



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

**THOMAS VINICIUS BARROS PACHECO**

**RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO E A ESCOLHA DE  
ÁREAS DE DESOVA DE TARTARUGAS MARINHAS NAS PRAIAS DE CARIMÃ,  
CURUPU E PANAQUATIRA – MA**

São Luís, MA. / 2026

THOMAS VINICIUS BARROS PACHECO

**RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO E A ESCOLHA DE  
ÁREAS DE DESOVA DE TARTARUGAS MARINHAS NAS PRAIAS DE CARIMÃ,  
CURUPU E PANAQUATIRA – MA**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Oceanografia da  
Universidade Federal do Maranhão,  
como requisito para obtenção do Grau  
de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof. Dra. Larissa  
Nascimento Barreto

São Luís, MA. / 2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Pacheco, Thomas Vinicius Barros.

RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO E A ESCOLHA DE ÁREAS DE DESOVA DE TARTARUGAS MARINHAS NAS PRAIAS DE CARIMÃ, CURUPU E PANAQUATIRA MA / Thomas Vinicius Barros Pacheco. - 2026.

37 f.

Orientador(a): Larissa Nascimento Barreto.

Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2026.

1. Granulometria. 2. Nidificação. 3. Tartarugas Marinhas. 4. Curtose. I. Barreto, Larissa Nascimento. II. Título.

THOMAS VINICIUS BARROS PACHECO

**RELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO E A ESCOLHA DE  
ÁREAS DE DESOVA DE TARTARUGAS MARINHAS NAS PRAIAS DE CARIMÃ,  
CURUPU E PANAQUATIRA – MA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação  
em Oceanografia da Universidade Federal do  
Maranhão, como requisito para obtenção do  
Grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Prof. Dra. Larissa Nascimento  
Barreto.

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Larissa Nascimento Barreto  
(Orientadora)

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Jorge Luiz Silva Nunes

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Maria do Socorro Saraiva  
Pinheiro

Universidade Federal do Maranhão

São Luís, MA. / 2026

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Almir Braga Mendes

Pacheco Filho e Raimunda Martinha Barros Pacheco, por sempre acreditarem em mim e apoiarem minhas escolhas, incentivando-me a seguir o que amo fazer.

À minha namorada, Ana Luiza David Silva, por acreditar em mim desde o início e por me cobrar todos os dias a dar o meu melhor.

Aos meus amigos, que contribuíram com coletas, direcionamentos acadêmicos e apoio constante ao longo da jornada.

Meu sincero agradecimento a todos vocês.

## **Agradecimentos**

Agradeço, antes de tudo, às circunstâncias, aos encontros e às experiências que moldaram meu equilíbrio, minha perseverança e minha paciência ao longo desta jornada que, apesar dos desafios, revelou-se profundamente transformadora.

Reconheço, com imensa gratidão, o papel fundamental da minha família, especialmente dos meus pais, Almir Braga Mendes Pacheco Filho e Raimunda Martinha Barros Pacheco, que sempre me incentivaram a seguir o que amo fazer. Foram eles que me ensinaram, por meio de apoio, exemplo e constância, que os sonhos se constroem dia após dia, com dedicação e coragem. Tudo o que conquistei até aqui carrega um pouco de cada ensinamento que recebi deles.

Estendo meus agradecimentos aos amigos que estiveram presentes durante toda a minha trajetória acadêmica, oferecendo força, suporte técnico e emocional, e contribuindo de maneira direta para a elaboração deste trabalho. Agradeço especialmente a José Alves, Rian Lucas, Saulo Sauaia, Matheus Oliveira, Ana Thanielly e Kassia Albuquerque, integrantes do grupo "BL (O Povo do Bem)", que caminharam ao meu lado em tantos momentos importantes. Seja nas coletas, nas discussões acadêmicas, nas calouradas ou nos jogos de atlética, a presença de vocês tornou meu percurso mais leve, divertido e repleto de boas memórias que levarei para toda a vida.

À minha namorada, Ana Luiza David Silva, deixo um agradecimento especial. Sua presença constante, seu incentivo diário, sua confiança em mim e até suas cobranças, sempre guiadas pelo desejo de me ver crescer, foram fundamentais para que eu mantivesse o foco e a determinação mesmo nos momentos mais desafiadores. Sua parceria foi e continua sendo uma fonte de força, inspiração e equilíbrio.

Registro também minha gratidão ao Queamar e ao LEOG, grupos que estiveram presentes desde o início da minha trajetória na faculdade. Cada atividade, monitoramento, discussão e desafio compartilhado nesses espaços ampliou meu olhar, fortaleceu minhas habilidades e me ensinou sobre responsabilidade, colaboração e compromisso com a pesquisa.

Por fim, agradeço aos professores Larissa Nascimento Barreto e Leonardo Gonçalves de Lima, que me inspiraram por meio de seus ensinamentos, dedicação e pela forma com que compartilham o conhecimento.

## RESUMO

As tartarugas marinhas são espécies ameaçadas de extinção que dependem de praias arenosas para reprodução. A seleção de áreas de nidificação é influenciada por diversos fatores ambientais, dentre os quais as características físicas do sedimento podem desempenhar papel determinante no sucesso reprodutivo. Este estudo teve como objetivo testar a hipótese de que a granulometria do sedimento influencia a escolha de áreas de desova por tartarugas marinhas, mediante análise comparativa de três praias do litoral norte maranhense com diferentes frequências de nidificação: Carimã (alta frequência), Curupu (frequência intermediária) e Panaquatira (ausência de registros). A seleção dessas áreas permitiu estabelecer um gradiente natural de uso reprodutivo, possibilitando identificar padrões sedimentares associados à presença ou ausência de desovas. As coletas de sedimento foram realizadas entre novembro e dezembro de 2025, ao final da temporada reprodutiva dos quelônios marinhos na região. O delineamento amostral seguiu um desenho transversal comparativo, com quatro pontos sistematicamente distribuídos em cada praia, totalizando 12 pontos amostrais, onde foram coletadas amostras superficiais (0-15 cm) de sedimento para análise granulométrica segundo Folk e Ward (1957). Os valores da média do diâmetro, desvio padrão, assimetria e curtose foram calculados utilizando o software SYSGRAN 4.0. Para avaliar se as diferenças granulométricas entre as praias eram estatisticamente significativas, foram aplicados testes de normalidade (Shapiro-Wilk), seguidos de testes paramétricos (t de Student) ou não paramétricos (Mann-Whitney) conforme apropriado, utilizando o software PAST 4.03. Esses testes permitiram determinar quais parâmetros sedimentares diferenciam praias com e sem nidificação, fornecendo evidências objetivas sobre critérios de seleção de habitat. Os resultados demonstraram que todas as praias apresentam sedimentos classificados como areia grossa, porém com variações sutis significativas. Panaquatira exibiu diâmetro médio superior (0,44-0,59  $\phi$ ) comparada a Carimã (0,24-0,34  $\phi$ ) e Curupu (0,18-0,32  $\phi$ ), com diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ). A curtose emergiu como parâmetro mais distintivo: Curupu apresentou curtose extremamente leptocúrtica (4,13-4,73), Carimã muito leptocúrtica (1,05-2,85) e Panaquatira muito platicúrtica (0,47-0,50), com diferenças significativas ( $p = 0,0286$ ). A ausência de diferenças estatísticas entre Carimã e Curupu ( $p > 0,05$ ) indica padrão granulométrico comum favorável à nidificação. Conclui-se que tartarugas marinhas selecionam ativamente praias com distribuições granulométricas leptocúrticas (concentradas), estabelecendo critérios específicos de adequabilidade ambiental. Os resultados fornecem subsídios para identificação de áreas prioritárias para conservação e manejo de habitats reprodutivos no litoral maranhense.

Palavras-chave: Tartarugas marinhas. Granulometria. Nidificação. Curtose. Maranhão.

## ABSTRACT

Sea turtles are endangered species that depend on sandy beaches for reproduction. Nesting site selection is influenced by various environmental factors, among which the physical characteristics of sediment may play a determining role in reproductive success. This study aimed to test the hypothesis that sediment granulometry influences nesting area selection by sea turtles through comparative analysis of three beaches in northern Maranhão with different nesting frequencies: Carimã (high frequency), Curupu (intermediate frequency), and Panaquatira (no records). The selection of these areas allowed establishing a natural gradient of reproductive use, enabling identification of sedimentary patterns associated with the presence or absence of nesting. Sediment sampling was conducted between November and December 2025, at the end of the marine chelonian reproductive season in the region. The sampling design followed a comparative cross-sectional approach, with four points systematically distributed on each beach, totaling 12 sampling points, where surface sediment samples (0-15 cm) were collected for granulometric analysis according to Folk and Ward (1957). Mean diameter, standard deviation, skewness, and kurtosis values were calculated using SYSGRAN 4.0 software. To assess whether granulometric differences between beaches were statistically significant, normality tests (Shapiro-Wilk) were applied, followed by parametric (Student's t-test) or non-parametric tests (Mann-Whitney) as appropriate, using PAST 4.03 software. These tests allowed determining which sedimentary parameters differentiate beaches with and without nesting, providing objective evidence on habitat selection criteria. Results showed that all beaches present sediments classified as coarse sand, but with subtle significant variations. Panaquatira exhibited higher mean diameter (0.44-0.59  $\phi$ ) compared to Carimã (0.24-0.34  $\phi$ ) and Curupu (0.18-0.32  $\phi$ ), with highly significant differences ( $p < 0.01$ ). Kurtosis emerged as the most distinctive parameter: Curupu showed extremely leptokurtic kurtosis (4.13-4.73), Carimã very leptokurtic (1.05-2.85), and Panaquatira very platykurtic (0.47-0.50), with significant differences ( $p = 0.0286$ ). The absence of statistical differences between Carimã and Curupu ( $p > 0.05$ ) indicates a common granulometric pattern favorable for nesting. It is concluded that sea turtles actively select beaches with leptokurtic (concentrated) granulometric distributions, establishing specific environmental suitability criteria. Results provide support for identifying priority areas for conservation and management of reproductive habitats on the Maranhão coast.

Keywords: Sea turtles. Granulometry. Nesting. Kurtosis. Maranhão.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da área de estudo, indicando as três praias investigadas no litoral norte do Maranhão .....	12
<b>Figura 2.</b> Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Carimã, Ilha de Santana, Humberto de Campos, Maranhão .....	13
<b>Figura 3.</b> Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Curupu, município de Raposa, Maranhão .....	14
<b>Figura 4.</b> Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Panaquatira, município de São José de Ribamar, Maranhão .....	15
<b>Figura 5.</b> Box plot do diâmetro médio do sedimento nas praias de Carimã, Panaquatira (área controle) e Curupu .....	24
<b>Figura 6.</b> Box plot da curtose dos sedimentos nas praias de Carimã, Panaquatira (área controle) e Curupu .....	25

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Área de Estudo.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Amostragem .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. Delineamento do Estudo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4. Análises Granulométricas Laboratoriais .....</b>	<b>18</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Caracterização Granulométrica Geral .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Caracterização Granulométrica por Praia .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3. Relação entre Granulometria e Presença de Ninhos .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4. Análises dos Dados .....</b>	<b>23</b>
<b>5. DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Padrões de Similaridade entre Carimã e Curupu .....</b>	<b>30</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>34</b>

## 1. Introdução

Entre os fatores ambientais que influenciam a escolha dos locais de desova por tartarugas marinhas, destacam-se as características físicas do sedimento, como a granulometria, o grau de compactação, a umidade e a temperatura, que podem interferir diretamente no sucesso da incubação e na seleção dos locais de nidificação. A compreensão dessas variáveis é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação voltadas à proteção desses quelônios e de seus habitats reprodutivos.

As propriedades dos sedimentos, como o tamanho dos grãos, o grau de seleção, a composição mineralógica, o albedo, a salinidade e o pH, são apontadas como elementos que influenciam a escolha das áreas de desova e que afetam a duração da incubação das tartarugas marinhas (GARMESTANI et al., 2000; HAYS et al., 2001).

A granulometria foi escolhida como variável principal deste estudo porque permite caracterizar a textura e permeabilidade do sedimento, fatores determinantes para as trocas gasosas durante a incubação dos ovos; influencia diretamente a capacidade de escavação dos ninhos pelas fêmeas; está relacionada à dinâmica de erosão e deposição costeira, que define a estabilidade das áreas de desova; e fornece indicadores das condições oceanográficas locais, como energia de ondas e correntes, que determinam o transporte e deposição de sedimentos. Estudos anteriores demonstram que *C. mydas* que desova em sedimentos mais grossos apresenta menor sucesso de eclosão (MORTIMER, 1990), evidenciando a importância dessa variável na seleção de áreas reprodutivas.

No mundo existem sete espécies de tartarugas marinhas, todas ameaçadas de extinção e protegidas por legislações nacionais e internacionais. Cinco dessas espécies ocorrem e desovam no litoral brasileiro (MARCOVALDI; MARCOVALDI, 1999), sendo registradas nas praias de Carimã, localizada na Ilha de Santana, e na praia de Curupu (município de Raposa) no Maranhão. São elas: tartaruga-verde (*Chelonia mydas*), tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*), tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), tartaruga-de-couro (*Dermochelys coriacea*) e tartaruga-oliva (*Lepidochelys olivacea*).

Estes animais cosmopolitas cumprem todo o seu ciclo de vida no mar, com exceção de sua reprodução, geralmente durante o período de primavera/verão, quando as praias tropicais e subtropicais nos cinco continentes são transformadas em berçários naturais para as espécies de

tartarugas marinhas hoje existentes (FERREIRA JÚNIOR, 2009; BELLINI, 1998). O acasalamento ocorre no mar, em águas profundas ou costeiras. A fecundação é interna e cada fêmea pode realizar de três a cinco desovas em uma mesma temporada reprodutiva, com intervalo médio de 10 a 15 dias. Durante o período de desova, que no Brasil ocorre entre setembro e março, as fêmeas procuram as praias desertas, no anoitecer, para escavarem sua cama, aonde vão se alojar para iniciar a confecção do ninho, um buraco com cerca de meio metro de profundidade. Após a postura de aproximadamente 120 ovos, a mãe fecha o ninho e volta para o mar, e 40 a 60 dias depois os ovos se rompem, e os filhotes seguem em direção ao mar orientados pela luminosidade do horizonte (BAPTISTOTE, 1994).

A Praia de Carimã, localizada na Ilha de Santana, Maranhão, apresenta registros expressivos de desova e é considerada uma área prioritária para estudos sobre a relação entre o ambiente sedimentar e o comportamento reprodutivo das tartarugas marinhas. A Praia de Curupu, situada no município de Raposa, também registra atividade de desova, porém com menor frequência. Por sua vez, a Praia de Panaquatira, localizada na Baía de São José, apresenta escassa ou nenhuma ocorrência registrada de ninhos. Essas praias apresentam características oceanográficas distintas que se refletem na composição sedimentar: Carimã, exposta a maior energia de ondas e correntes, apresenta sedimentos com maior variação granulométrica; Curupu, em área de transição, possui características intermediárias; e Panaquatira, protegida na baía, apresenta deposição de sedimentos mais finos e maior influência de processos estuarinos.

Além disso, pesquisas com tartarugas marinhas realizadas pelo QUEAMAR (Projeto Quelônios Aquáticos do Maranhão) se restringem a monitoramento de encalhes e impactos sobre as populações, e influência de aspectos socioambientais (RIBEIRO et al., 2014; RIBEIRO et al., 2025), sendo este o primeiro estudo sistemático sobre características sedimentares relacionadas à nidificação na região.

Diante dessas diferenças, o presente estudo tem como objetivo analisar comparativamente as características granulométricas dos sedimentos das praias de Carimã, Curupu e Panaquatira, verificando se a variação na frequência de desovas está associada à composição e ao tamanho dos grãos. Os valores da média do diâmetro, desvio padrão, assimetria e curtose dos sedimentos foram calculados utilizando o software SYSGRAN 4.0, permitindo caracterizar detalhadamente a distribuição granulométrica de cada área de estudo e sua relação com os padrões de nidificação observados.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Analisar a influência da granulometria do sedimento na seleção de áreas de desova por tartarugas marinhas nas praias de Carimã, Curupu e Panaquatira, localizadas no litoral do estado do Maranhão.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar granulometricamente os sedimentos superficiais (0-15 cm) em áreas com presença e ausência de registros de desova;
- Comparar estatisticamente os parâmetros granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção e assimetria) entre pontos com presença confirmada de ninhos e pontos sem registros de nidificação;

## **3. Metodologia**

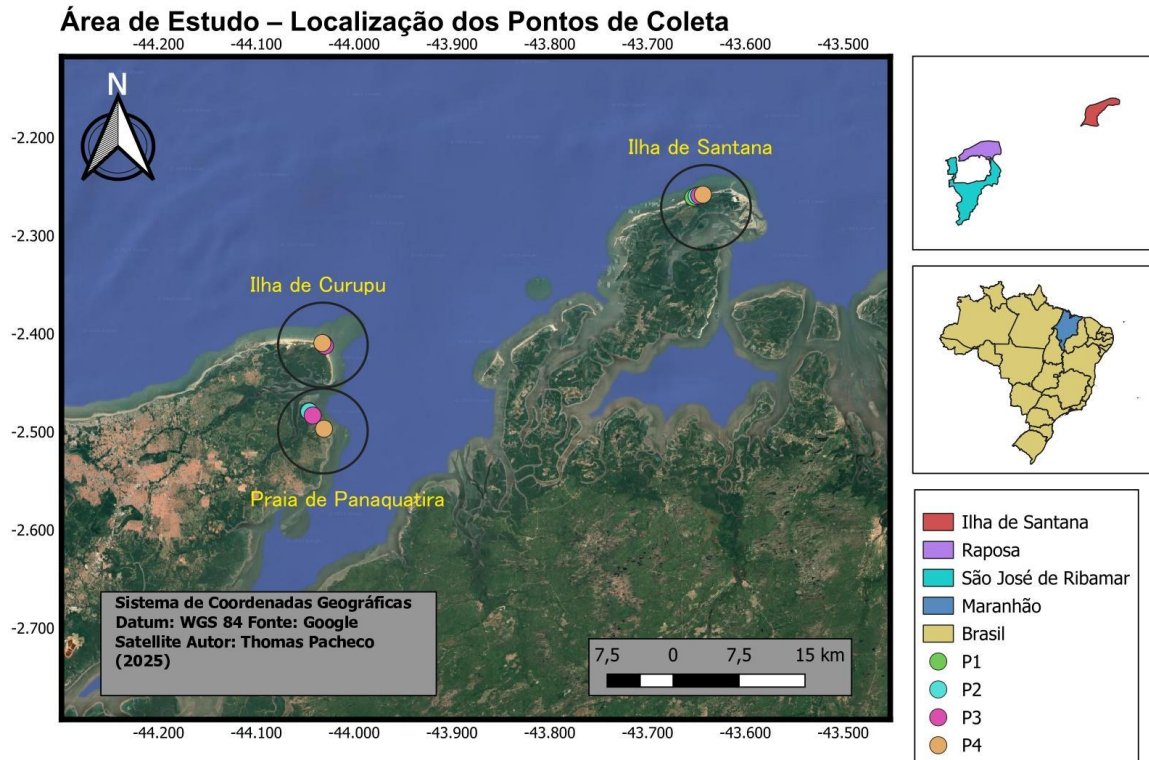
### **3.1 Área de Estudo**

O litoral maranhense estende-se por aproximadamente 640 km, desde a foz do rio Gurupi, na divisa com o Pará, até o Delta do rio Parnaíba, na fronteira com o Piauí, constituindo a segunda maior linha de costa do Brasil (FEITOSA, 1996). Morfológicamente, essa faixa litorânea subdivide-se em três segmentos distintos: Costa Ocidental, Costa Oriental e Golfão Maranhense, cada qual com características geomorfológicas, sedimentares e ecológicas particulares (AB'SABER, 1960; FEITOSA, 1996). O Golfão Maranhense, situado no extremo norte do estado, é formado pelas baías de São Marcos e São José, separadas pela Ilha do Maranhão, e configura uma região estuarina de elevada complexidade ambiental, marcada pela presença de extensos manguezais, planícies de maré, ilhas costeiras e praias arenosas de distintas características morfossedimentares (AB'SABER, 1960).

O presente estudo foi conduzido em três praias do litoral norte maranhense, inseridas na região do Golfão Maranhense, selecionadas com base em suas características ambientais contrastantes e na frequência de ocorrência de desovas de tartarugas marinhas. As áreas investigadas, Praia de Carimã (município de Humberto de Campos), Praia de Curupu (município de Raposa) e Praia de Panaquatira (município de São José de Ribamar) estão

distribuídas ao longo de aproximadamente 80 km de costa e apresentam diferentes graus de preservação ambiental, variação na composição granulométrica dos sedimentos e níveis distintos de interferência antrópica (Figura 1).

**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo, indicando as três praias investigadas no litoral norte do Maranhão



A Praia de Carimã está localizada na Ilha de Santana, município de Humberto de Campos, Maranhão ( $2^{\circ}15'29''S$ ;  $43^{\circ}38'41''W$ ), inserida na Reserva Extrativista da Baía do Tubarão, criada pelo Decreto Federal nº 9.340, de 5 de abril de 2018 (BRASIL, 2018), com área de aproximadamente 224 mil hectares. Trata-se de uma área de relevância ecológica, com extensas faixas de areia expostas durante a maré baixa, caracterizada por um ambiente relativamente preservado e baixa interferência antrópica. A praia é reconhecida por apresentar alta frequência de desovas de tartarugas marinhas, especialmente das espécies *E. imbricata* e *C. mydas*. O ambiente apresenta variação na granulometria dos sedimentos ao longo da faixa litorânea, o que pode influenciar a escolha dos locais de nidificação.

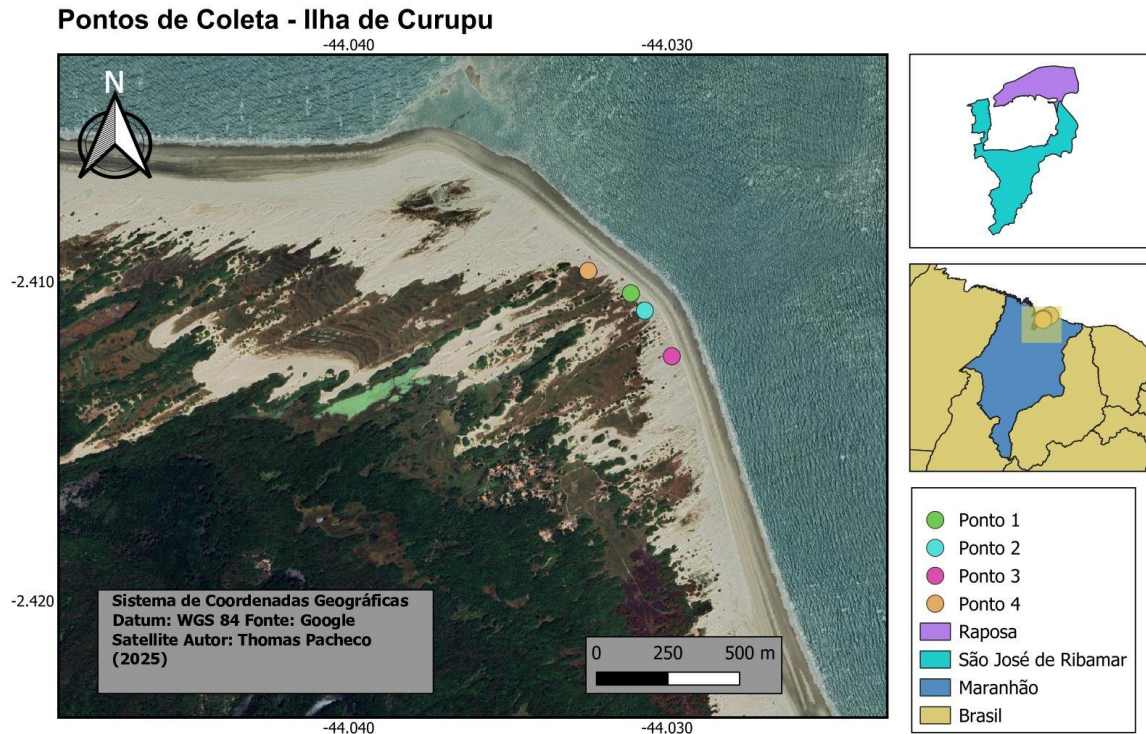
**Figura 2** - Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Carimã, Ilha de Santana, Humberto de Campos, Maranhão.

**Pontos de Coleta - Ilha de Santana**



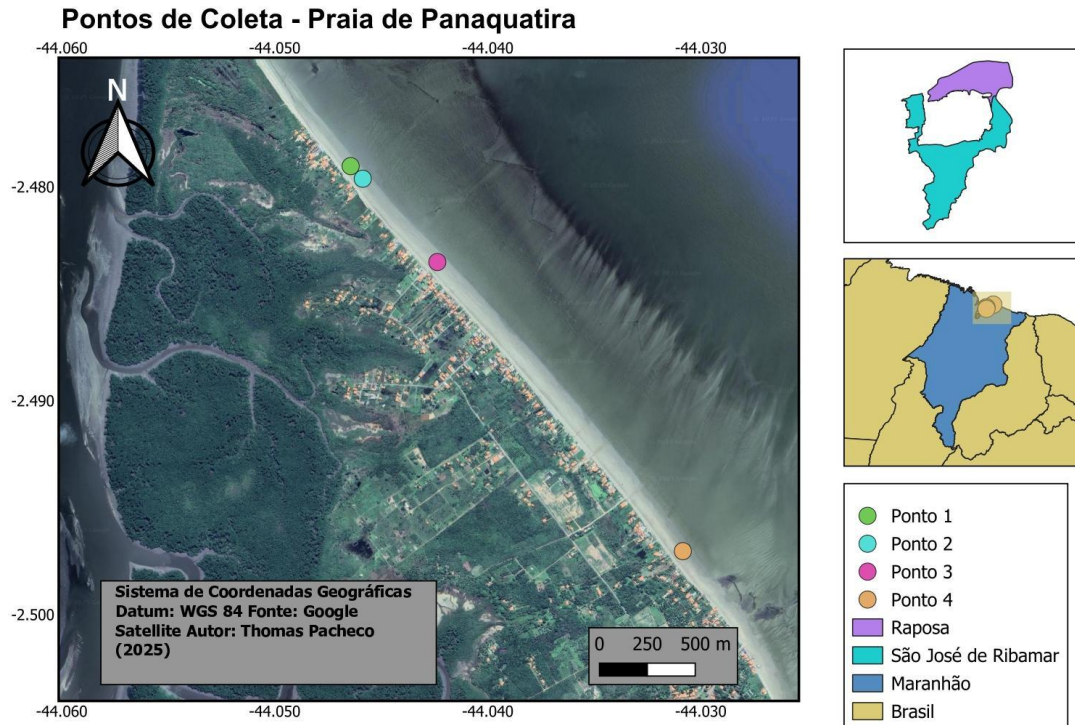
A Praia de Curupu está situada no município de Raposa, na porção norte do estado do Maranhão ( $2^{\circ}25'48''S$ ;  $44^{\circ}06'51''W$ ), inserida na Baía de São José. É uma região composta por ilhas e restingas, com extensas áreas de manguezal e praias arenosas intercaladas por setores de vegetação costeira. O sedimento predominante é composto por areia fina a média, podendo apresentar trechos com acúmulo de detritos orgânicos e fragmentos bioclásticos, o que confere heterogeneidade granulométrica à praia.

**Figura 3** - Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Curupu, município de Raposa, Maranhão.



A Praia de Panaquatira localiza-se no município de São José de Ribamar, também inserida na Baía de São José ( $2^{\circ}33'47''S$ ;  $44^{\circ}03'16''W$ ). O ambiente praiar apresenta sedimentos predominantemente arenosos de granulometria média a grossa, com áreas pontuais de compactação elevada devido ao tráfego de veículos e à urbanização costeira. Tais condições físicas e o alto grau de perturbação ambiental podem representar obstáculos à escolha desta praia como área de nidificação.

**Figura 4** - Mapa de localização dos pontos de coleta de sedimento na Praia de Panaquatira, município de São José de Ribamar, Maranhão.



As três praias apresentam condições ambientais contrastantes, em relação à dinâmica sedimentar, configurando um cenário propício para a análise comparativa da influência da granulometria do sedimento sobre a frequência de desovas de tartarugas marinhas. Essa abordagem possibilita identificar padrões ecológicos de seleção de habitat e compreender os fatores físicos que condicionam o sucesso reprodutivo desses quelônios no litoral maranhense.

### 3.2 Amostragem

A amostragem foi estruturada em quatro campanhas distintas realizadas ao longo do ano de 2025. A primeira campanha ocorreu no período de 18 a 24 de junho de 2025, exclusivamente na Praia de Carimã (Ilha de Santana), consistindo no monitoramento e reconhecimento da área de estudo. Nesta etapa inicial, procedeu-se à identificação e georreferenciamento dos ninhos existentes, mediante análise de rastros característicos deixados pelas fêmeas durante a desova, identificação de áreas com escavação recente, dados fornecidos pelo Laboratório de Pesquisa de Quelônios Aquáticos Marinhos (QUEAMAR), além de observações diretas em áreas comuns de desova e informações obtidas junto à comunidade local.

A segunda campanha foi realizada entre 3 e 8 de novembro de 2025, também na Praia de Carimã (Ilha de Santana), com o objetivo de proceder à observação sistemática e coleta de amostras de sedimentos. As terceira e quarta campanhas foram realizadas em 3 de dezembro de 2025 na Praia de Curupu (município de Raposa) e em 8 de dezembro de 2025 na Praia de Panaquatira (município de São José de Ribamar), respectivamente, concluindo a amostragem de sedimentos nas demais áreas de estudo. O período de execução das campanhas foi estabelecido de modo a abranger o final da temporada reprodutiva das espécies de quelônios marinhos registradas na região, possibilitando uma caracterização mais representativa dos sítios de nidificação efetivamente utilizados.

### **3.3 Delineamento do Estudo**

Trata-se de uma pesquisa de campo, observacional, com uma delimitação temporal do tipo transversal, e com uma abordagem quantitativa, foram estabelecidos planos amostrais específicos para cada praia, considerando suas particularidades geomorfológicas e os padrões de ocorrência de ninhos de tartarugas marinhas, foi adotado o método de amostragem para quatro pontos em cada praia escolhida.

Os pontos amostrais foram distribuídos com espaçamento mínimo de 100 metros entre si, a fim de garantir a representatividade espacial de diferentes microambientes praias e minimizar a interferência de variáveis locais, tais como sombreamento, umidade do substrato e proximidade da linha d'água.

A coleta de sedimentos foi realizada manualmente em todos os pontos amostrais das três praias, utilizando-se espátulas, luvas descartáveis e recipientes plásticos estéreis devidamente etiquetados. Em cada ponto, foram coletados aproximadamente 200 gramas de sedimento da camada superficial, abrangendo profundidade de 0 a 15 cm do substrato. Esta profundidade foi estabelecida por corresponder à profundidade média utilizada pelas fêmeas no momento da escavação dos ninhos, conforme reportado na literatura para as espécies que ocorrem na região (MORTIMER, 1990; WOOD & BJORNDAAL, 2000).

Cada amostra foi devidamente identificada com código alfanumérico contendo informações sobre a praia, número do ponto e data de coleta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos duplos para evitar perda de material fino durante o transporte e armazenadas em local seco e ventilado até o processamento laboratorial.

Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com precisão utilizando-se receptor GPS (aplicativo Wikiloc) e documentados fotograficamente. Para cada ponto amostral, foram registradas as seguintes características ambientais: presença e tipo de vegetação, umidade aparente do substrato, cor da areia, textura visual, proximidade da linha de preamar, declividade local, presença de matéria orgânica e evidências de perturbação antrópica.

### **3.4 Análises Granulométricas Laboratoriais**

No Laboratório de Oceanografia Geológica (LEOG) da Universidade Federal do Maranhão, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão e separados aproximadamente 50 gramas para a análise, posteriormente foram submetidas a tratamento prévio consistindo em lavagem com água corrente para remoção de sais solúveis, seguida de secagem em estufa a 50°C por período mínimo de 28 horas, até obtenção de peso constante.

Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão (0,01g) para determinação da massa seca total. Subsequentemente, foram peneiradas utilizando-se o método de peneiramento a seco, empregando uma coluna granulometria padronizada composta por peneiras com aberturas de malha correspondentes a 1 mm, 0,71 mm, 0,5 mm, 0,35 mm, 0,25 mm, 0,177 mm, 0,125 mm, 0,88 mm e 0,063 mm, partindo de malhas mais grossas até as mais finas, com intervalos de  $1/2\phi$  (-1; -0,5; 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4  $\phi$ ). A coluna de peneiras foi acoplada a um agitador mecânico vibratório (agitador de peneiras eletromagnético) e submetida à vibração por período de 5 minutos, um tempo padrão para análises de areia de praia.

Após o peneiramento, o material retido em cada malha foi cuidadosamente transferido e pesado individualmente em balança analítica de precisão. Os dados de massa retida em cada fração granulométrica foram expressos em porcentagem da massa total da amostra, permitindo a construção de curvas de distribuição granulométrica.

A classificação textural dos sedimentos foi realizada de acordo com a escala granulométrica de Wentworth (1922), modificada por Krumbein (1936), e segundo o sistema proposto por Folk e Ward (1957), que categoriza os sedimentos com base nos valores de diâmetro médio em phi ( $\phi$ ), segundo a equação:

$$\phi = -\log_2 (\text{diâmetro em mm})$$

Os dados brutos de massa retida em cada fração granulométrica foram organizados em planilhas do Microsoft Excel e posteriormente processados no software SYSGRAN 4.0, que utiliza a análise estatística descrita em Folk e Ward (1957) para calcular os parâmetros granulométricos.

Para cada amostra, foram determinados os seguintes parâmetros estatísticos:

**Diâmetro médio (Mz):** representa o tamanho médio dos grãos, expresso em phi ( $\phi$ );

**Desvio padrão ( $\sigma$ ):** indica o grau de seleção ou uniformidade da distribuição granulométrica;

**Assimetria (SkI):** expressa a direção do desvio da distribuição em relação à média;

**Curtose (KG):** indica o grau de achatamento da curva de distribuição.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterização Granulométrica Geral

As análises granulométricas revelaram que todas as praias estudadas apresentam sedimentos predominantemente arenosos, com 100% de fração areia em todos os pontos amostrais, sem registro de frações de cascalho, silte ou argila (Tabela 1). Embora classificados uniformemente como areia grossa segundo Folk e Ward (1957), os sedimentos apresentaram variações sutis nos valores numéricos dos parâmetros estatísticos, especialmente no diâmetro médio, grau de seleção e curtose.

**Tabela 1** - Parâmetros granulométricos dos sedimentos nas praias de Carimã, Curupu e Panaquatira, litoral norte do Maranhão - Brasil, 2025

Ponto	Diâmetro Médio ( $\phi$ )	Classificação	Desvio Padrão ( $\sigma$ )	Grau de Seleção	Assimetria (SkI)	Curtose (KG)	Classificação da Curtose
Carimã P1	0,3232	Areia grossa	-0,21	Muito bem selecionado	-0,84	2,51	Muito leptocúrtica
Carimã P2	0,3338	Areia grossa	-0,24	Muito bem selecionado	-0,77	2,85	Muito leptocúrtica
Carimã P3*	0,2371	Areia grossa	-0,13	Muito bem selecionado	-0,56	2,41	Muito leptocúrtica
Carimã P4	0,3357	Areia grossa	-0,25	Muito bem selecionado	-0,81	1,05	Mesocúrtica
Curupu P1	0,1836	Areia grossa	-0,15	Muito bem selecionado	-0,68	4,73	Extremamente leptocúrtica
Curupu P2	0,3196	Areia grossa	-0,25	Muito bem selecionado	-0,89	4,13	Extremamente leptocúrtica
Curupu P3*	0,1858	Areia grossa	-0,15	Muito bem selecionado	-0,63	4,48	Extremamente leptocúrtica
Curupu P4*	0,1837	Areia grossa	-0,15	Muito bem selecionado	-0,64	4,66	Extremamente leptocúrtica

Panaquatira P1	Areia grossa	-0,33	Muito bem selecionado	-0,77	0,47	Muito platicúrtica
	0,4412					
Panaquatira P2	Areia grossa	-0,32	Muito bem selecionado	0,19	0,50	Muito platicúrtica
	0,5914					
Panaquatira P3	Areia grossa	-0,32	Muito bem selecionado	-0,56	0,50	Muito platicúrtica
	0,4731					
Panaquatira P4	Areia grossa	-0,32	Muito bem selecionado	-0,56	0,48	Muito platicúrtica
	0,4796					

## 4.2 Caracterização Granulométrica por Praia

### 4.2.1 Praia de Carimã

A Praia de Carimã, caracterizada pela alta frequência de nidificação de tartarugas marinhas, apresentou sedimentos com diâmetro médio variando entre 0,24 e 0,34  $\phi$  (média =  $0,31 \pm 0,05 \phi$ ), classificados como areia grossa. O grau de seleção foi muito bom em todos os pontos (desvio padrão entre -0,13 e -0,25  $\phi$ ), indicando elevada homogeneidade na distribuição granulométrica. A assimetria foi consistentemente muito negativa (SkI entre -0,56 e -0,84), evidenciando predominância de grãos mais grossos que a média. A curtose variou de mesocúrtica a muito leptocúrtica (KG = 1,05 a 2,85), sendo que o ponto P3, único com registro confirmado de ninho de *C. mydas*, apresentou valores intermediários de curtose (2,41) e o menor diâmetro médio da praia (0,24  $\phi$ ).

### 4.2.2 Praia de Curupu

A Praia de Curupu, com frequência intermediária de nidificação, apresentou sedimentos com diâmetro médio entre 0,18 e 0,32  $\phi$  (média =  $0,22 \pm 0,07 \phi$ ), também classificados como areia grossa. O grau de seleção foi muito bom em todos os pontos (desvio padrão entre -0,15 e -0,25  $\phi$ ). A assimetria foi muito negativa em toda a praia (SkI entre -0,63 e -0,89). A característica mais marcante desta praia foi a curtose extremamente leptocúrtica (KG = 4,13 a 4,73), indicando distribuições granulométricas extremamente concentradas ao redor da média. Os pontos P3 e P4, ambos com ninhos confirmados, apresentaram os menores diâmetros médios (0,19 e 0,18  $\phi$ , respectivamente) e curtose extremamente leptocúrtica.

### 4.2.3 Praia de Panaquatira

A Praia de Panaquatira, utilizada como área controle por não apresentar registros de nidificação, exibiu sedimentos com diâmetro médio entre 0,44 e 0,59  $\phi$  (média =  $0,50 \pm 0,06$   $\phi$ ), valores numericamente superiores às demais praias, embora ainda classificados como areia grossa. O grau de seleção foi muito bom (desvio padrão entre -0,32 e -0,33  $\phi$ ), similar às outras praias. A assimetria foi predominantemente muito negativa (SkI entre -0,77 e -0,56), exceto no ponto P2 que apresentou assimetria positiva (0,19). A principal distinção desta praia foi a curtose muito platicúrtica (KG = 0,47 a 0,50), indicando distribuições granulométricas extremamente achatadas, com ampla dispersão de tamanhos de grãos.

### 4.3 Relação entre Granulometria e Presença de Ninhos

Dos 12 pontos amostrais investigados, apenas três apresentaram registro confirmado de ninhos: Carimã P3 (1 ninho de *C. mydas*), Curupu P3 (1 ninho) e Curupu P4 (1 ninho) (Tabela 2). A análise comparativa dos parâmetros granulométricos entre pontos com e sem ninhos revelou padrões distintos.

**Tabela 2** - Ocorrência de ninhos de tartarugas marinhas e características granulométricas dos pontos amostrais.

Praia	Ponto	Presença de Ninho	Espécie	Diâmetro Médio ( $\phi$ )	Curtose (KG)	Classificação da Curtose
Carimã	P1	Não	-	0,32	2,51	Muito leptocúrtica
Carimã	P2	Não	-	0,33	2,85	Muito leptocúrtica
Carimã	P3	Sim	<i>C. mydas</i>	0,24	2,41	Muito leptocúrtica

Carimã	P4	Não	-	0,34	1,05	Mesocúrtica
Curupu	P1	Não	-	0,18	4,73	Extremament e leptocúrtica
Curupu	P2	Não	-	0,32	4,13	Extremament e leptocúrtica
Curupu	P3	Sim	Não identificada	0,19	4,48	Extremament e leptocúrtica
Curupu	P4	Sim	Não identificada	0,18	4,66	Extremament e leptocúrtica
Panaquatira	P1	Não	-	0,44	0,47	Muito platicúrtica
Panaquatira	P2	Não	-	0,59	0,50	Muito platicúrtica
Panaquatira	P3	Não	-	0,47	0,50	Muito platicúrtica
Panaquatira	P4	Não	-	0,48	0,48	Muito platicúrtica

Os pontos com ninhos apresentaram diâmetros médios entre 0,18 e 0,24  $\phi$ , enquanto os pontos sem ninhos em Carimã e Curupu variaram de 0,18 a 0,34  $\phi$ . Em Panaquatira, todos os pontos apresentaram valores superiores (0,44 a 0,59  $\phi$ ).

#### 4.4 Análises dos Dados

##### 4.4.1 Teste de Normalidade

A normalidade da distribuição dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-

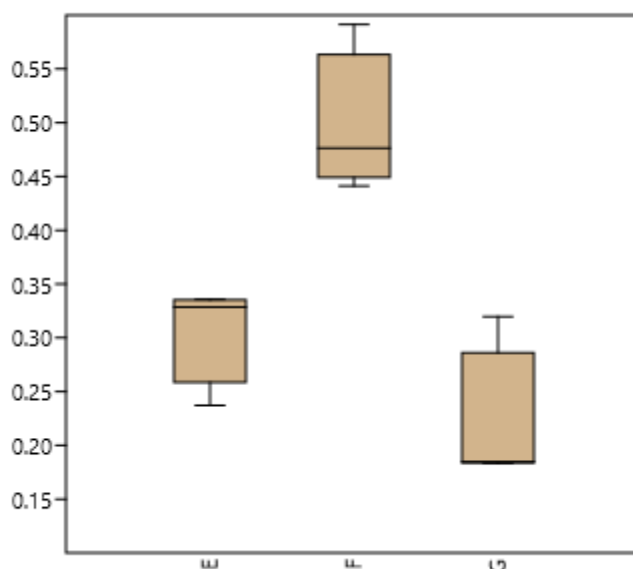
Wilk. Os resultados indicaram distribuição normal para o diâmetro médio ( $W = 0,9204$ ;  $p = 0,2891$ ) e distribuição não normal para a curtose ( $W = 0,8453$ ;  $p = 0,0321$ ). Considerando que a curtose não apresentou distribuição normal ( $p < 0,05$ ), optou-se pela aplicação do teste não paramétrico de Mann-Whitney para todas as comparações envolvendo este parâmetro, enquanto o teste t de Student foi utilizado para as comparações de diâmetro médio, garantindo maior robustez estatística às análises.

**Tabela 3** - Resultados dos testes estatísticos comparativos entre as praias estudadas.

Comparação	Parâmetro	Teste Aplicado	Valor de p	Interpretação
Curupu vs Panaquatira	Diâmetro médio	t de Student	0,0010	Diferença significativa**
Carimã vs Panaquatira	Diâmetro médio	t de Student	0,0034	Diferença significativa**
Carimã vs Curupu	Diâmetro médio	t de Student	0,0736	Diferença não significativa
Curupu vs Panaquatira	Curtose	Mann-Whitney U	0,0286	Diferença significativa*
Carimã vs Panaquatira	Curtose	Mann-Whitney U	0,0286	Diferença significativa*
Carimã vs Curupu	Curtose	Mann-Whitney U	0,0606	Diferença não significativa

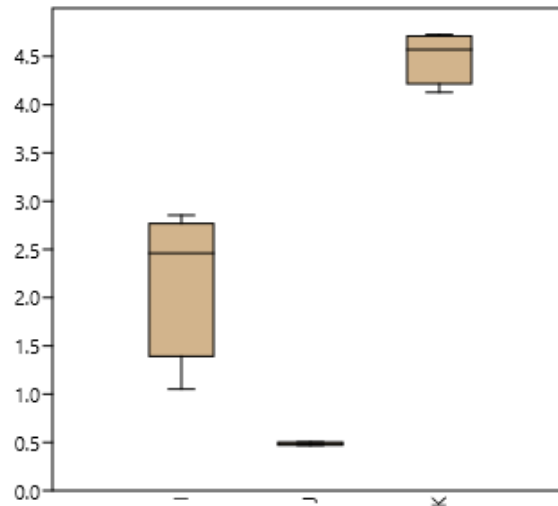
\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$

**Figura 5** – Box plot do diâmetro médio do sedimento nas praias de Carimã, Panaquatira (área controle) e Curupu, evidenciando diferenças na distribuição e na mediana dos valores entre as áreas analisadas. As colunas correspondem a: E – Carimã; F – Panaquatira; G – Curupu.



**Diâmetro médio:** Tanto Curupu ( $p = 0,0010$ ) quanto Carimã ( $p = 0,0034$ ) apresentaram valores de diâmetro médio significativamente menores que Panaquatira ( $p < 0,01$ ), demonstrando forte associação entre a presença de ninhos e sedimentos com diâmetro reduzido. As praias de nidificação apresentaram médias de  $0,22 \phi$  (Curupu) e  $0,31 \phi$  (Carimã), enquanto Panaquatira registrou média de  $0,50 \phi$ .

**Figura 6** – Box plot da curtose dos sedimentos nas praias de Carimã, Panaquatira (área controle) e Curupu. As colunas correspondem a: I – Carimã; J – Panaquatira; K – Curupu.



**Curtose:** Diferenças significativas também foram observadas na curtose ( $p = 0,0286$  para ambas as comparações), com Curupu apresentando curtose extremamente leptocúrtica (média = 4,50) e Carimã apresentando curtose muito leptocúrtica (média = 2,21), em contraste com a curtose muito platicúrtica de Panaquatira (média = 0,49). Este resultado indica que praias com nidificação apresentam distribuições granulométricas mais concentradas ao redor da média, enquanto a praia controle (Figura 6) exibe distribuição mais dispersa.

As comparações entre Carimã e Curupu não revelaram diferenças estatisticamente significativas, tanto para diâmetro médio ( $p = 0,0736$ ) quanto para curtose ( $p = 0,0606$ ). Embora os valores de  $p$  estejam próximos do limiar de significância ( $p = 0,05$ ), os resultados indicam que ambas as praias compartilham características sedimentares similares, reforçando a existência de um padrão granulométrico comum associado à adequabilidade para nidificação de tartarugas marinhas.

Esta similaridade entre Carimã e Curupu, em oposição à clara distinção de Panaquatira, corrobora a hipótese de que as fêmeas nidificantes selecionam ativamente ambientes com propriedades sedimentares específicas, independentemente de outras variáveis ambientais ou geográficas.

## 5. Discussão

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que, embora todas as praias estudadas apresentem sedimentos uniformemente classificados como areia grossa segundo Folk e Ward (1957), existem variações sutis, porém estatisticamente significativas nos parâmetros granulométricos. O diâmetro médio dos sedimentos apresentou diferenças altamente significativas entre as praias com nidificação (Carimã e Curupu) e a praia controle (Panaquatira), com  $p < 0,01$  para ambas as comparações. As praias de nidificação exibiram valores consistentemente menores (0,18-0,34  $\phi$ ) comparadas a Panaquatira (0,44-0,59  $\phi$ ), indicando preferência por sedimentos relativamente mais grossos dentro da categoria "areia grossa". Mortimer (1990).

Este achado corrobora a hipótese de que as fêmeas nidificantes exercem seletividade ambiental ativa durante a escolha de áreas reprodutivas, considerando não apenas a classificação textural convencional, mas também características mais refinadas da distribuição granulométrica. Em estudo clássico com *C. mydas*, demonstrou que esta espécie apresenta menor sucesso de eclosão em sedimentos mais grossos, atribuindo este padrão às dificuldades de trocas gasosas e potencial asfixia dos embriões. Entretanto, o autor trabalhava com gradientes granulométricos mais amplos, englobando desde areia fina até areia muito grossa e cascalho, o que difere substancialmente do presente estudo, onde todas as amostras situam-se dentro da mesma classe textural. Esta distinção metodológica sugere que, quando a variação granulométrica é sutil e concentrada dentro de uma única classe textural, outros fatores como a forma da distribuição (representada pela curtose) podem assumir maior relevância ecológica que o diâmetro médio absoluto.

Wood e Bjorndal (2000), estudando *C. caretta* na Flórida, identificaram que esta espécie seleciona praias com sedimentos de granulometria específica, associando este padrão não apenas ao tamanho médio dos grãos, mas também à compactação, umidade e salinidade do substrato. Os autores argumentam que estas propriedades físicas interagem de forma complexa, influenciando conjuntamente a temperatura de incubação, as trocas gasosas e a estabilidade mecânica do ninho. Os resultados do presente estudo reforçam esta perspectiva integrativa, uma vez que a curtose, parâmetro que emergiu como mais distintivo em nossa análise, está intimamente relacionada à forma como grãos de diferentes tamanhos se distribuem espacialmente, afetando conseqüentemente a porosidade, permeabilidade e capacidade de retenção hídrica do substrato.

A curtose destacou-se como o parâmetro granulométrico mais distintivo entre praias com e sem nidificação, apresentando três padrões claramente segregados: extremamente leptocúrtico em Curupu (4,13 - 4,73), muito leptocúrtico em Carimã (1,05 - 2,85) e muito platicúrtico em Panaquatira (0,47 - 0,50).

A curtose descreve o grau de concentração da distribuição granulométrica ao redor da média: distribuições leptocúrticas apresentam forte concentração em uma fração granulométrica específica, com proporções reduzidas de grãos muito maiores ou muito menores, enquanto distribuições platicúrticas caracterizam-se por representação mais equilibrada de diferentes frações, resultando em maior heterogeneidade. Do ponto de vista sedimentológico, sedimentos leptocúrticos apresentam empacotamento mais eficiente, com menor volume de espaços vazios irregulares e maior conectividade entre poros (Zanoni, 2020). Esta arquitetura sedimentar favorece fluxos intersticiais mais homogêneos de água e gases, potencialmente críticos para o desenvolvimento embrionário.

Estudos de ecofisiologia de ninhos de tartarugas marinhas demonstram que o sucesso de eclosão está intimamente relacionado às trocas gasosas entre o interior do ninho e a atmosfera, com embriões requerendo suprimento constante de oxigênio e remoção de dióxido de carbono (Ackerman, 1997). Sedimentos com distribuição platicúrtica, como observado em Panaquatira, podem apresentar caminhos preferenciais de fluxo devido à presença de grãos muito maiores ou muito menores intercalados irregularmente, resultando em zonas de estagnação onde trocas gasosas são limitadas. Por outro lado, sedimentos leptocúrticos proporcionam rede porosa mais uniforme, facilitando difusão gasosa homogênea em todo o volume do ninho.

Adicionalmente, a compactação do substrato, embora não mensurada no presente estudo, está intimamente relacionada à curtose. Zanoni (2020), estudando praias de nidificação na Ilha do Maranhão, demonstrou que tartarugas marinhas selecionam ativamente locais com compactação intermediária: sedimentos muito compactos dificultam a escavação e aumentam o gasto energético da fêmea, enquanto sedimentos pouco compactos podem colapsar durante a construção do ninho ou permitir entrada excessiva de água durante marés altas. Sedimentos leptocúrticos, por apresentarem distribuição mais homogênea de tamanhos de grãos, tendem a exibir compactação mais uniforme e previsível, fornecendo à fêmea indicadores táteis mais consistentes durante o processo de escavação.

Os padrões identificados no presente estudo apresentam similaridades e diferenças

significativas quando comparados com pesquisas realizadas em outras regiões. Horrocks e Scott (1991), investigando *E. imbricata* em Barbados, identificaram que esta espécie seleciona preferencialmente praias com areia fina a média, atribuindo este padrão à facilidade de escavação e à maior capacidade de retenção hídrica destes sedimentos em clima tropical árido. O contraste com nossos resultados, onde praias de nidificação apresentam areia grossa, pode refletir diferenças climáticas e oceanográficas regionais: o litoral maranhense caracteriza-se por regime de macromarés e elevada pluviosidade, condições que minimizam a dessecação dos ninhos e potencialmente invertem as pressões seletivas relacionadas à retenção de umidade.

Garmestani et al. (2000), estudando *C. caretta* na Flórida, identificaram que esta espécie evita praias com sedimentos muito finos devido ao risco de compactação excessiva durante chuvas, levando à asfixia dos embriões. Os autores também reportaram preferência por praias com certa heterogeneidade granulométrica, argumentando que a presença de frações mais grossas facilita drenagem e previne encharcamento. Notavelmente, nossos resultados mostram padrão oposto quanto à heterogeneidade: as praias de nidificação no Maranhão apresentam curvose leptocúrtica (baixa heterogeneidade), enquanto Panaquatira exibe curvose platicúrtica (alta heterogeneidade). Esta divergência pode relacionar-se às diferenças no regime de marés: praias da Flórida são micromarés com risco elevado de encharcamento pluvial, enquanto praias maranhenses são macromarés onde a drenagem natural é facilitada pela grande amplitude de maré, tornando a heterogeneidade granulométrica menos crítica para prevenção de alagamento e mais relevante para estabilidade mecânica do ninho.

Marco et al. (2017) investigaram a influência da presença de argila e silte sobre o sucesso de eclosão de *C. caretta*, demonstrando que mesmo pequenas proporções destas frações finas (<5%) podem comprometer significativamente a sobrevivência embrionária. No presente estudo, nenhuma das praias apresentou frações de silte ou argila detectáveis, com 100% de fração areia em todas as amostras. Esta característica pode ser determinante para a viabilidade das três praias como habitats potenciais, embora outros fatores (representados pela curvose e pelo diâmetro médio) modulem efetivamente quais praias são selecionadas pelas fêmeas.

A Praia de Panaquatira, além de apresentar características granulométricas desfavoráveis, situa-se em área urbana com intensa atividade turística, tráfego de veículos e iluminação artificial noturna, demonstraram que tartarugas marinhas evitam praias iluminadas, uma vez que os filhotes utilizam o gradiente de luminosidade mar-terra para

orientação após a eclosão, e luzes artificiais podem causar desorientação fatal. Portanto, a ausência de ninhos em Panaquatira provavelmente reflete interação sinérgica entre características sedimentares inadequadas e pressão antrópica elevada.

A morfologia praial também desempenha papel crucial, estudando praias da Ilha do Maranhão, observou que ninhos localizados em dunas frontais escarpadas apresentaram maior sucesso de eclosão comparados àqueles em praias planas, atribuindo este padrão à proteção contra inundação por marés de sizígia e maior estabilidade térmica proporcionada pela elevação. Embora o presente estudo não tenha quantificado sistematicamente a morfologia praial, observações de campo indicam que Carimã e Curupu apresentam sistemas dunares mais desenvolvidos que Panaquatira, onde a urbanização suprimiu grande parte das dunas frontais originais. Esta diferença morfológica pode atuar sinérgicamente com as características granulométricas, amplificando a inadequabilidade de Panaquatira como habitat reprodutivo.

A compactação do substrato, relacionada à granulometria mas não diretamente mensurada neste estudo, constitui outro fator relevante, demonstraram que o tráfego de veículos em praias causa compactação significativa dos sedimentos superficiais, dificultando a escavação de ninhos e reduzindo a permeabilidade e a oxigenação do substrato. Panaquatira, por ser praia urbana com acesso veicular permitido, provavelmente apresenta compactação antrópica adicional que se soma às características granulométricas desfavoráveis. Estudos futuros devem incorporar mensurações diretas de compactação, permeabilidade e umidade para elucidar de forma mais completa os mecanismos que governam a seleção de habitat.

### **5.1 Padrões de Similaridade entre Carimã e Curupu**

Um resultado particularmente relevante foi a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre Carimã e Curupu para ambos os parâmetros granulométricos avaliados ( $p = 0,0736$  para diâmetro médio;  $p = 0,0606$  para curtose). Embora os valores de  $p$  estejam próximos do limiar de significância ( $\alpha = 0,05$ ), esta similaridade reforça a hipótese de que existe um "envelope" ou "janela" de características sedimentares que define a adequabilidade ambiental para nidificação. Praias cujos sedimentos situam-se dentro deste envelope são selecionadas, enquanto aquelas que se desviam substancialmente (como Panaquatira) são evitadas.

Apesar da similaridade granulométrica, Carimã e Curupu apresentam frequências de nidificação distintas (25% vs 50% dos pontos amostrais com ninhos, respectivamente). Esta

diferença sugere que, uma vez satisfeitos os requisitos sedimentares mínimos, outros fatores tornam-se determinantes na escolha final. Possíveis candidatos incluem: (1) acessibilidade, com Curupu apresentando menor declividade ou menor presença de obstáculos físicos; (2) regime de ondas e correntes, com Curupu potencialmente oferecendo condições mais calmas para a aproximação das fêmeas; (3) histórico de nidificação, uma vez que tartarugas marinhas apresentam filopatria natal e tendem a retornar às mesmas praias onde nasceram (Bowen et al., 1992); e (4) densidade populacional local, com áreas próximas a zonas de alimentação podendo receber maior número de fêmeas.

A maior curtose observada em Curupu (extremamente leptocúrtica) comparada a Carimã (muito leptocúrtica), embora não estatisticamente significativa ( $p = 0,0606$ ), pode indicar que Curupu representa o "ótimo" dentro do envelope de adequabilidade, explicando a maior frequência relativa de ninhos. Alternativamente, a diferença na frequência pode ser artefato do tamanho amostral limitado ou refletir variação temporal na intensidade de uso das praias ao longo de diferentes temporadas reprodutivas. Monitoramento de longo prazo é necessário para distinguir entre estas hipóteses.

A ausência de dados sobre temperatura de incubação, duração do período de desenvolvimento embrionário e sucesso de eclosão impede avaliar se as diferenças granulométricas observadas se traduzem efetivamente em diferenças no fitness reprodutivo. É possível que, embora Carimã e Curupu sejam selecionadas preferencialmente, o sucesso de eclosão seja similar ou até inferior ao que seria obtido em Panaquatira caso esta praia fosse utilizada. Monitoramento detalhado de ninhos, incluindo instalação de data loggers de temperatura e escavação pós-eclosão para quantificação de sucesso, é fundamental para validar a relevância adaptativa dos padrões de seleção observados.

O estudo foi conduzido em um único ciclo reprodutivo (2024-2025), não capturando potencial variabilidade inter-anual nos padrões de nidificação. Fatores como variações climáticas (El Niño/La Niña), flutuações populacionais, ou eventos episódicos (tempestades, derramamentos de óleo) podem modular a intensidade de uso de diferentes praias entre anos. Séries temporais de longo prazo são essenciais para distinguir padrões consistentes de variações estocásticas.

O estudo não abordou aspectos genéticos das populações nidificantes. Análises de DNA mitocondrial e marcadores nucleares podem revelar se as tartarugas que utilizam Carimã e Curupu pertencem à mesma unidade populacional ou representam linhagens distintas com diferentes preferências de habitat. A identificação de estrutura genética espacial pode informar

estratégias de conservação mais específicas, reconhecendo que diferentes populações podem exibir adaptações locais a características ambientais particulares.

Perspectivas futuras promissoras incluem: (1) modelagem de habitat utilizando técnicas de aprendizado de máquina (random forests, redes neurais) para integrar múltiplas variáveis ambientais e prever adequabilidade de praias não amostradas; (2) experimentos manipulativos em ninhos artificiais para testar causalidade entre características sedimentares e sucesso de eclosão; (3) estudos de biotelemetria para rastrear movimentos de fêmeas entre áreas de alimentação e reprodução, elucidando fatores que determinam escolha de praias em escala regional; (4) análises microbiológicas dos sedimentos, investigando se comunidades bacterianas associadas a ninhos diferem entre praias e influenciam desenvolvimento embrionário; e (5) avaliação de cenários de mudanças climáticas, modelando como alterações no nível do mar, temperatura e regime de chuvas podem afetar adequabilidade futura das praias de nidificação identificadas.

## **6. Conclusão**

O presente estudo investigou a influência da granulometria do sedimento na seleção de áreas de desova por tartarugas marinhas em três praias do litoral norte maranhense, com características ambientais contrastantes quanto à frequência de nidificação.

A análise granulométrica revelou que as praias de nidificação (Carimã e Curupu) apresentam sedimentos com diâmetro médio significativamente menor comparado à praia controle (Panaquatira), com diferenças altamente significativas ( $p < 0,01$ ). Entretanto, a curtose emergiu como o parâmetro mais distintivo entre ambientes com e sem nidificação, apresentando padrão claro de segregação: praias com ninhos exibiram curtose leptocúrtica, indicando distribuições granulométricas concentradas ao redor da média, enquanto Panaquatira apresentou curtose platicúrtica, caracterizada por distribuição dispersa de tamanhos de grãos. Esta diferença foi estatisticamente significativa ( $p = 0,0286$ ) e representa achado inédito para estudos de seleção de habitat reprodutivo de tartarugas marinhas no Brasil.

A ausência de diferenças significativas entre Carimã e Curupu para ambos os parâmetros avaliados ( $p > 0,05$ ) corrobora a hipótese de que existe um envelope de características sedimentares que define a adequabilidade ambiental para nidificação. Praias cujos sedimentos situam-se dentro deste envelope são selecionadas ativamente pelas fêmeas,

enquanto aquelas que se desviam substancialmente são evitadas. A distribuição espacial dos ninhos, concentrada exclusivamente em praias com características granulométricas específicas, não pode ser atribuída ao acaso, evidenciando que as características sedimentares atuam como filtro ambiental na escolha de áreas reprodutivas.

Os resultados confirmam que tartarugas marinhas exercem seletividade ambiental ativa durante a escolha de locais de desova, considerando não apenas a classificação textural convencional, mas também características mais refinadas da distribuição granulométrica. A preferência por sedimentos com curtose leptocúrtica provavelmente relaciona-se a propriedades físicas como estabilidade do substrato, permeabilidade, capacidade de trocas gasosas e condições térmicas dos ninhos, fatores críticos para o desenvolvimento embrionário e sucesso de eclosão.

Este estudo fornece a primeira caracterização detalhada das propriedades sedimentares de praias de nidificação no litoral maranhense, preenchendo lacuna importante na literatura regional sobre ecologia reprodutiva de tartarugas marinhas. Os dados gerados estabelecem relações quantitativas entre parâmetros granulométricos e adequabilidade ambiental, demonstrando que a curtose, parâmetro tradicionalmente negligenciado em estudos de habitat, constitui indicador eficiente de adequabilidade reprodutiva.

As implicações práticas dos resultados são significativas para conservação e manejo costeiro. A caracterização de Carimã e Curupu como áreas com características sedimentares favoráveis reforça a necessidade de implementação de medidas de proteção específicas nestas localidades, incluindo delimitação de zonas de exclusão durante períodos reprodutivos, controle de atividades antrópicas e monitoramento sistemático. Adicionalmente, a curtose pode ser utilizada como critério complementar em avaliações de impacto ambiental de obras costeiras, auxiliando na seleção de sedimentos adequados para projetos de engordamento de praias ou restauração de ambientes degradados.

Reconhece-se que o estudo apresenta limitações, incluindo tamanho amostral relativamente pequeno, ausência de mensurações diretas de compactação, permeabilidade e temperatura de incubação, e cobertura temporal limitada a um único ciclo reprodutivo. Estudos futuros devem expandir a amostragem espacial e temporal, incorporar mensurações de propriedades físicas complementares, quantificar sucesso de eclosão e sobrevivência de filhotes, e investigar interações entre granulometria e outros fatores ambientais como morfologia praial, vegetação e regime de ondas. Análises de estrutura genética populacional também podem revelar potenciais adaptações locais a características ambientais específicas.

Conclui-se que a granulometria do sedimento, especialmente a curtose, influencia significativamente a seleção de áreas de desova por tartarugas marinhas no litoral maranhense. As características sedimentares atuam como filtro ambiental, direcionando fêmeas nidificantes para praias com distribuições granulométricas específicas que provavelmente otimizam as condições de incubação. Os resultados obtidos ampliam o conhecimento científico sobre seleção de habitat reprodutivo em quelônios marinhos e fornecem subsídios técnicos objetivos para políticas de conservação e manejo integrado da zona costeira, contribuindo para proteção de espécies ameaçadas e preservação de habitats críticos no estado do Maranhão.

## **Referências**

ACKERMAN, R. A. The nest environment and the embryonic development of sea turtles. In: LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A. (ed.). *The Biology of Sea Turtles*. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 83-106.

BAPTISTOTE, C. *Biologia da reprodução da tartaruga marinha Caretta caretta (Linnaeus, 1758) na praia de Comboios, Espírito Santo*. 1994. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

BELLINI, C.; SANCHES, T. M. Temporadas reprodutivas da tartaruga marinha *Chelonia mydas* no Atol das Rocas, RN, Brasil. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 11., 1998, Recife. Anais [...]. Recife: UFPE, 1998.

BOWEN, B. W.; MEYLAN, A. B.; ROSS, J. P.; LIMPUS, C. J.; BALAZS, G. H.; AVISE, J. C. Global population structure and natural history of the green turtle (*Chelonia mydas*) in terms of matriarchal phylogeny. *Evolution*, v. 46, n. 4, p. 865-881, 1992.

FEITOSA, A. C. *Geomorfologia do litoral do Estado do Maranhão*. São Luís: EDUFMA, 1996.

FERREIRA JÚNIOR, P. D.; CASTRO, J. W. A.; ROCHA-BARREIRA, C. A.; SILVA, E. F.; BRITTO, L. P. F. N.; ROSA, M. F.; BECKER, J. H. Distribuição espaço-temporal e sucesso reprodutivo de *Eretmochelys imbricata* nas praias do Ipojuca, Pernambuco, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, Porto Alegre, v. 99, n. 1, p. 43-50, 2009.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.

GARMESTANI, A. S.; PERCIVAL, H. F.; PORTIER, K. M.; RICE, K. G. Nest-site selection by loggerhead sea turtles in Florida's Ten Thousand Islands. *Journal of Herpetology*, v. 34, n. 4, p. 504-510, 2000.

HAYS, G. C.; SPEAKMAN, J. R. Nest placement by loggerhead turtles, *Caretta caretta*. *Animal Behaviour*, v. 45, n. 1, p. 47-53, 1993.

HAYS, G. C.; ASHWORTH, J. S.; BARNESLEY, M. J.; BRODERICK, A. C.; EMERY, D. R.; GODLEY, B. J.; HENWOOD, A.; JONES, E. L. The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches. *Oikos*, v. 93, n. 1, p. 87-95, 2001.

HORROCKS, J. A.; SCOTT, N. M. Nest site location and nest success in the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* in Barbados, West Indies. *Marine Ecology Progress Series*, v. 69, p. 1-8, 1991.

KRUMBEIN, W. C. Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 6, n. 1, p. 35-47, 1936.

MARCO, A.; ABELLA-PEREZ, E.; TIWARI, M. Vulnerability of loggerhead turtle eggs to the presence of clay and silt on nesting beaches. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 486, p. 195-203, 2017.

MORTIMER, J. A. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*). *Copeia*, v. 1990, n. 3, p. 802-817, 1990.

RIBEIRO, A. B. N.; RIBEIRO, L. E. S.; AZEVEDO, R.; BARRETO, L. Conservation aspects of sea turtles in Maranhão Island, São Luís, Brazil. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 928-940, 2014.

RIBEIRO, L. E. S.; FEITOSA, Y. O.; BARRETO, L.; PEZZUTI, J. Evaluation of anthropogenic impacts on marine turtle populations in Lençóis Maranhenses National Park. *Marine Pollution Bulletin*, v. 217, artigo 118145, 2025.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of*

Geology, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WOOD, D. W.; BJORNDAL, K. A. Relation of temperature, moisture, salinity, and slope to nest site selection in loggerhead sea turtles. *Copeia*, v. 2000, n. 1, p. 119-128, 2000.

ZANONI, M. F. Geomorfologia, sedimentologia e geotecnia do sistema praia/duna em áreas de nidificações de tartarugas marinhas na Ilha do Maranhão, Brasil. 2020. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2020.