



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 10, nº 2 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n2ID37699>



## Projeção e avaliação dos impactos físicos decorrente da elevação no nível do mar no ano de 2100 na zona urbana de Grossos

### *Projection and evaluation of the physical results resulting from the rise in sea level in the year 2100 in the urban area of Grossos*

Jucielho Pedro da Silva<sup>1</sup>; Paulo Victor do Nascimento Araújo<sup>2</sup>; Marco Túlio Mendonça Diniz<sup>3</sup>; José Yure Gomes dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Laboratório de Geoprocessamento e Geografia Física, Caicó/RN, Brasil. jucyelho@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0445-5945>

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Macau/RN, Brasil. paulo.araujo@ifrn.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0625-0946>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia do CERES, Caicó/RN, Brasil. tuliogeografia@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7676-4475>

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia do CERES, Caicó/RN, Brasil. jose.yure.santos@ufrn.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9840-8132>

**Resumo:** O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise situacional da cidade de Grossos frente as projeções do nível do mar para 2100 com base no AR6 do IPCC. Para tanto foi realizada uma modelagem do nível do mar em modelo hidráulico estático do tipo banheira, com referencial altimétrico padronizado a altitude normal e ajustado ao nível local (zero da régua de maré de Areia Branca). Para representação do terreno, foi confeccionado um MDT, por meio de estereoscopia digital em imagens de VANT e ajustado ao Sistema Geodésico Brasileiro. Os resultados demonstram que a área urbana está predominantemente entre 2,44 e 12,92 m de altitude, ficando fora do alcance das máximas marés atuais e terá em 2100 entre 3,18 a 8,10% do seu território afetado. Com isso, conclui-se que a cidade se encontra em área segura e com relativamente baixo risco a inundações futuras provenientes do aumento do nível do mar.

**Palavras-chave:** Inundação; Mudanças climáticas; Nível do mar.

**Abstract:** The present study aimed to carry out a situational analysis of the city of Grossos in relation to sea level projections for 2100 based on the IPCC AR6. To this end, sea level modeling was carried out in a static hydraulic bathtub-type model, with an altimetric reference standardized at normal altitude and adjusted to the local level (zero on the Areia Branca tide ruler). To represent the terrain, it was made in MDT, using digital stereoscopic UAV images and adjusted to the Brazilian Geodetic System. The results demonstrate that the urban area is predominantly between 2.44 and 12.92 m in altitude, beyond the reach of current maximum tides and will have between 3.18 and 8.10% of its territory affected by 2100. Therefore, it can be concluded that the city is in a safe area with a relatively low risk of future flooding from rising sea levels.

**Keywords:** Inundation; Climate changes; Sea level.

Recebido: 02/08/2024; Aceito: 17/09/2024; Publicado: 19/09/2024.

## 1. Introdução

Na escala de tempo geológica é fato que tanto a temperatura como o nível do mar e os demais elementos que compõem o clima tiveram e terão aumentos e declínios, entretanto, na escala de tempo humana essas variações seriam imperceptíveis se não por meios de paleo registros. Porém, no final do século XX e início do século XXI o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) trouxe à tona relatórios que reúnem e resume diversas percepções, por meio de artigos científicos dessa mudança climática acelerada e perceptível (e.g., IPCC, 2023).

De acordo com os relatórios do IPCC, o clima começou a acelerar num processo de aquecimento a partir do início da revolução industrial (1750), e quanto maior foi a mecanização e uso energético de combustíveis fósseis mais se acentua esta aceleração, fato é que de 2011 - 2020 foi quantificado um aumento de 1,1 °C se comparado com variação de 1850 – 1900 (IPCC, 2023).

As temperaturas em constante elevação devido às mudanças climáticas resultam em impactos drásticos, como o derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar e eventos climáticos extremos mais frequentes. Essas mudanças ameaçam ecossistemas, comunidades costeiras e a segurança alimentar global. A mitigação urgente é essencial para limitar os danos futuros. Só na América do Sul e América Central já somam 690 mil pessoas expostas aos riscos da elevação do nível do mar em 2020 e esse número pode aumentar em até 35% já para 2040 (IPCC, 2023).

Com isso e sabendo-se que em 2022, segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais da metade da população brasileira vive na faixa litorânea (cerca de 54,8% da população) (IBGE, 2022), surge a necessidade de saber quais áreas já estão ou ficarão suscetíveis a inundações se as modelagens preditivas do sexto relatório de avaliação do IPCC (AR6) se concretizarem.

Com esta problemática pressuposta, este trabalho teve como objetivo realizar um levantamento topográfico da zona urbana de Grossos, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e projetar as possíveis elevações do nível do mar baseadas nos cenários Shared Socio-Economic Pathways (SSP) do AR6.

## 2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido no recorte urbano do município de Grossos, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Esta região, pertence a zona estuarina do Rio Apodi-Mossoró (Figura 01).

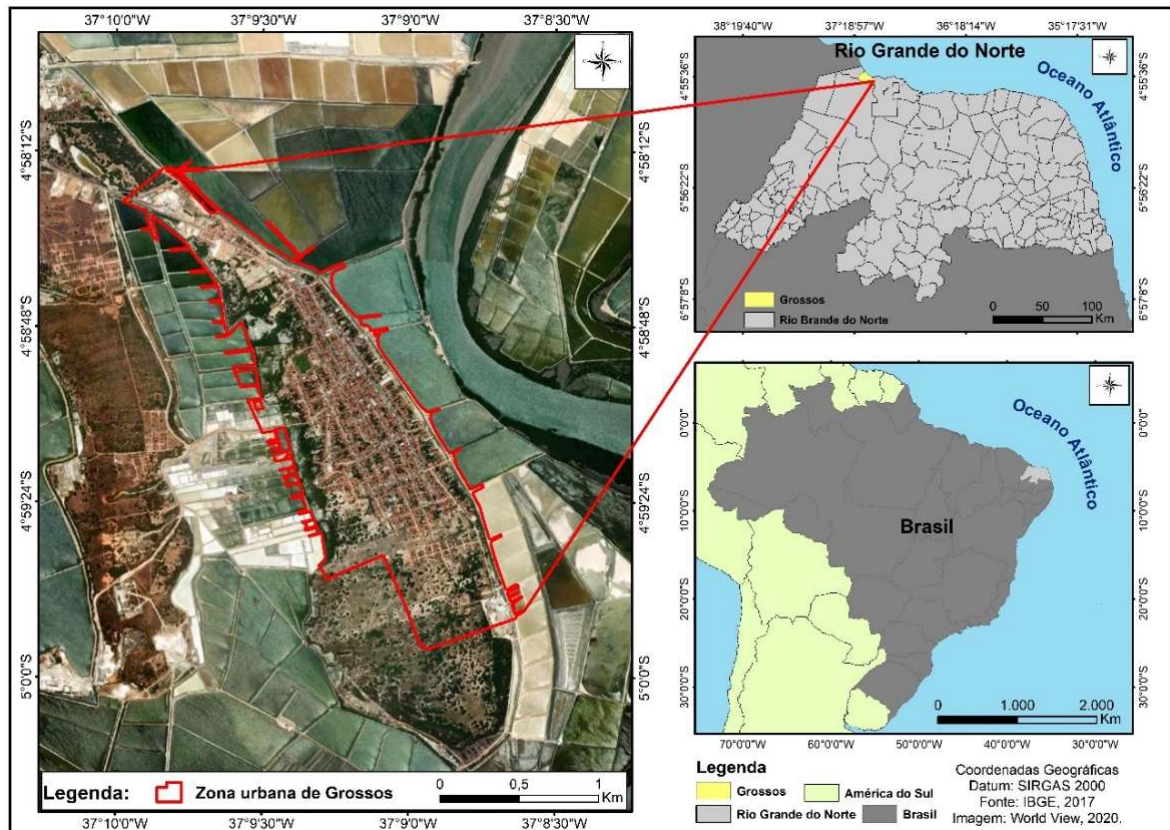


Figura 01 – Mapa de localização da zona urbana de Grossos – RN.  
Fonte: Autores (2024).

Conforme a Figura 01, a área de estudo está geograficamente em um contexto espacial favorável (região abrigada), sofre apenas influência da maré, tendo amplitudes médias diárias entorno de 1 a 2m (Aguiar *et al.*, 2019).

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se bases de dados primárias e secundárias, na qual para o levantamento topográfico foi realizado um levantamento fotográfico com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) DJI – Mavic Air 2S e um levantamento de pontos de controle e checagem com aparelhos receptores do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) CHCNAV – 190, com base no Datum horizontal SIRGAS 2000 e Datum Vertical Modelado geoHNOR\_IBITUBA. Com os dados destes dois levantamentos foi produzido o modelado topográfico da área em estudo por meio do *software* de estereoscopia digital Agisorft MetaShape, gerando assim um Modelo Digital de Elevação (MDE), corrigido pelos pontos de controle, que em seguida foi transformado em um Modelo Digital do Terreno (MDT), por meio da classificação da nuvem densa de pontos, utilizando os seguintes critérios: ângulo máximo de 20°; máxima distância de 1 m; declividade máxima de 8°; tamanho da célula de 100 m. O MDT final teve um erro horizontal de 11,7 cm e vertical de 6,9 cm.

Entretanto, para projetar os futuros cenários do IPCC e saber quais áreas seriam afetadas, foi necessária a obtenção do nível médio do mar local e registros de marés astronômicas e meteorológicas da região, e para isso recorreu-se aos dados da Marinha do Brasil, mais precisamente da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), trabalhos de terceiros desenvolvidos nas proximidades e pesquisa bibliográfica a respeito de possíveis registros de inundações. Com estas buscas foi possível obter o nível médio do mar local e o registro das marés, e assim projetar no MDT as cotas que serão atingidas em 2100 com base nos valores fornecidos pelo IPCC para cada cenário escolhido.

Para a realização da modelagem do nível do mar para 2100, foi utilizado um modelo hidrológico estático do “tipo banheira” ou “modelo de inundação baseado em SIG”, utilizando o *software* ArcGis. Segundo Anderson *et al.* (2018), este tipo de modelo pode-se definir como a projeção de uma superfície de inundação em um MDT, sendo de fácil implementação e fornecendo a especificidade espacial necessária. E se tratando de uma região abrigada, o modelo se torna de grande valia.



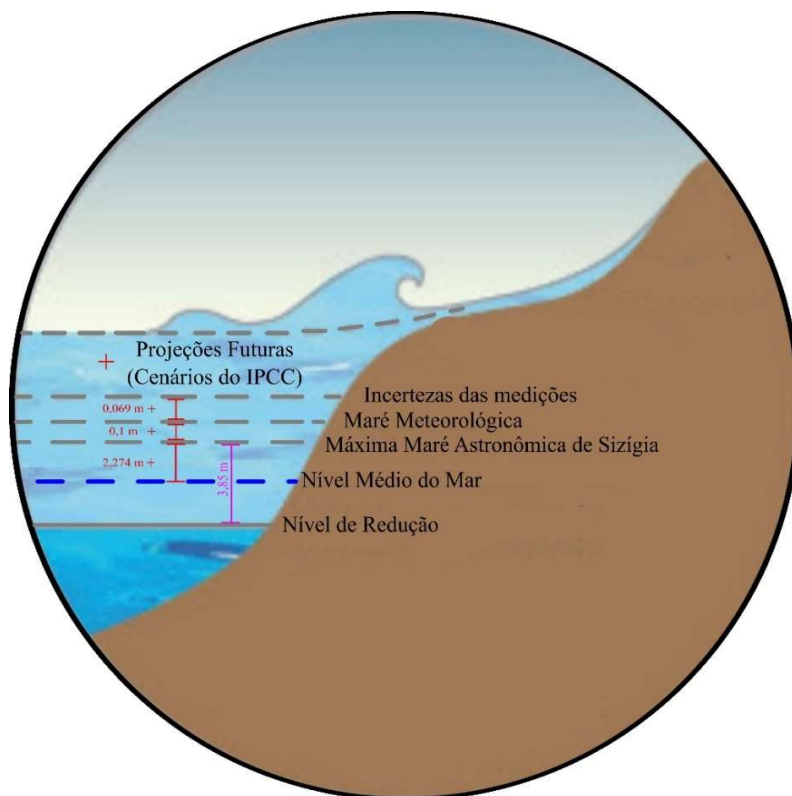


Figura 03 – Esquema ilustrativo de empilhamento dos parâmetros considerados na modelagem de elevação do nível do mar para a cidade de Grossos – RN.  
 Fonte: Adaptado do IPCC (2023).

Como pode ser observado na Figura 03, a cota de inundação consiste na soma da maior maré de sizígia já registrada, que segundo Aquiar (2019) foi de 3,85 m a partir do nível de redução, ou seja, 2,274 m no modelo topográfico (a partir do nível médio do mar), mais a maré meteorológica de 0,1 m, segundo observações feitas por Frota *et al.* (2016), mais as incertezas das medições (0,069 m), ou seja, o *Root Mean Squared Error* (RMSE) entre o ponto gerado pelo *software* no MDT e o ponto medido com o GNSS, mais os valores dos cenários do IPCC.

Estes referidos valores do IPCC (Figura 04) corresponde ao aumento do nível médio do mar global que pode variar de 0,28m á 1,01m a depender das respostas socioeconômicas para cada cenário, onde se tem uma margem máxima, mínima e média. E que para esta pesquisa foi utilizado como referência as máximas de cada cenário: SSP1-1.9 (0,55m), SSP1-2.6 (062m), SSP2-4.5 (0,76m), SSP3-7.0 (0,90m) e SSP5-8.5 (1,01m).

	SSP1-1.9	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP3-7.0	SSP5-8.5	SSP5-8.5 Low Confidence
Total (2030)	0.09 (0.08–0.12)	0.09 (0.08–0.12)	0.09 (0.08–0.12)	0.10 (0.08–0.12)	0.10 (0.09–0.12)	0.10 (0.09–0.15)
Total (2050)	0.18 (0.15–0.23)	0.19 (0.16–0.25)	0.20 (0.17–0.26)	0.22 (0.18–0.27)	0.23 (0.20–0.29)	0.24 (0.20–0.40)
Total (2090)	0.35 (0.26–0.49)	0.39 (0.30–0.54)	0.48 (0.38–0.65)	0.56 (0.46–0.74)	0.63 (0.52–0.83)	0.71 (0.52–1.30)
Total (2100)	<b>0.38 (0.28–0.55)</b>	<b>0.44 (0.32–0.62)</b>	<b>0.56 (0.44–0.76)</b>	<b>0.68 (0.55–0.90)</b>	<b>0.77 (0.63–1.01)</b>	<b>0.88 (0.63–1.60)</b>
Total (2150)	0.57 (0.37–0.86)	0.68 (0.46–0.99)	0.92 (0.66–1.33)	1.19 (0.89–1.65)	1.32 (0.98–1.88)	1.98 (0.98–4.82)

Figura 04 – Projeções da elevação do nível médio do mar global por cenários SSP - Caminhos socioeconômicos compartilhados.  
 Fonte: IPCC (2021).



A partir da análise das discussões do IPCC, a respeito destes cenários SSP (Figura 05) foi observado que dos cinco cenários (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5), o primeiro e mais otimista (SSP1-1.9) será altamente improvável de se concretizar, pois depende de uma reversão do aquecimento e emissões de CO<sup>2</sup> a partir de 2050 e em 2100 ficando no limite de 1.5°C; o segundo (SSP1-2.6) também considerado um cenário otimista dependente da reversão da emissão dos gases do efeito estufa – GEE com destaque no CO<sup>2</sup> e desaceleração do aquecimento até 2070 chegando em 2100 com o limite de 2°C; o terceiro cenário (SSP2-4.5) é considerado intermediário e mais realista, pois considera a curva de ascensão do aquecimento e emissões dos GEE em torno dois níveis atuais chegando ao limiar de 3°C em 2100; o quarto cenário (SSP3-7.0) considerando mais pessimista considera que até 2100 os níveis de CO<sup>2</sup> podem dobrar e o aquecimento ficar em torno de 4°C. o quinto e último cenário (SSP5-8.5) considerado mais pessimista, porem com mais de cinquenta por cento (>50%) de probabilidade de se concretizar, considera que os níveis de GEE principalmente o CO<sup>2</sup> dobrará em 2050 e o aquecimento por volta dos 5°C.

## Cenários SSP - *Shared Socio-Economic Pathways*

<b>Muito Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Intermediário</b>	<b>Alto</b>	<b>Muito Alto</b>
<b>SSP1 - 1.9</b>	<b>SSP1 - 2.6</b>	<b>SSP2 - 4.5</b>	<b>SSP3 - 7.0</b>	<b>SSP5 - 8.5</b>
<p><b>Se as emissões de CO<sup>2</sup> zerar por volta 2050 e ficar negativo em 2100. Ou se o aquecimento desacelerar, limitando-se a 1.5°C.</b></p>	<p><b>Se as emissões de CO<sup>2</sup> zerar por volta 2070 e ficar negativo em 2100. Ou se o aquecimento levemente desacelerar, limitando-se a 2°C.</b></p>	<p><b>Emissões de CO<sup>2</sup> permanecendo em torno dos níveis atuais até metade do século. Ou se o aquecimento permanecer no ritmo em que esta, limitando-se a 3°C em 2100.</b></p>	<p><b>Se o CO<sup>2</sup> dobrar em relação aos níveis atuais até 2100. Ou se o aquecimento levemente acelerar, chegando a 4°C em 2100.</b></p>	<p><b>Se o CO<sup>2</sup> dobrar em relação aos níveis atuais até 2050. Ou se o aquecimento acelerar, excedendo os 4°C em 2100. (≥ 5°C).</b></p>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6** - Sixth Assessment Report. **Syntesis Report**, 2023.

*Figura 05 – Esquema dos cenários SSP - Caminhos socioeconômicos compartilhados.*

*Fonte: IPCC (2023).*

Com base nestes cenários, correlacionando com a topografia local, foi possível mapear e quantificar as possíveis áreas a serem afetadas em 2100 e as áreas de inundações atuais de eventos extremos, conforme apresentado na Figura 06.

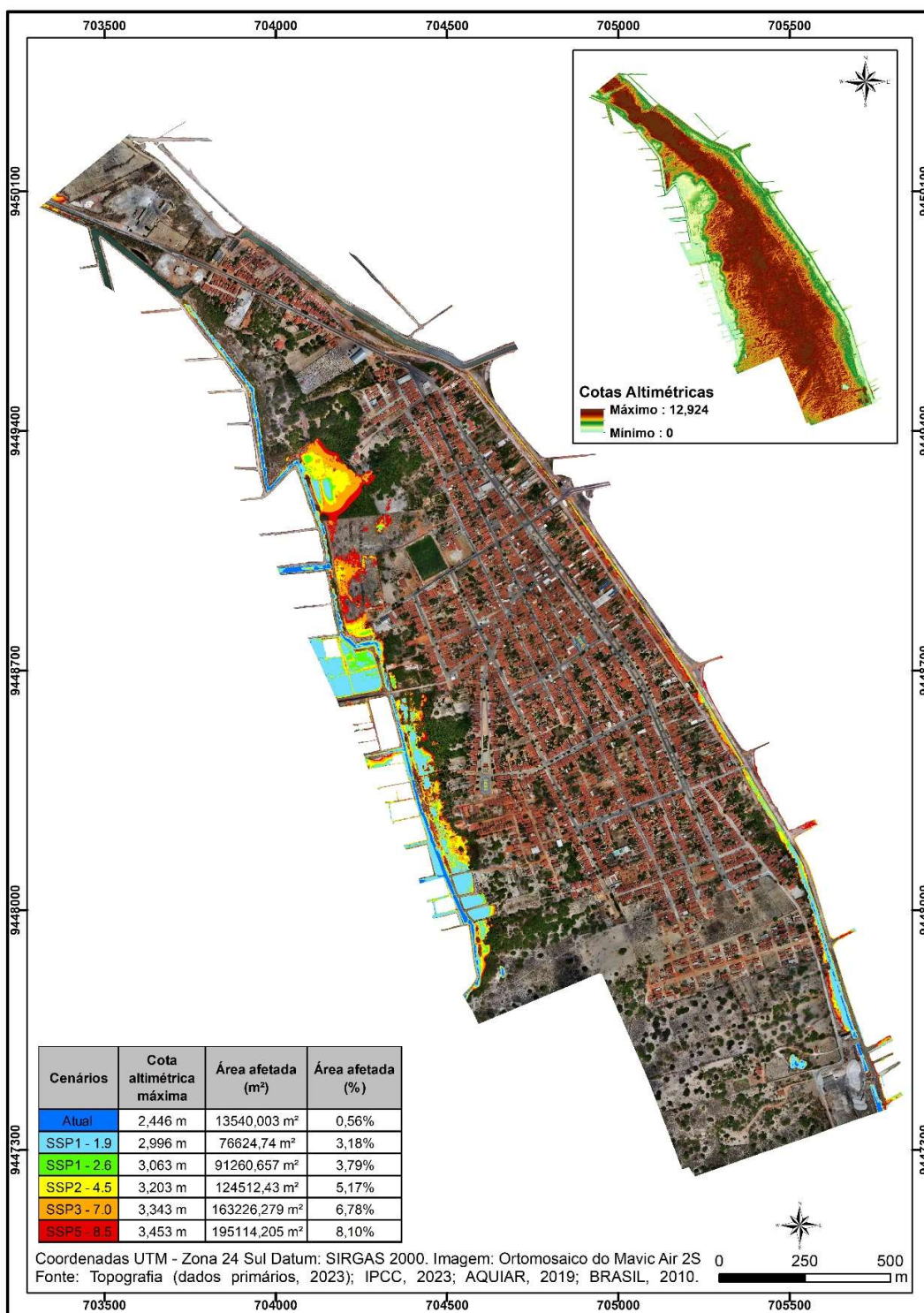


Figura 06 – Mapa de localização e situação de Grossos/RN em 2024, com modelagem dos cenários do IPCC para 2100. Fonte: Acervo dos autores (2023).

Atualmente a zona urbana da cidade encontra-se cercada de tanques de salinas, não tendo contato direto com o oceano, e com cotas altimétricas entre 0 e 13 m, sendo que mais de 90% estão acima de 3,5 m. Neste sentido, conforme a projeção para 2100, a área passível de alagamentos varia entre 3,79 a 8,11 %, em casos extremos (levando em consideração apenas a influência da maré), tendo em vista que a modelagem foi realizada com base nos máximos de cada cenário e com a maré máxima de sizígia.

De forma mais minuciosa observa-se também que as áreas de risco não estão em áreas construídas, salvo a observação de apenas três casas afetadas. Uma ao leste apenas no cenário SSP5-8.5 e duas a oeste sendo afetadas nos cenários SSP3-7.0 e SSP5-8.5. É importante enfatizar que possíveis eventos extremos de cheias do Rio Apodi-Mossoró, agravaram os cenários modelados.

O fator principal pela ocorrência maior no lado oeste é a topografia do terreno. A região apresenta uma leve diminuição da sua cota altimétrica para o setor oeste. Além disso, é importante mencionar que as inundações que ocorrem em áreas de descontinuidade topográfica são frutos de subida do nível freático.

Muitas cidades costeiras do Brasil estão topograficamente vulneráveis ao aumento do nível médio do mar, o que não é o caso da cidade de Grossos que foi edificada em um local relativamente elevado, considerando que a Costa Branca é composta majoritariamente por terrenos de costa baixa.

#### 4. Considerações finais

Com base neste trabalho foi possível concluir que a zona urbana da cidade de Grossos no estado do Rio Grande do Norte – Brasil está localizada em uma área segura em relação a alagamentos atuais e com baixo risco (3,79 % a 8,11 %) a inundações futuras provenientes do aumento do nível do mar para 2100. Este trabalho pode ser norteador para futuros trabalhos de ordenamento do território local. Sugere-se o desenvolvimento de futuros trabalhos de inundações costeiras, que levem em consideração efeito combinado de inundação costeira e inundação fluvial, denotando um evento extremo máximo para a região.

A apesar de a sede municipal de Grossos estar abrigada do perigo de inundações, outras comunidades do mesmo municípios podem ser vulneráveis o que gera a necessidade de ampliação do estudo.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa via projeto (Chamada CNPQ/MCTI/FNDCT N°59/2022 - Produção de Conhecimento Voltada para Soluções e Tecnologias Associadas à Mitigação e Adaptação às Mudanças do Clima) pela bolsa SET-F do primeiro autor, pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa do terceiro autor.

#### Referências

- ANDERSON, T.R.; FLETCHER, C.H.; BARBEE, M.M.; ROMINE, B.M.; LEMMO, S.; DELEVAUX, J.M.S. Modeling multiple sea level rise stresses reveals up to twice the land at risk compared to strictly passive flooding methods. *Scientific Reports*, v. 8, p. 14484. 2018.
- AGUIAR, L. S. et al. Geotecnologias de Baixo Custo Aplicadas à Avaliação de Risco por Inundação em Áreas Urbanas Costeiras em Cenários de Mudanças Climáticas. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 267-290, 25 mar. 2019.
- FROTA, F. F.; TRUCCOLO, E.C.; SCHETTINI, C.A.F. Tidal and sub-tidal sea level variability at the northern shelf of the Brazilian Northeast Region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(3): 1371–1386. 2016.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Marinha do Brasil. DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA: f-41. F-41 – Padrão – Areia Branca - Continente – 30112 – Versão 2/2010. 2010.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2022: informações de população e domicílios por setores censitários auxiliam gestão pública*: agencia ibge notícias. Agencia IBGE Notícias. 2022.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)*. 2023.



---

IPCC, 2021. *Intergovernmental Panel On Climate Change (Ippc)*. Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184.