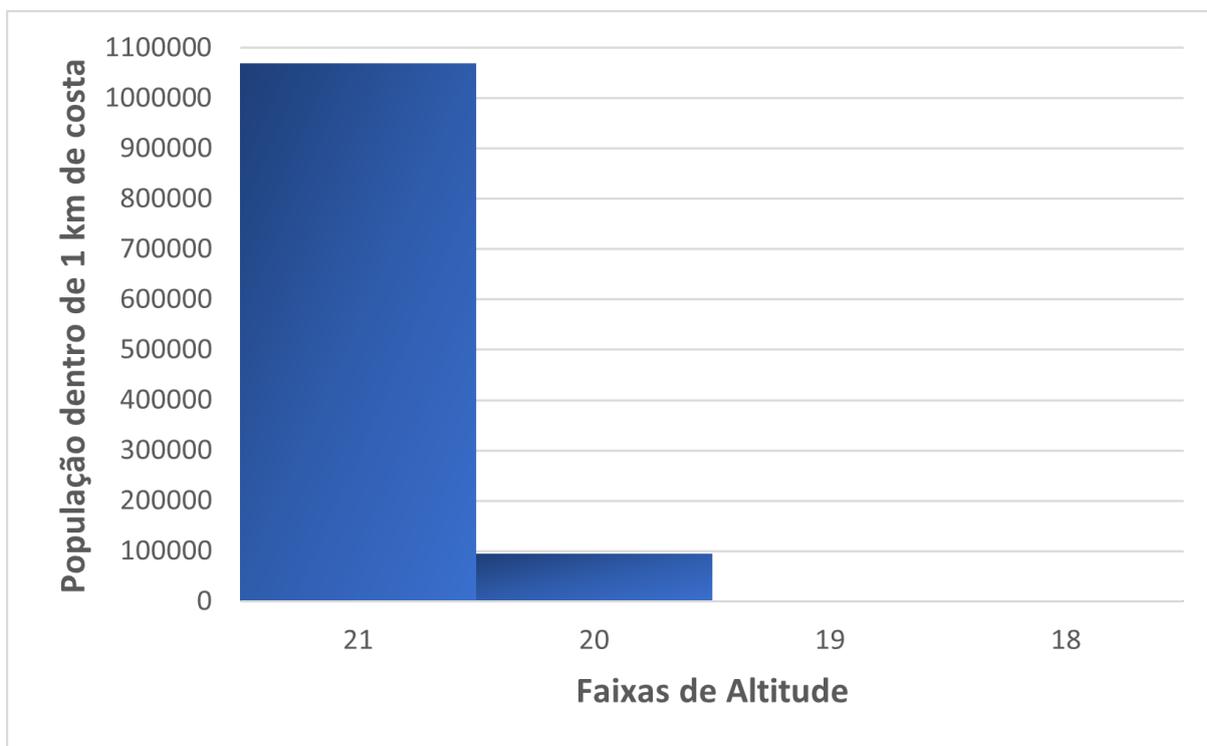
Faixa de altitude	Distância (m)	População
21	1000	1068914
20	1000	94719
19	1000	7
18	1000	1

FONTE: Autor (2023).

É possível identificar, que, apesar de 4 faixas de altitudes possuírem habitantes dentro da região avaliada, apenas as duas faixas mais baixas possuem uma população expressiva, e, ainda assim, apenas a faixa dos 100 primeiros metros abrange 91,86% do total de pessoas na região. Reforçando as impressões de que o maior percentual da população que vive próxima ao mar, de maneira bem discrepante, está localizado na região de baixíssimas altitudes.

O Gráfico 5 apresenta a visualização desta comparação, e a diminuição populacional à medida que a altitude aumenta. O eixo x exibe as faixas de altitude existentes nessa região, e o eixo y exibe a população existente em cada faixa.

Gráfico 5 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 1 km de extensão da costa



FONTE: Autor (2023).

4.2.3.2 Análise populacional para 5 km de extensão da costa

A tabela abaixo apresenta os dez municípios da Bahia com maior população na faixa de altitude mais baixa, faixa 21 (-33 m à 67 m), a uma distância de 5 km da linha de costa, em ordem decrescente.

Tabela 7 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 5 km da costa

Município	Faixa de altitude	População residente
Salvador	21	1834622
Lauro de Freitas	21	160631
Porto Seguro	21	118616
Ilhéus	21	108448
Camaçari	21	95419
Valença	21	63819
Simões Filho	21	57434
Vera Cruz	21	39394

São Francisco do Conde	21	29185
Canavieiras	21	22121

FONTE: Autor (2023).

A Tabela 7 traz os dados análogos aos citados na Tabela 5, porém para uma zona costeira mais extensa, de 5 km de distância do mar. Por se tratar de uma região mais extensa, um número maior de municípios tem, pelo menos, parte do seu terreno incluído nesta região, sendo um total de 43 municípios com relevo entre -33 m e 67 m de altitude nesta zona de estudo. O total de pessoas residentes nestas condições é de 2816723, constituindo por volta de 21,43% da população total no estado. Este número constitui, também, mais de 75% de toda a população da faixa de número 21. Portanto, o equivalente a 3/4 dos habitantes dentro dos 100 primeiros metros de variação altimétrica estão, no máximo, a 5000 m de distância do mar.

Entre as 43 cidades presentes na região em questão, 10 delas (representadas na Tabela 7), somadas, possuem cerca de 89,81% do valor total destas condições. Salvador é, novamente, a cidade com maior número de habitantes na situação analisada a partir dessas circunstâncias, e detém, sozinha, por volta de 65,13% do total entre os municípios. É notável que, mesmo estendendo a região de estudo em mais 4 km, as análises percentuais da população costeira permanecem parecidas com as análises da região abarcada pelo primeiro km de extensão.

Os resultados gerados para os 5 primeiros quilômetros de extensão da costa também permitem a comparação entre a população dessa área para as faixas que se encontram nessa região, faixas 21, 20, 19 e 18. A Tabela 8 traz os valores dos habitantes em cada uma dessas 4 faixas dentro da região delimitada pelo *offset* de 5 km da linha de costa.

Tabela 8 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 5 km de extensão da costa

Faixa de altitude	Distância (m)	População
21	5000	2816723
20	5000	526143
19	5000	123
18	5000	1

FONTE: Autor (2023).

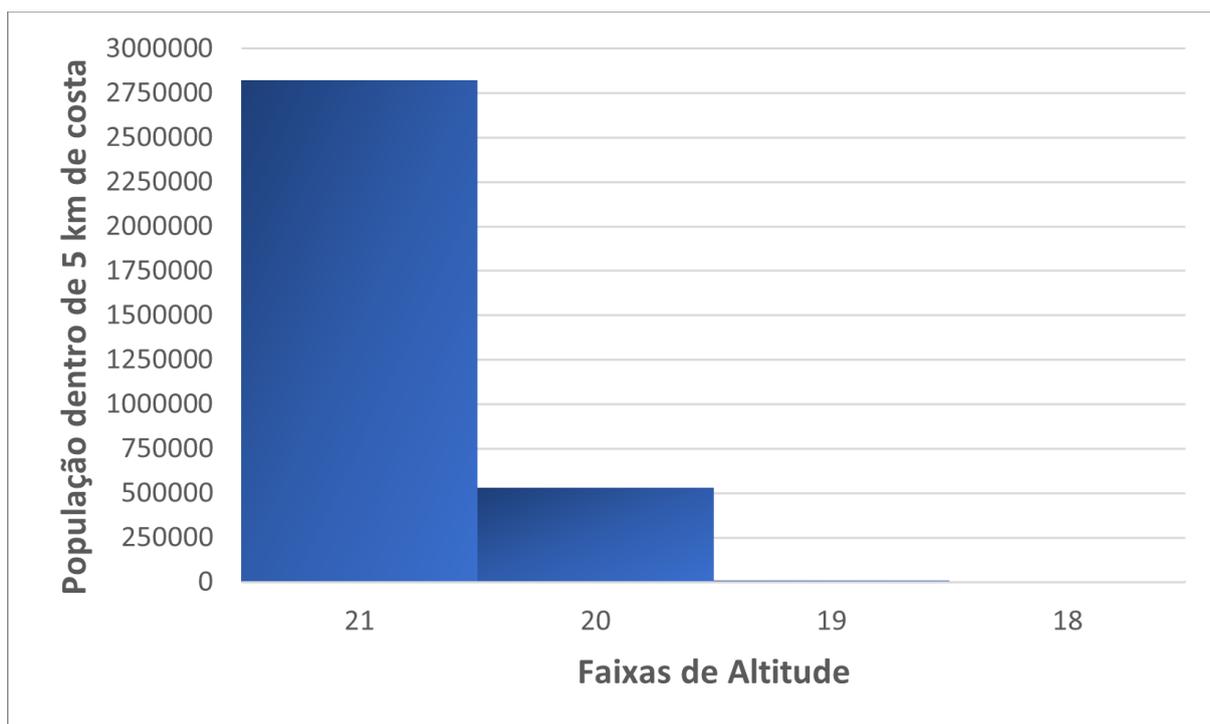
Nota-se, inicialmente, que o número de habitantes na faixa mais alta entre as existentes na zona em análise é o mesmo valor nesta faixa para o primeiro km analisado, mostrando, portanto, que não existem mais habitantes nesta faixa na zona entre o primeiro e o quinto km de extensão da costa.

Constata-se, também, que apesar de existirem 4 faixas de altitudes com moradores dentro da região avaliada, as duas faixas com mais baixas altitudes contêm um percentual expressivo de população, sendo 99,99%, e, não obstante, a faixa dos 100 primeiros metros possui 84,26% do total de pessoas na região.

Com isso, é possível reconhecer que, apesar da taxa de crescimento não ser linear entre o distanciamento da costa e o aumento populacional, existe um aumento significativo de habitantes, de maneira a reconhecer que ainda é uma área densamente habitada.

O Gráfico 6 representa visualmente a constatação acima sobre a diminuição populacional em função do aumento altimétrico. O eixo x exhibe as faixas de altitude existentes nessa região, e o eixo y exhibe a população existente em cada faixa.

Gráfico 6 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 5 km de extensão da costa



FONTE: Autor (2023).

4.2.3.3 Análise populacional para 10 km de extensão da costa

Na Tabela 9 estão os dez municípios da Bahia mais habitados na faixa de altitude mais baixa, faixa 21 (-33 m à 67 m), a uma distância de 10 km da linha de costa, em ordem decrescente.

Tabela 9 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 10 km da costa

Município	Faixa de altitude	População residente
Salvador	21	1955978
Lauro de Freitas	21	200229
Porto Seguro	21	125793
Ilhéus	21	113013
Camaçari	21	101490
Simões Filho	21	73466
Valença	21	64261
Santo Amaro	21	39923
Vera Cruz	21	39394
Candeias	21	32950

FONTE: Autor (2023).

Seguindo a mesma metodologia de análise, a tabela acima traz os dados dos dez municípios em 10 km de extensão da costa com maior população na faixa de altitude 21. O número de municípios presentes nessa região, com altimetria dentro da faixa 21, é igual a 48. Dessas cidades, o total de pessoas nestas circunstâncias é de 3112943, sendo este valor o equivalente a 23,69% da população total no estado. Equivale, também, a um valor próximo de 82,94% de toda a população da faixa de altitude mais baixa. Sendo assim, constata-se que mais de 4/5 da população dentro dos 100 primeiros metros de variação altimétrica estão, no máximo, a 10000 m de distância do mar.

10 das 48 cidades presentes na região em questão, somadas, possuem cerca de 88,23% do valor total destas condições. Salvador continua sendo a cidade com maior número de habitantes desta faixa para a distância de 10 km, e apresenta cerca de 62,83% do total entre os municípios. Todos os valores percentuais seguem, mesmo

estendendo a região de estudo em mais 5 km, semelhantes com as análises da região abarcada pelos primeiros km de extensão.

Os resultados gerados para esta nova extensão da costa permitem a comparação entre a população que reside nas faixas de altitude existentes nesta zona, novamente faixas 21, 20, 19 e 18. A Tabela 10 traz os valores dos habitantes em cada uma dessas 4 faixas dentro da região delimitada pelo *offset* de 10 km da linha de costa.

Tabela 10 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 10 km de extensão da costa

Faixa de altitude	Distância (m)	População
21	10000	3112943
20	10000	669644
19	10000	2404
18	10000	5

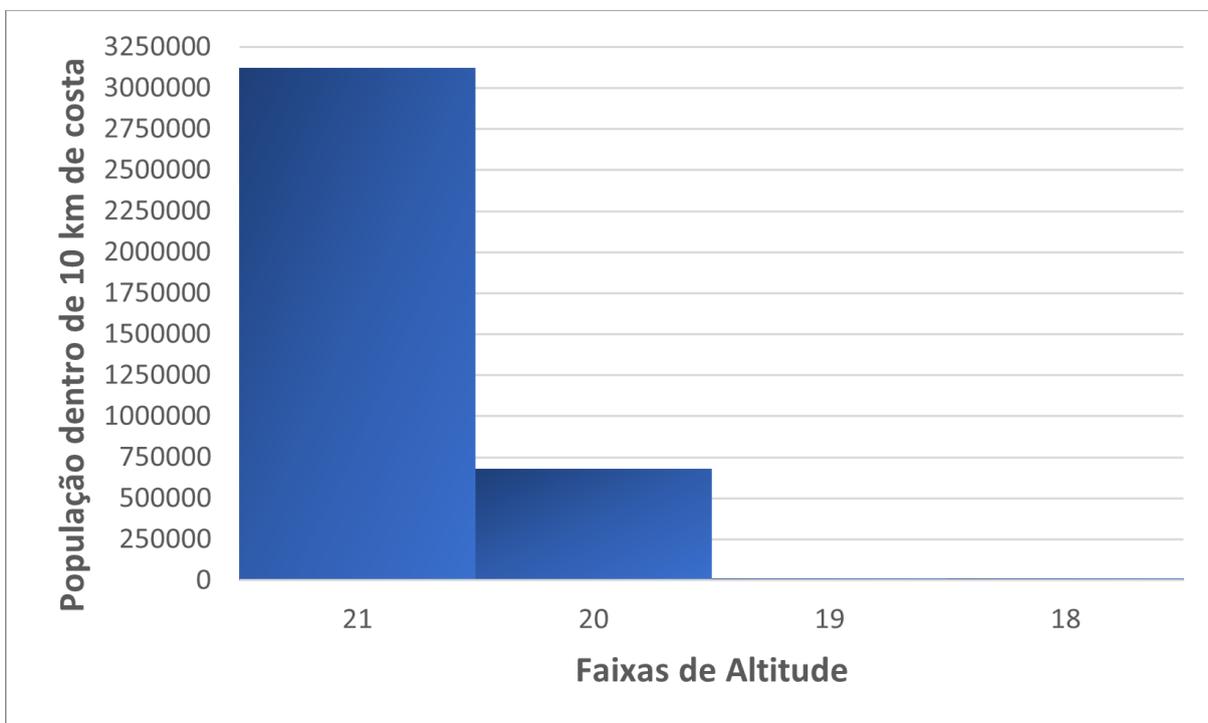
FONTE: Autor (2023).

Nota-se, que as duas primeiras faixas (de -33 m a 167 m) contém um valor quase inteiro da população, sendo 99,94% do total na extensão, e, ainda, que a faixa dos 100 primeiros metros possui 82,24% do total de pessoas na região.

Portanto, é possível observar que, apesar de existirem 4 níveis de faixas de altitude para essa nova região delimitada, as regiões com relevo mais baixo reúnem quase toda a população costeira.

O Gráfico 7 representa a descrição acima e a representação visual da diferença populacional à medida que há um aumento altimétrico. O eixo x exhibe as faixas de altitude existentes nessa região, e o eixo y exhibe a população existente em cada faixa.

Gráfico 7 - População existente nas faixas 21, 20, 19 e 18 em 10 km de extensão da costa



FONTE: Autor (2023).

4.2.3.4 Análise populacional para 50 km de extensão da costa

Por fim, utilizando o parâmetro de distância da costa, utilizou-se o parâmetro de 50 km de distância, como maneira de realizar uma análise de toda a região costeira. A Tabela 11 aponta os dez municípios da Bahia mais habitados na faixa de altitude mais baixa, faixa 21 (-33 m à 67 m), a uma distância de 50 km da linha de costa, em ordem decrescente.

Tabela 11 - População residente na faixa de altitude mais baixa por município baiano a 50 km da costa

Município	Faixa de altitude	População residente
Salvador	21	1955978
Camaçari	21	316797
Lauro de Freitas	21	200229
Porto Seguro	21	128732
Ilhéus	21	120869
Itabuna	21	84641

Dias d'Ávila	21	82150
Simões Filho	21	74274
Valença	21	64281
Santo Amaro	21	40411

FONTE: Autor (2023).

Existem 74 municípios presentes nessa região, com altimetria de até 67 m, tendo um total de pessoas nestas circunstâncias de 3750799, o equivalente a 28,54% da população total no estado. Sendo este, também, um valor em torno de 99,93% de toda a população da faixa de altitude mais baixa. Podendo-se afirmar que aproximadamente toda a população residente nos primeiros 100 m de variação altimétrica constitui, também, a população costeira. Analisando a relação oposta, pode-se afirmar que a população na faixa de altitude 21 equivale a 62,77% do total da população costeira (em até 50 km da linha de costa).

As 10 cidades com maior número de habitantes entre as 74 da região, nesta altitude, contêm um total de 81,81% do valor total destas condições. Salvador é a cidade com maior número de habitantes, na costa baiana, que estão até 67 m de altitude, e apresenta cerca de 52,15% do total entre os municípios. Os valores percentuais para as análises de toda a região costeira apontam o mesmo padrão de crescimento que para cada uma das faixas de distância estabelecidas, expondo a diminuição da frequência de crescimento em função do distanciamento.

A partir destes resultados foi feita a comparação entre a população total que reside em cada faixa de altitude presente na zona costeira, sendo estas as faixas 12 a 21. A Tabela 12 traz os valores dos habitantes em cada uma dessas faixas dentro da região delimitada pelo *offset* de 50 km da linha de costa.

Tabela 12 - População existente nas faixas de 21 a 12 em 50 km de extensão da costa

Faixa de altitude	Distância (m)	População
21	50000	3750799
20	50000	1275199
19	50000	914936
18	50000	26720

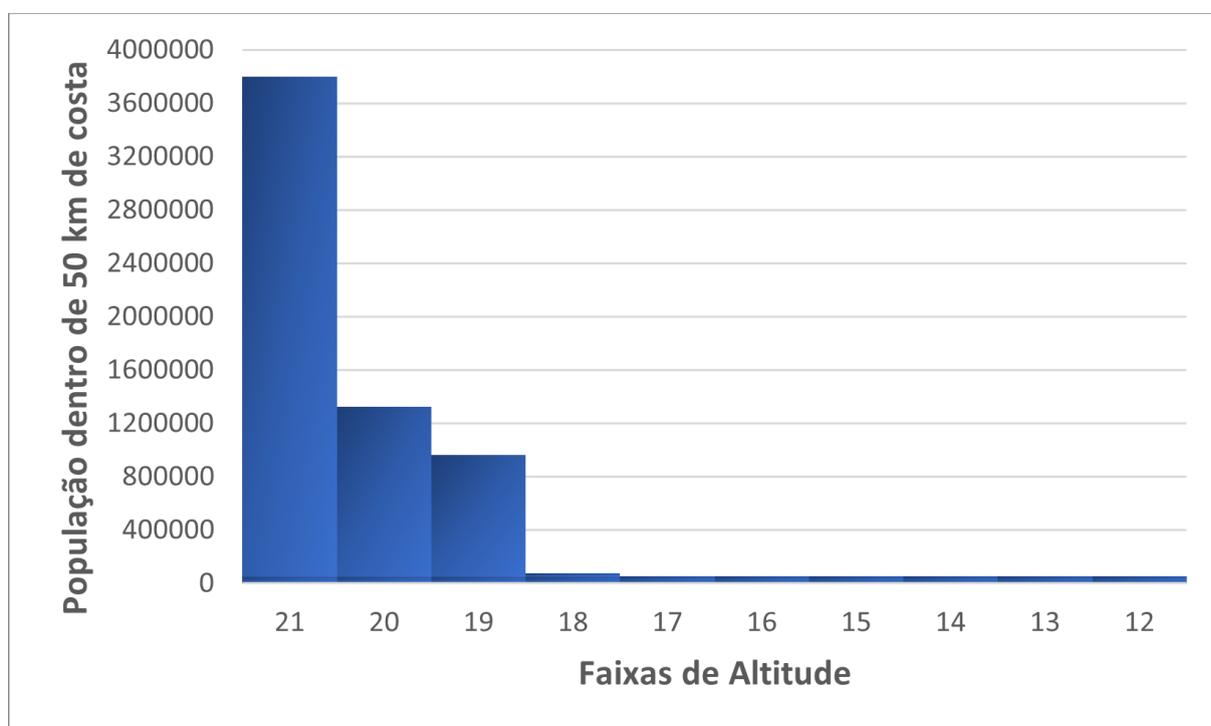
17	50000	4266
16	50000	2298
15	50000	841
14	50000	114
13	50000	28
12	50000	8

FONTE: Autor (2023).

É possível perceber que a segunda faixa de altitude mais baixa possui pouco mais de 33,99% do número de habitantes da primeira faixa, e as duas juntas contêm um valor percentual de 84,11% do total da costa. Portanto, é possível observar que, apesar de existirem 10 níveis de faixas de altitude na zona costeira, as regiões com relevo mais baixo reúnem quase toda a população costeira.

O Gráfico 8 apresenta de maneira mais qualitativa a diminuição populacional com o aumento altimétrico. O eixo x exibe as faixas de altitude existentes nessa região, e o eixo y exibe a população existente em cada faixa.

Gráfico 8 - População existente nas faixas de 21 a 12 em 50 km de extensão da costa

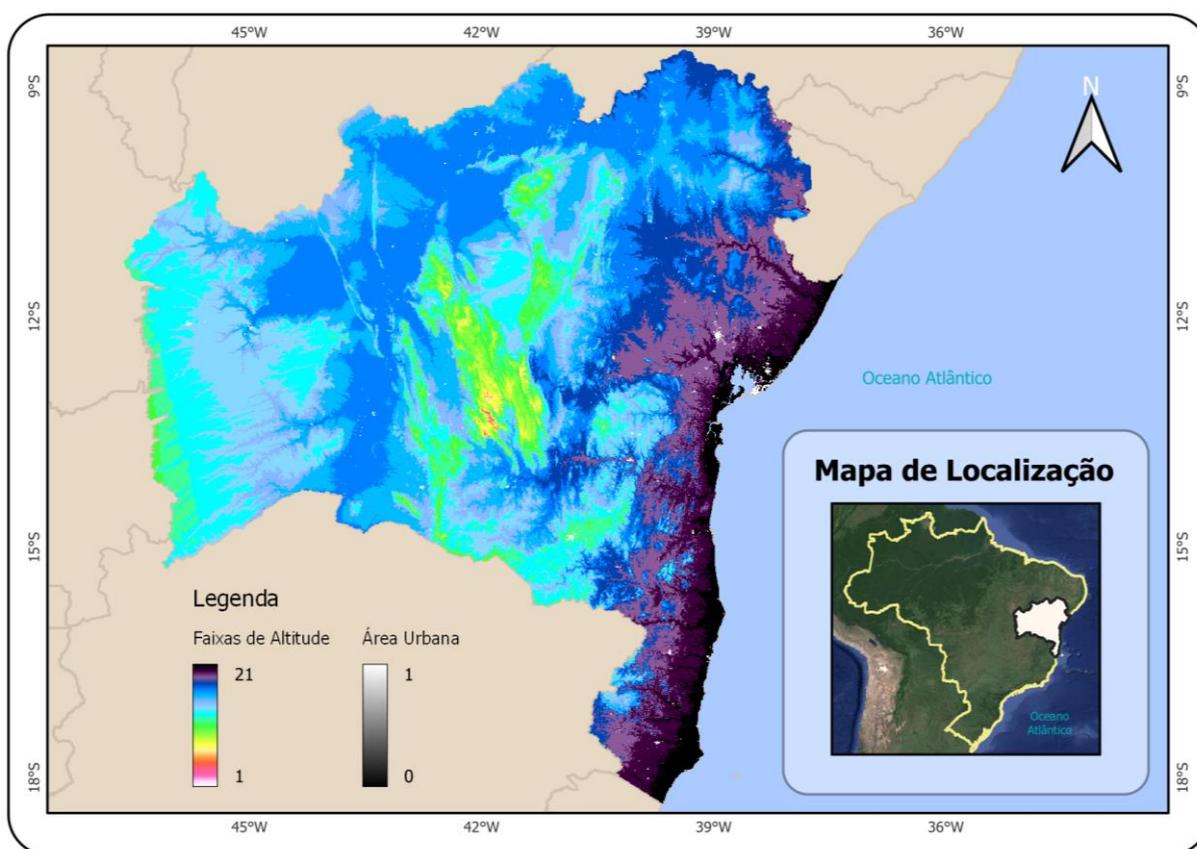


FONTE: Autor (2023).

4.2.4 Identificação da área urbanizada na área de estudo e sua proximidade com a linha de costa

A partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, foi possível realizar a detecção da área urbanizada dentro da área de estudo e identificar a relação destas áreas com a proximidade com a linha de costa. Essa identificação, feita com a sobreposição das informações de uso e ocupação do solo da coleção 8 do projeto MapBiomas sobre o mapa de faixas de altitude, apresenta resultados acerca da mancha urbana do estado da Bahia. A Figura 19, abaixo, apresenta o resultado visual dessa sobreposição, permitindo a identificação das regiões onde se predomina a urbanização.

Figura 19 - Área urbanizada sobre as faixas de altitude em toda a área de estudo



FONTE: Autor (2023).

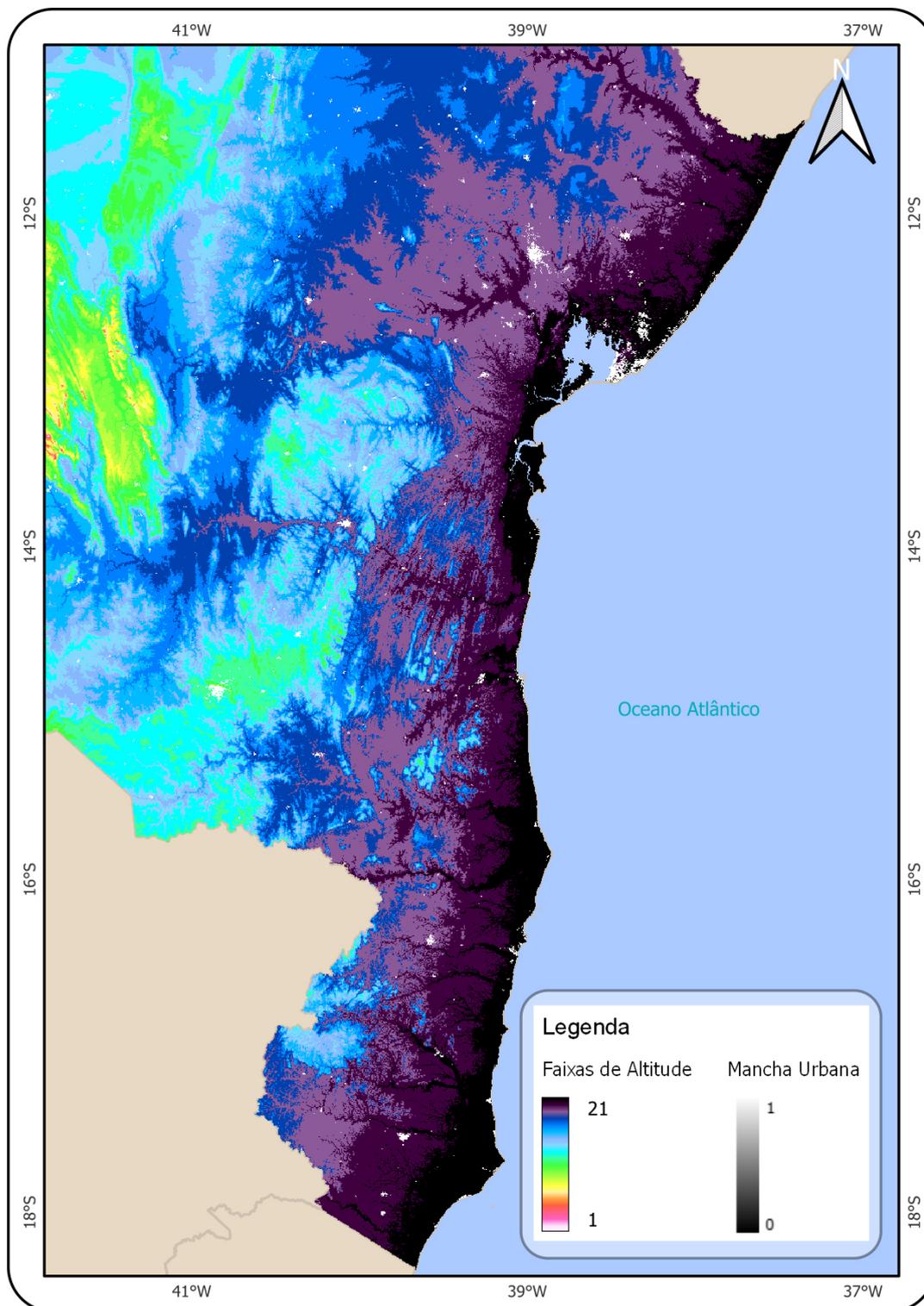
A informação das classes de uso e ocupação do solo foram binarizadas de maneira que apenas a classe de interesse, área urbana, seja representada, todas as outras utilizações do solo estão categorizadas como o número 0, para que não sejam representadas. Sendo assim, é possível compreender, pela legenda, que as regiões urbanizadas estão em branco e com o entendimento da representação das faixas de

altitude, analisadas no item 4.2.1, visualizar quais faixas estas áreas urbanas sobrepõem.

Como é possível visualizar na figura acima, as regiões com maior mancha urbana estão localizadas nas faixas de altitude mais baixas, é possível observar vários pontos de incidência urbana, entretanto, as regiões que possuem muitos e esses pontos estão próximos o suficiente para se tornarem pequenos polígonos, são todas regiões próximas à linha de costa.

A Figura 20 representa as mesmas informações da figura acima, porém de maneira estrategicamente aproximada das áreas com maiores índices urbanos, para que seja possível comparar os tamanhos de aglomerados urbanos com as faixas de altitude já conhecidas na pesquisa.

Figura 20 - Área urbanizada sobre as faixas de altitude aproximada para região costeira



FONTE: Autor (2023).

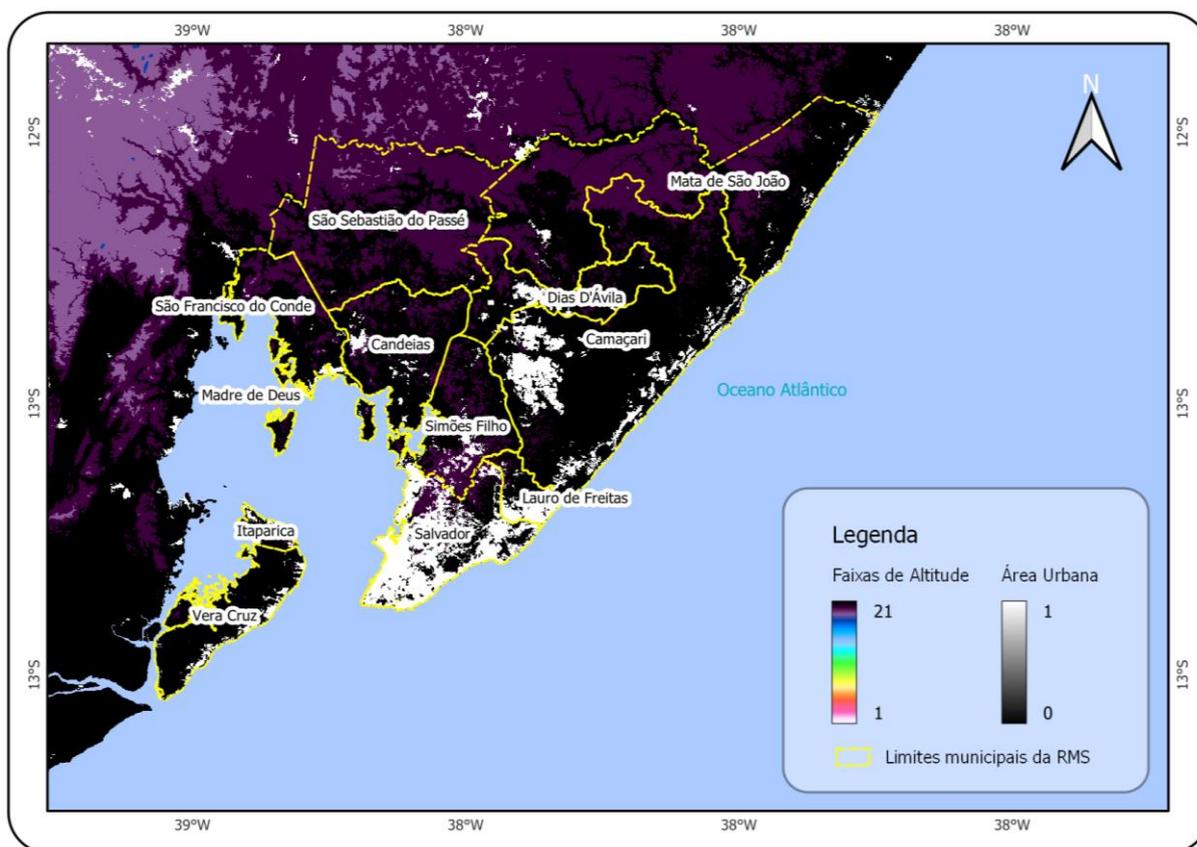
Com a visualização mais aproximada, torna-se mais fácil reconhecer que, apesar de existirem áreas urbanizadas em um trecho de região em azul e verde, existem quantidades maiores de áreas urbanizadas espalhadas pelas regiões de

faixas roxas, possuindo 3 faixas categorizadas com tons desta cor, que indicam, da mais escura para a mais clara, as faixas 21, 20 e 19 respectivamente.

Outra análise realizada nos tópicos anteriores e que possui uma validação gráfica com a sobreposição destas duas informações é a de que, em todas as distâncias estudadas dentro da área costeira, Salvador é o município que, não só tem a maior população em baixas altitudes, como possui a maior população quando a comparação é realizada entre faixas também, o que é esperado visto que é a capital do estado da Bahia.

A Figura 21 apresenta um mapa da região metropolitana de Salvador (RMS), região onde a área urbanizada é predominante e é possível identificar a relação de proximidade deste uso e ocupação do solo com a linha de costa.

Figura 21 - Mancha urbana sobre as faixas de altitude na RMS



FONTE: Autor (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são descritas as conclusões do estudo e indicadas as recomendações para trabalhos futuros. São expressos os entendimentos acerca dos principais resultados obtidos, análise do significado dos dados alfanuméricos e

posicionamento em relação à aplicabilidade dos dados utilizados como parâmetros de entrada.

5.1 CONCLUSÕES

O aumento da velocidade com que o aquecimento global evolui traz a iminente discussão sobre a necessidade de estudos e planejamentos referentes à contenção e adaptação frente às mudanças climáticas. O território brasileiro possui uma extensa região litorânea e, com isso, está sujeito a riscos relacionados à mudança climática de elevação do nível do mar. Com a observação de dados da Terra é possível realizar análises, de baixo custo, de suporte para os planejamentos necessários para as populações vulneráveis à mudança climática citada.

Buscando suprir esta demanda, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, desenvolveu-se um código, em JavaScript, que permite a realização de cálculos populacionais em áreas próximas ao litoral e que se encontram em altitudes próximas ao nível médio do mar. Este estudo foi aplicado para o estado da Bahia, com o objetivo de analisar as relações populacionais e de ocupação urbana na região costeira do estado para o ano de 2020.

Os objetivos específicos desta pesquisa foram divididos em três etapas descritas por a, b e c, no item 1.2.2. Durante a revisão da literatura, para definição da metodologia utilizada para alcançar estes objetivos, constatou-se a escassez de dados e modelos matemáticos construídos e ajustados a partir da realidade da costa brasileira. Esclarecendo, então, que toda a metodologia é baseada em um recorte de parâmetros globais adaptados para a realidade local.

Inferiu-se, durante a pesquisa, que o maior número de registro de eventos extremos na Bahia é relativo a secas e estiagens, e este trabalho levanta a questão de que é necessário, também, olhar para os eventos hidrológicos de forma mais ampla no estado, pois este apresenta risco de expor uma população ampla a alta vulnerabilidade.

O código construído para identificar os locais e a população afetada pelo aumento do nível do mar mostrou-se adequado para replicação em outras áreas de escala estadual, ou mesmo com possibilidade de cálculo para todo o Brasil. Ele permite ajustar os intervalos de classes de altitude de acordo com o intuito da pesquisa a ser implementado, assim como relaciona as estimativas populacionais para as regiões delimitadas por essas faixas de altitude, calcula também quais são as faixas

existentes em cada município e o número de habitantes residentes em cada uma dessas faixas para cada município, sendo assim, gerando resultados como os esperados com o objetivo específico a.

Para alcançar o objetivo b, foram definidas quatro distâncias da linha de costa de modo a demarcar parcelas crescente de relação com a distância do mar e quantificar a população inserida em cada uma destas parcelas, assim como analisar a tendência de proporção do crescimento populacional ao se distanciar do litoral. Método esse que gerou resultados que expõem uma diminuição de velocidade de crescimento populacional em relação ao aumento da distância costeira.

O objetivo c foi alcançado através da esquematização dos resultados do objetivo anterior, imprimindo resultados que expressam a quantidade de pessoas em cada faixa de altitude, para cada município nas parcelas delimitadas pelas distâncias da linha de costa.

Com a avaliação dos resultados, foi possível notar que a maior parte da população costeira se encontra em altitudes próximas ao nível do mar, o que aponta a urgência, por parte dos municípios baianos, em incluir instrumentos de adaptação às mudanças do nível do mar em seus planos e projetos urbanos. Pois, identificou-se, com o crescimento não linear da população com a distância da linha de costa, que o aumento do nível do mar não causa apenas o impacto de sua elevação vertical. O crescimento vertical do nível do mar e a extensão de costa atingida por essa elevação não estão na mesma ordem de grandeza, em outras palavras, o aumento do nível do mar é dado em escala sub-métrica, entretanto, a proporção de invasão do território costeiro, gerado para esse aumento, é uma extensão de área de valor muito superior. Gerando um valor considerável de população atingida diretamente por essa mudança climática.

5.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No processo de construção do trabalho, algumas limitações foram encontradas. Sendo elas:

- a) Os dados do WorldPop apresentam diferenças significativas em relação ao dado do IBGE em alguns pontos da área de estudo, deste modo, é interessante avaliar a possibilidade de alterar os dados iniciais de estimativa populacional para estudos em escala reduzida;

- b) Existem dados com informação altimétrica com melhor resolução espacial, porém, em vista do objetivo do trabalho, foi dada prioridade para o uso de dados de acesso livre.

A realização deste trabalho permitiu a identificação de demandas para segmentos de estudos nesta linha de pesquisa. Algumas destas são:

- a) A realização de projeções futuras (para os próximos 10, 20, 50 anos) do aumento do nível do mar, extensão territorial que esse aumento abrange e a população estimada nessa extensão;
- b) Incrementar o código com variáveis que delimitam áreas de vulnerabilidade para cruzar aos dados já calculáveis;
- c) Utilizar modelos matemáticos pensados para a realidade dos fenômenos hidrológicos brasileiros para estimar aumento do nível do mar mais acurado;
- d) Realizar uma análise semelhante à proposta neste trabalho para uma variação temporal nas últimas décadas do século XXI.

REFERÊNCIAS

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M.Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A.Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. No prelo.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non-void-filled>>. Acesso em: 28 out. 2023.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 28 out. 2023.

WorldPop (2020), Population (base de dados), www.worldpop.org.uk/data/data-sources/ (consultado a 30 de março de 2023).

Projeto MapBiomias – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 30/10/2023 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>

Souza et al. (2020) – Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – Remote Sensing, Volume 12, Issue 17, 10.3390/rs12172735

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6

BELÉM, André Luiz. IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NO RISCO DE INUNDAÇÕES EM ZONAS COSTEIRAS. p. 13, 2007. Disponível em: . Acesso em: 22 out. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR (PMS) PMAMC Plano de mitigação e adaptação às mudanças do clima em Salvador. P7 - Versão Final do PMAMC de Salvador.2020. Disponível em: <http://sustentabilidade.salvador.ba.gov.br/wp-content/uploads/2020-/12/Versao_Completa_PMAMC.pdf>. Acesso na internet em: 10 out. 2023.

Gornitz, V. (1991) – Global sea level hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section)*, 89(1):379-398. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands. Disponível on-line em http://pubs.giss.nasa.gov/docs/1991/1991_Gornitz_1.pdf

MAGAROTTO, M. G., COSTA, M. F., MASANET, E. Crescimento urbano em zonas costeiras: análise comparada da praia de Boa Viagem (Brasil) e da praia da Rocha (Portugal). *Cadernos de Estudos Sociais*, v. 36, n. 1, [in press], Jan./Jul., 2021.

MASOOD, M., TAKEUCHI, K. Flood risk assessment using satellite image and SRTM DEM data: a case study in eastern Dhaka, Bangladesh, *Journal of Spatial Hydrology*: Vol. 13: No. 1, Article 3. Available at: <https://scholarsarchive.byu.edu/josh/vol13/iss1/3>. 2017.

BUSSOLOTTI, V. M., DE ALVAREZ, C. E. Análise da literatura referente ao aumento do nível do mar oriundo das mudanças climáticas. *ANAIS IV, Euro Elecs.* 2021.

CAMPOS, J., GONZAGA, M. R., FREIRE, F. H. M. A., FREITAS, P. H. O., DE SOUZA, F. H. Estimativas populacionais para os municípios brasileiros: uma análise comparativa entre métodos demográficos/matemáticos e por modelagem espacial. *XXII Encontro Nacional de Estudos Populacionais.* 2022

COHEN, J. E., SMALL, C., MELLINGER, A., GALLUP, J., SACHS, J. Estimates of Coastal Populations. *Science Journal*: Vol. 278: No. 5341. 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Unidades da Federação. Malha Municipal. 2020. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso na internet em: 15 mar. 2023.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (INEMA).
Mapeamento Massa d'água. Estado da Bahia. 2019. Disponível em:
<mapa.geobahia.ba.gov.br>. Acesso na internet em: 24 mar. 2023.