

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR - ESTUDO APLICADO EM TRECHO DA COSTA DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ

Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida¹

Luciana Lima Araujo²

Heliofabio Barros Gomes³

Fabricio Daniel dos Santos Silva⁴

Igor da Mata Oliveira⁵

Jório Bezerra Cabral Júnior⁶

Sandy Carolyne Carneiro⁷

Gabriel Carneiro⁸

INTRODUÇÃO

Segundo DIAS *et al.* (2000, p.178), o Nível do Mar (NM) esteve abaixo do seu nível atual, em aproximadamente 130 m a 140 m, durante o Último Máximo Glacial (UMG), estando as plataformas continentais expostas neste período. Há aproximadamente 18 mil anos (final do UMG), as regiões litorâneas da Terra foram marcadas por uma tendência de elevação do nível do mar. Dias e Taborda (1988, p. 83) e DIAS *et al.* (2000, p. 178) salientam que a taxa de elevação do mar não foi linear, apresentando momentos de inversão do sentido, após o período do UMG; ou seja, rebaixamento do NM, caracterizando assim, momentos marcados por regressões marinhas.

Para a Região Leste do Brasil, foram identificados três níveis do mar acima do atual, denominados por BITTENCOURT *et al.* (1979, p. 4), como Transgressão Antiga (maior que 120.000 anos antes do presente (A.P.), Penúltima Transgressão (120.000 anos A.P.) e Última Transgressão (5.000 anos A.P.).

As determinações de antigas posições do nível relativo do mar para o Estado de Alagoas demonstram que a região foi marcada por três máximos acima do nível atual do mar, em torno

¹ Professor Doutor, CECA, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, henrique.ravi@ceca.ufal.br;

² Professora Doutora, CECA, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, lucianalimaaraujo@hotmail.com;

³ Professor Doutor, ICAT, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, heliofabio@icat.ufal.br;

⁴ Professor Doutor, ICAT, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, fabricio.santos@icat.ufal.br;

⁵ Professor Doutor, Engenharia de Pesca, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, igor.oliveira@penedo.ufal.br;

⁶ Professor Doutor, IGDEMA, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, jorio.cabral@igdema.ufal.br;

⁷ Graduanda do Curso de Engenharia de Agrimensura – UFAL, sandy.santos@ceca.ufal.br;

⁸ Graduando do Curso de Engenharia de Agrimensura – UFAL, gabriel.amorim@ceca.ufal.br.

de 5.100 anos Antes do Presente (A.P.) (4,7 m); 3.600 anos A.P. (3,0 m) e 2.500 anos A.P. (2,5 m); e dois mínimos, há cerca de 3.900 A.P. e 2.700 anos A.P., ligeiramente abaixo do nível atual (SUGUIO *et al.*, 1985, p. 276).

As alterações da taxa de variação do NM, principalmente as relacionadas a eventos transgressivos, em conjunto com a tectônica e os parâmetros climáticos que condicionam a taxa de sedimentação efetiva, terão sido os principais fatores responsáveis pela variação de posição da linha de costa e pela evolução da zona costeira nos últimos milênios (BRITO, 2009, p. 299).

Segundo o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023, p. 35), o NM está subindo de maneira acelerada, sendo diretamente influenciado pela expansão térmica dos oceanos, pelo derretimento das geleiras (e dos mantos de gelo) e pelas mudanças no armazenamento da água no subsolo, estando a ação destes, fortemente interligadas à elevação da emissão dos gases causadores do efeito estufa.

Ainda, segundo o AR6 do IPCC (2023, p. 34), em sua projeção mais pessimista (*Representative Concentration Pathways - RCP 8.5*) quanto à emissão dos Gases do Efeito Estufa (GEE) até o ano de 2100 o aumento do nível médio do mar até o final do século poderá alcançar entre 0,61 e 1,10 m.

A falta de informações históricas sobre o nível do mar constitui no momento a grande vulnerabilidade do Brasil a mudanças do nível do mar, posto que sequer se pode garantir se a variabilidade observada é um fenômeno local, regional ou global; e se resultam de fenômenos meteorológicos extremos, expansão térmica dos oceanos e/ou movimentos tectônicos (NEVES & MUEHE, 2008, p. 232).

O incremento dos impactos da elevação do nível marinho já vem sendo sentidos desde a última década, seja através de inundações de regiões costeiras, decorrentes da ação das marés de tempestades (meteorológicas), em conjunto com as marés de sizígia (astronômicas); seja pela intensificação de eventos extremos, aliados à ação erosiva das ondas e das correntes costeiras (IPCC, 2023, p. 95).

Com base no exposto, visto às perspectivas de intensificação dos impactos das mudanças climáticas sobre a zona costeira, este estudo objetivou inferir a posição temporal do Nível Médio do Mar (NMM) na região das praias de Pajuçara e Jaraguá entre os anos de 2006 e 2019, e assim determinar a taxa de variação anual e a respectiva projeção do NMM até o ano de 2100.

A metodologia empregada consistiu inicialmente no levantamentos de dados maregráficos temporais relativos ao estado de Alagoas. Para tanto, foram consultadas as plataformas digitais (*sites*) das principais entidades governamentais ligadas à cartografia e navegação nacional, tais como: a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) através do Centro Hidrográfico da Marinha (CHM); o Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH); o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); e ainda o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). Localmente, foram consultadas a sede local da Capitania dos Portos da Marinha do Brasil e a Administração do Porto de Maceió vinculado à Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN).

A área de estudo (Figura 1) está localizada em Maceió, capital do estado de Alagoas, e compreende a região inserida entre os bairros de Pajuçara e Jaraguá, onde está edificado o Porto Marítimo de Maceió.

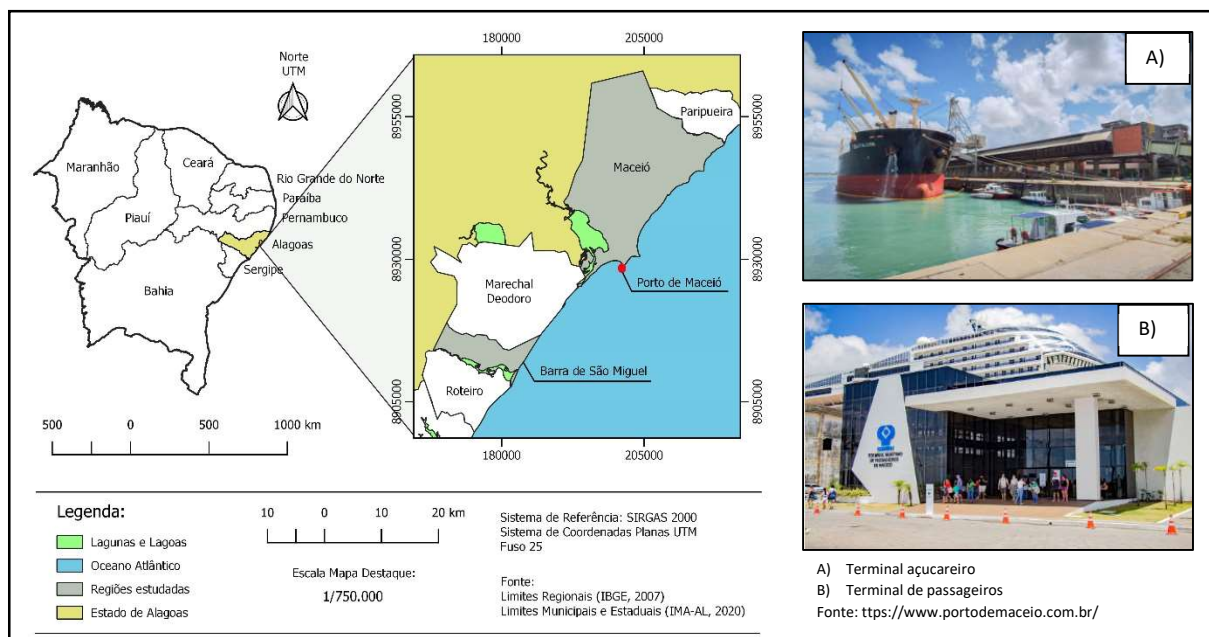


Figura 1: Localização do Porto de Maceió no estado de Alagoas.


Concluída a etapa de levantamento de dados maregráficos, foram obtidos registros brutos de marés junto à Administração do Porto de Maceió e ao Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. No primeiro caso, foram disponibilizadas 11 planilhas eletrônicas em formato nativo do Microsoft Excel® (.xls), com informações atinentes à data, à hora e à maré observada (com intervalos amostrais de 1 minuto) para o período de observação entre os anos de 2018 a 2019. No segundo caso, dados em formato de planilha

eletrônica (.xls) para o período de observação entre os anos de 2006 a 2007, com com informações atinentes à data, à hora e à maré observada (com intervalos amostrais de 1 hora).

Antecedendo à etapa de processamento dos dados, foi necessário concatenar as informações maregráficas relativas aos anos, meses e dias observados, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Observações maregráficas disponibilizadas para o Porto de Maceió.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2006	262 dias											
2007	132 dias											
2018							183 dias					
2019	136 dias											


 Observações Maregráficas - DHN
 Observações Maregráficas - Administração do Porto de Maceió

Fonte: Os autores (2020).

A ausência de observações de marés nos meses de junho e setembro dos anos de 2018/2019 e 2006/2007, respectivamente, representa a existência de inconsistências quanto ao registro das observações maregráficas, sendo as mesmas descartadas, visto indicarem a ocorrência de falhas de funcionamento do marégrafo e/ou ausência de leituras no mês monitorado.

Os meses ausentes poderiam ser determinados através da obtenção das componentes harmônicas de maré do período anterior às falhas. No entanto, o objetivo desta pesquisa foi de avaliar apenas as marés observadas e não previstas.

Na sequência, haja vista que as estações maregráficas implantadas no Porto de Maceió nos anos de 2006 e 2018 não utilizaram a mesma régua maregráfica, nem mesmo ocuparam a mesma estação maregráfica, foram realizados os procedimentos de Reocupação de Estação Maregráfica, segundo exigido pela DHN (2017, p. J-6) através da Norma da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos (NORMAN-501), afim de estabelecer a diferença de altura entre as duas régua maregráficas e sua relação com as referências de nível oficiais, ora implantadas ao longo da região do porto. Esse processado permite vincular as observações maregráficas oriundos de diferentes estações maregráficas à um mesmo datum altimétrico.

A próxima etapa consistiu em organizar as observações de marés dos anos monitorados em planilhas tabuladas e salvas na extensão “.txt”, de maneira a compatibilizar as informações maregráficas ao formato exigido pelo *software* de processamento de observações maregráficas PACMARE (FRANCO, 2009, p. 279), como exemplificado na Figura 2, para a então análise

estatística computacional das observações maregráficas e consequente determinação do nível médio do mar.

```

1 PortoMaceioRV
09.0 S
35 43.0 W
3 0 3 8 2018 1 8788 1
109 88 73 68 74 89 110 133 153 163 161 147 127 104 86 75 73 81 97 118 139 154 160 155
140 119 97 79 69 68 78 97 121 143 159 163 155 137 116 94 78 71 74 88 109 134 155 167
166 153 131 104 79 61 55 62 82 110 140 162 172 168 150 125 97 74 61 61 76 103 134 163
181 183 168 141 106 72 47 37 45 70 106 144 173 187 182 160 128 92 62 46 47 67 101 142
178 199 201 181 145 101 59 29 18 31 64 109 155 189 203 194 165 123 80 46 29 35 63 107
156 197 218 215 187 142 89 41 10 4 24 66 120 171 205 215 199 161 111 64 29 16 29 67
119 173 215 232 221 184 131 73 25 -2 -1 27 77 136 187 218 220 194 149 95 46 16 10 33
  
```

Figura 2 – Exemplo de planilha formatada para processamento das observações maregráficas no *software* PACMARE. Fonte: Os autores (2020).

O processamento das planilhas foi realizado no aplicativo NIMED (Nível Médio do Mar), o qual compõe o *software* PACMARE, sendo obtido o NMM mensal e suas médias, os valores anuais e a regressão dos valores anuais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento das observações maregráficas, foram determinados os níveis médios mensais, anuais e suas médias para os anos de 2006/2007 e 2018/2019, os quais, introduzidos em planilha eletrônica, foi então construído o gráfico representativo dos níveis médios temporais, conforme apresentado na Figura 3.

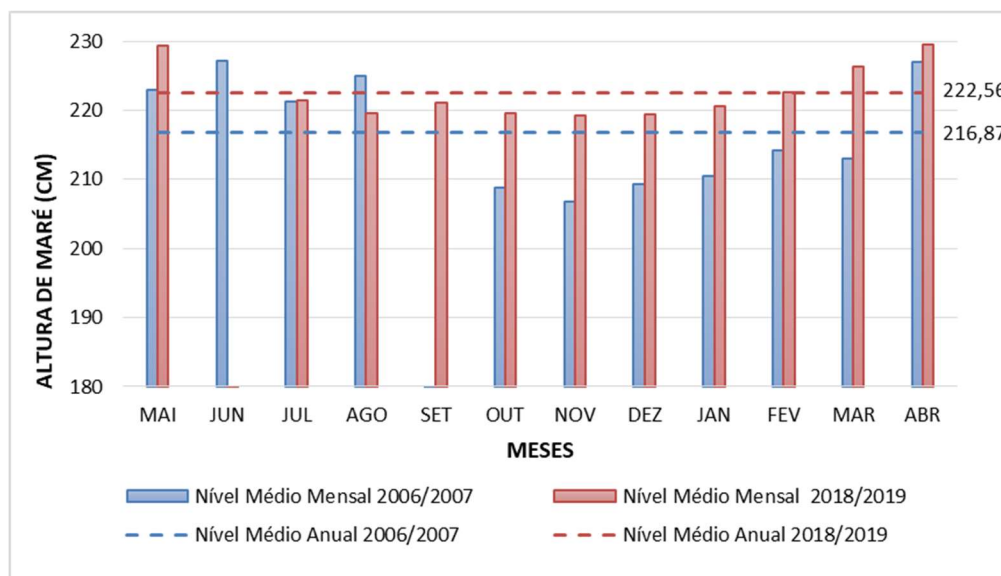


Figura 3 – Representação temporal dos níveis médios mensais e anuais.

Os resultados indicaram que o nível médio do mar, em um intervalo 13 anos, apresentou uma elevação com amplitude média de 5,69 cm e uma taxa de crescimento de 0,438 cm/ano.

Ao relacionar a taxa de crescimento anual de 0,438 cm/ano ao período de 81 anos (2019 a 2100), o nível médio do mar na região do porto de Maceió poderá alcançar 35,5 cm acima da posição atual. Esta elevação está enquadrada às perspectivas otimistas (RCP 2.6), caso o cenário de baixa emissão dos GEE previstas pelo IPCC (2023, p. 35) venha a se confirmar até o ano de 2100.

Apesar das alterações do nível do mar não serem constantes em todas as regiões da Terra, visto a influência de fatores eustáticos, meteorológicos, oceanográficos, geológicos e geográficos, foi possível inferir que os resultados das taxas de crescimento para a região do Porto de Maceió estão coerentes aos encontrados por FRANCO (2009, p. 282) para séries de alturas de marés de 77 anos (1921 a 1998) para a cidade de Charleston, localizada na Carolina do Sul (EUA) e de 38 anos (1955 a 1993) para o município de Cananéia, estado de São Paulo, onde foram determinadas taxas de crescimento de 0,319 cm/ano e 0,375 cm/ano, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante observar que este estudo foi o primeiro atinente a determinação temporal do nível médio do mar no estado de Alagoas, e que os resultados devem ser tratados como uma previsão, devendo as observações maregráficas serem ampliadas através da implantação de uma estação maregráfica permanente no Porto de Maceió, ou em outra região protegida da ação direta das ondas, haja vista a necessidade de se conhecer a dinâmica do nível do mar local ao longo do tempo, e assim, proporcionar que a universidade, serviços de defesa civil, órgãos governamentais e entidades ligadas ao gerenciamento da zona costeira, possam ter acesso a observações maregráficas a longo prazo (ideal 18 anos) e sem interrupções, e corrigidas de efeitos intempestivos, para assim prever as consequências futuras das mudanças climáticas sobre o litoral de Alagoas, visto que elevação do nível médio do mar poderá acarretar danos a estruturas físicas e humanas ao longo do tempo.

Quanto aos efeitos erosivos, frente a elevação do nível do mar prevista para o porto de Maceió, é possível afirmar que os mesmos já são sentidos ao longo do litoral de Alagoas. Desde 2018 é possível identificar regiões do Estado onde a ação das ondas, principalmente durante as marés de sizígia, são cada vez mais destrutivas. Em Maceió, pode-se

destacar pelo menos três praias que estão sob ação de intenso processo erosivo relacionado à elevação do NM, dentre elas estão à praia de Ponta Verde, Jatiúca e Pontal da Barra.

O efeito da elevação do NM na morfodinâmica praias não foi avaliada no presente trabalho, mas deverá ser investigada em pesquisas futuras com a inclusão de metodologias remotas ou de observações *in-loco* para inferir a dinâmica entre os estados morfodinâmicos da praia. Como também aplicar as taxas de elevação do NM, determinadas neste trabalho, para inferir o recuo da linha da linha de costa com base nas diferentes projeções estabelecidas no AR6 do IPCC até no ano de 2100.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa de Iniciação Científica – PIBIC/UFAL. Ao Grupo de Estudos Integrados ao Gerenciamento Costeiro - GEIGERCO da UFAL, pela colaboração técnica e científica.

REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, A. C. S. P.; VILASBOAS, G. S.; FLEXOR, L. M.; MARTIN, L. Geologia dos depósitos quaternários no litoral do Estado da Bahia. **Textos Básicos**, Salvador, v. 1, p. 0221, 1979.

BRITO, P. J de O. **Impactos da elevação do nível médio do mar em ambientes costeiros: O caso do estuário do Sado**. 2009. 344 f. Tese, Doutorado em Geologia, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

DHN. **Normas da autoridade marítima para levantamentos hidrográficos: NORMAM-501**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em:
<https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/normam-501.pdf>.
Acesso em: 12 ago. 2024.

DIAS, J. M. A.; BOSKI, T.; RODRIGUES, A.; MAGALHÃES, F. Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present a synthesis. **Marine Geology**, v. 170, n. 12, p. 177186, 2000.

DIAS, A.; TABORDA, R. Evolução recente do nível do mar em Portugal. **Anais do Instituto Hidrográfico**, v. 9, p. 8387, 1988.

FRANCO, A. S. Marés: Fundamentos, Análise e Previsão. **DHN**, 2º edição. 344pg. Niterói, 2009.

IPCC: **Summary for Policymakers**. In: 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, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

NEVES, C. F., MUEHE, D. Vulnerabilidade, impactos e adaptação às mudanças do clima: a zona costeira. In: **Parcerias Estratégicas: Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação**. Brasília, DF, n. 27: 217 - 296, 2008.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, JM. ; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 273286, 1985.