



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE OCEANOGRAFIA

DÉBORA MELO MENDONÇA

**INFLUÊNCIA DAS FASES LUNARES E DOS PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS
NO COMPORTAMENTO DE NIDIFICAÇÃO DA TARTARUGA-VERDE (*Chelonia
mydas*) NO ATOL DAS ROCAS**

FORTALEZA

2021

DÉBORA MELO MENDONÇA

INFLUÊNCIA DAS FASES LUNARES E DOS PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS NO
COMPORTAMENTO DE NIDIFICAÇÃO DA TARTARUGA-VERDE (*Chelonia mydas*)
NO ATOL DAS ROCAS

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau.

Coorientadora: Ma. Karoline Fernanda Ferreira Agostinho.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M494i Mendonça, Débora Melo.
Influência das fases lunares e dos parâmetros oceanográficos no comportamento de nidificação da tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) no Atol das Rocas / Débora Melo Mendonça. – 2021.
42 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau .
Coorientação: Profa. Ma. Karoline Fernanda Ferreira Agostinho.
1. Tartarugas Marinhas. 2. Desova. 3. Ciclo Lunar. 4. Marés. 5. Temperatura Superficial do Mar. I.
Título.

CDD 551.46

DÉBORA MELO MENDONÇA

INFLUÊNCIA DAS FASES LUNARES E DOS PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS NO
COMPORTAMENTO DE NIDIFICAÇÃO DA TARTARUGA-VERDE (*Chelonia mydas*)
NO ATOL DAS ROCAS

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Tristan Charles Clitandre Rousseau (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Karoline Fernanda Ferreira Agostinho (Coorientadora)
Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)

Profa. Dra. Caroline Vieira Feitosa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Daphne Wrobel Goldberg
R3 Animal

A todos os animais que são abatidos, torturados e separados de suas mães diariamente para alimentar as vontades humanas, em especial, às fêmeas. Que haja justiça, que haja paz, paz em todos os planos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Lua que sempre foi como uma mãe e me ensina sobre os ciclos da Natureza. A todos os astros e animais, pela possibilidade de enxergar a imensidão da vida.

Toda a minha gratidão aos meus pais, meus primeiros gurus. Agradeço à Mamá por ser uma irmã inspiradora, à tia Dora, à Val, aos meus avós e a todos os meus ancestrais.

Agradeço a força e a leveza que o Yoga me traz todos os dias. Aos meus professores, Lucas e Sasha, por me guiarem e à Ivne por me acompanhar nessa jornada.

Honro a todos os professores que eu tive o prazer de ser aluna. Agradeço em especial ao meu orientador Luiz Drude de Lacerda por ser aberto às minhas ideias, me inspirar a pensar grande e ser sempre tão solícito. Sou muito grata à professora Rozane Marins, Tristan Rousseau e toda a equipe do Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBC/Labomar-UFC). Aos professores: Ana Paula Krelling por ter sido a primeira oceanógrafa a me inspirar, Caroline Feitosa por apoiar os projetos de nós alunos desde os primeiros semestres, Lidriana Pinheiro pelas oportunidades oferecidas e Carlos Teixeira pela disponibilidade em ajudar.

Às duas mulheres que tanto me ajudaram neste trabalho. À Karoline Ferreira por ter me possibilitado vivenciar o Atol das Rocas, por me coorientar com tanto afinco e ser uma grande parceira. À Luisa Diele-Viegas por engrandecer este estudo com seu olhar estatístico e ser sempre tão atenciosa!

Agradeço ao Instituto Verdeluz, onde vivi os maiores aprendizados da minha graduação, e a todos os voluntários, em especial ao Bibi (Gabriel Chagas) pela sua postura crítica e sensível e à Alice Frota que tanto me ensina.

Sou imensamente grata a todos os meus amigos, Djalo, Andressa, Marques, Isa, Nena, Isabelle, Tainara e Bia, por nos reinventarmos e crescermos lado a lado.

Ao Cauê, companheiro dessa e quem sabe de outras vidas.

À minha turma de Oceanografia de 2017.1, juntos somos certamente mais fortes. À Ingra, Paola, Ruama e Felipe pelo companheirismo e afeto, vocês são incríveis. Camille, Vitória, Marina, Ben, Emanuel, Monique, Thays, Letícia, Caio, Hélio, Mesquita, Luisa, Laís, Dávila, obrigada pelas experiências compartilhadas que aquecem o coração! Aos amigos oceanógrafos Victor, Lucas, Lorena e Derley, como é bom ter vocês por perto!

À Zélia Brito, chefe da Rebio Atol das Rocas, foi uma honra ver de perto sua dedicação e amor por este local único. A toda a equipe que colabora com a conservação do Atol. Ao ICMBio e MMA pelo apoio às expedições e a minha ida à Rebio. À Fundação SOS Mata Atlântica e FUNBIO/Banco Mundial (projeto GEF MAR) pelo apoio ao Atol.

Ao CNPQ pelas bolsas de estudo e incentivo à ciência.

Por fim que também se faz o começo num ciclo, agradeço a Deus (Ísvara), que é a causa e a manifestação do todo, esse divino que se apresenta a todo instante na Natureza.

Vida longa às tartarugas marinhas! Vida longa às Unidades de Conservação! Vida longa ao Atol das Rocas!

A expressão reta não sonha.
Não use o traço acostumado.
A força de um artista vem das suas derrotas.
Só a alma atormentada pode trazer para a voz um formato de pássaro.
Arte não tem pensa:
O olho vê, a lembrança revê, e a imaginação transvê.
É preciso transver o mundo.

(Manoel de Barros)

RESUMO

Os animais tendem a possuir padrões de sincronização do seu comportamento reprodutivo com os ritmos biológicos e condições ambientais. Assim a escolha do momento de desova é uma etapa importante para o sucesso de sobrevivência das tartarugas marinhas, pois não apresentam cuidado parental. Dessa forma, este trabalho objetivou analisar a relação do comportamento de nidificação da espécie *Chelonia mydas* com a luminosidade lunar, as fases lunares, a maré e a temperatura superficial do mar (TSM) na Reserva Biológica do Atol das Rocas – RN. O Atol das Rocas se mostra um local distinto para o estudo comportamental das tartarugas-verdes, por possuir mínimas perturbações antropogênicas e ser a segunda maior área de reprodução desta espécie no Brasil. Os dados de campo foram obtidos nos monitoramentos noturnos das temporadas reprodutivas de 2018 a 2020 e relacionados com a porcentagem iluminada da face visível da lua, o ângulo lunar e a TSM. As temporadas totalizaram 756 registros de ocorrências de *C. mydas* na ilha do Farol no Atol das Rocas, em que o ano de 2020 apresentou aproximadamente o dobro de desovas totais quando comparado a 2018 e 2019, sendo provavelmente amostrados indivíduos diferentes a cada temporada, devido ao período de migração. Apesar da luminosidade lunar e das fases lunares não terem apresentado efeito estatístico significativo, houve maior frequência de subida das tartarugas à praia em momentos de ausência de luminosidade lunar, sugerindo que seja uma estratégia para diminuir a exposição a predadores. Observou-se biologicamente que as tartarugas-verdes apresentam uma possível preferência de desova durante a lua nova e cheia, quando ocorre a maré de sizígia, possivelmente devido a esta maré possibilitar um maior tempo de desova, uma vez que a exposição dos recifes no Atol das Rocas faz com que a subida das tartarugas à praia ocorra nas marés enchente e cheia. A TSM foi a única das três variáveis que apresentou relação estatisticamente significativa na desova, sem desova e “meia-lua”. Evidenciando-se a preferência de subida das tartarugas a praia em maiores temperaturas, em torno de 29,5 °C. A luminosidade lunar, as fases lunares e as marés possuem certa influência no padrão de desova da tartaruga-verde, mas não a limitam, pois as tartarugas sobem a praia nas diferentes condições ambientais observadas. Dessa forma, compreender a influência das variáveis ambientais no comportamento de desova da tartaruga-verde poderá melhorar o esforço de monitoramento para a sua conservação, além de possibilitar entender como essa espécie ameaçada de extinção responderá às mudanças climáticas.

Palavras-chave: Tartarugas Marinhas; Desova; Ciclo Lunar; Marés; Temperatura Superficial do Mar.

ABSTRACT

Animals tend to have patterns of synchronization of their reproductive behavior influenced by biological rhythms and environmental conditions. Thus, the choice of the oviposition moment constitutes an important stage for the survival success of sea turtles, as they do not present parental care. That being said, this work aimed to analyze the relationship of nesting behavior of *Chelonia mydas* with lunar luminosity, lunar phases, tides and sea surface temperature (SST) in the Atol das Rocas Biological Reserve – RN. Rocas Atoll is a distinct site for the behavioral study of green turtles because it has minimal anthropogenic disturbances and is the largest breeding area of this species in Brazil. Field data were obtained during night monitoring of the reproductive seasons, from 2018 to 2020, and were related to lunar luminosity, the lunar angle and the SST. The seasons totaled 756 occurrences of *C. mydas* on the Farol Island in Rocas Atoll. The year 2020 presented approximately twice the total occurrences when compared to 2018 and 2019, and different individuals were probably sampled each season due to the remigration period. Although the lunar luminosity and the lunar phases showed no statistically significant effect, there was a higher frequency of turtles climbing the beach in moments of absence of lunar luminosity, suggesting that it is a strategy to decrease exposure to predators. The green turtles showed a possible oviposition preference during new and full moon, under spring tides, since this tide allows for a longer oviposition time, since the exposure of the reefs in Rocas Atoll causes the turtles to ascend to the beach in the high tides. Sea surface temperature was the only variable that presented a statistically significant relationship in the three types of occurrences (complete oviposition, incomplete oviposition and “false crawl”), evidencing a preference of ascension to the beach by the turtles in higher temperatures, around 29.5 °C. Lunar luminosity, lunar phases and tides have some degree of influence on the green turtle's oviposition pattern, but do not limit it, as turtles climb the beach in the different environmental conditions observed. Thus, comprehending the influence of the environmental variables on the oviposition behavior of the green turtle can improve the monitoring effort for its conservation, and to understand how this endangered species will respond to climate changes.

Keywords: Sea Turtles; Nesting; Lunar Cycle; Tides; Sea Surface Temperature.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | – Registro de tartaruga-verde (<i>Chelonia mydas</i>) durante monitoramento ocorrido em fevereiro de 2020 no Atol das Rocas | 13 |
| Figura 2 | – Comportamentos de postura | 14 |
| Figura 3 | – Mapa de localização dos três principais sítios de desova da <i>C. mydas</i> no Brasil, com ênfase no Atol das Rocas | 20 |
| Figura 4 | – Zona recifal exposta durante a maré seca | 21 |
| Figura 5 | – Trabalho de campo realizado no Atol das Rocas: identificação da tartaruga (A); biometria da fêmea (B) e marcação (C) | 23 |
| Figura 6 | – Sistema Sol-Terra-Lua com foco nas fases lunares | 24 |
| Figura 7 | – Distribuição de desovas mensais de <i>Chelonia mydas</i> nas temporadas de 2018-2020 no Atol das Rocas | 26 |
| Figura 8 | – Relação entre a luminosidade lunar e a oviposição de tartarugas nas temporadas reprodutivas de 2019-2020 no Atol das Rocas | 28 |
| Figura 9 | – Efeito das fases lunares no comportamento de desova da <i>C. mydas</i> durante as temporadas reprodutivas de 2018-2020. A: desova; B: sem desova; C: meia-lua | 31 |
| Figura 10 | – Efeito da Temperatura Superficial do Mar (TSM) no comportamento de desova da <i>C. mydas</i> durante as temporadas reprodutivas de 2018-2020. A: desova; B: sem desova; C: meia-lua | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---|----|
| Tabela 1 | Resultado do tratamento estatístico (regressão linear) – luminosidade lunar | 27 |
| Tabela 2 | Resultado do tratamento estatístico (GLMM) – ângulo lunar | 29 |
| Tabela 3 | Resultado do tratamento estatístico (GLMM) – temperatura superficial do mar | 33 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Caracterização da <i>Chelonia mydas</i> | 12 |
| 1.2 | Comportamentos de postura | 13 |
| 1.3 | Ritmos biológicos e parâmetros oceanográficos | 15 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 18 |
| 3 | OBJETIVOS | 19 |
| 3.1 | Objetivo geral | 19 |
| 3.2 | Objetivos específicos | 19 |
| 4 | METODOLOGIA | 20 |
| 4.1 | Área de estudo | 20 |
| 4.2 | Amostragem | 22 |
| 4.3 | Análise dos dados | 23 |
| 4.3.1 | <i>Análise estatística</i> | 25 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 26 |
| 5.1 | Luminosidade lunar | 27 |
| 5.2 | Fases lunares | 29 |
| 5.3 | Temperatura superficial do mar | 32 |
| 6 | CONCLUSÃO | 36 |
| | REFERÊNCIAS | 38 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização da *Chelonia mydas*

As tartarugas marinhas pertencem à linhagem mais antiga de sauropsídeos vivos, tendo surgido provavelmente no Jurássico (180-150 milhões de anos atrás) (POLOCZANSKA; LIMPUS; HAYS, 2009). As sete espécies existentes no mundo fazem parte da ordem Testudines que contém duas famílias, Dermochelyidae e Cheloniidae (ICMBIO, 2011).

Cinco espécies de tartarugas marinhas estão presentes no Brasil e encontram-se sob algum nível de ameaça de acordo com a União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2019) e o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBIO, 2018a). São diversas as ameaças antropogênicas que impactam todos os estágios do ciclo de vida das tartarugas marinhas (ICMBIO, 2011; LUTCAVAGE *et al.*, 1997) e resultam no declínio observado em suas populações. As principais ameaças estão associadas à interação com a pesca, ao desenvolvimento costeiro, à poluição por resíduos sólidos, a poluentes químicos e patógenos, ao consumo direto dos ovos e indivíduos adultos e às mudanças climáticas (ICMBIO, 2011; POLOCZANSKA; LIMPUS; HAYS, 2009).

A tartaruga-verde (*Chelonia mydas*, LINNAEUS, 1758) é classificada como em perigo (EN) mundialmente (IUCN, 2019) e vulnerável (VU) no Brasil (ICMBIO, 2018a). Esta espécie possui distribuição cosmopolita, ocorrendo preferencialmente na região tropical e subtropical do planeta (HIRTH, 1997; KOT *et al.*, 2019). Por ser um animal ectotérmico é particularmente sensível à temperatura do ambiente (WEISHAMPEL *et al.*, 2010), evidenciando uma íntima relação com as condições oceanográficas de suas zonas de ocorrência.

Essa espécie caracteriza-se morfológicamente por possuir um par de escudos pré-frontais na cabeça e quatro pares de placas laterais justapostas de coloração verde-acinzentada (Figura 1) (ICMBIO, 2011). Adultos e subadultos costumam forragear em águas costeiras (POLOCZANSKA; LIMPUS; HAYS, 2009), sendo onívoros durante a fase juvenil e tendendo à herbivoria quando adultos (BJORNDAL, 1997, 1980). Apresentam a média de 160 kg, podendo atingir aproximadamente 230 kg e alcançar até 143 cm de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) (ALMEIDA, 2011b; ICMBIO, 2011).

No Brasil, as desovas das tartarugas-verdes ocorrem principalmente nas ilhas oceânicas, Ilha de Trindade (ES), Atol das Rocas (RN) e Fernando de Noronha (PE). Por

serem regiões mais isoladas, sofrem menor impacto em relação à predação dos seus ovos e ao desenvolvimento costeiro desordenado, garantindo maior proteção durante a desova do que outras espécies de tartarugas marinhas (e.g. tartaruga-de-pente *Eretmochelys imbricata*, e tartaruga-de-couro *Dermochelys coriacea*) com desova eminentemente continental (ALMEIDA, 2011a).

Figura 1 – Registro de tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) durante monitoramento ocorrido em fevereiro de 2020 no Atol das Rocas.



Fonte: arquivo pessoal (2020).

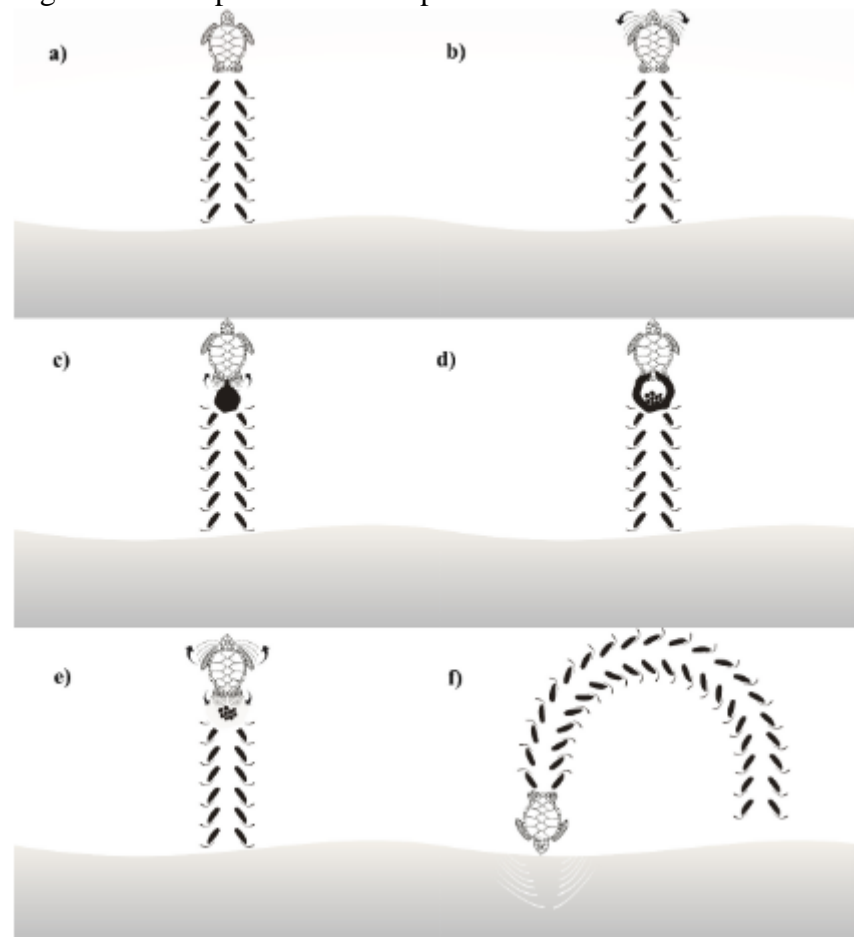
A Reserva Biológica do Atol das Rocas, especialmente, é um local-chave para a conservação da biodiversidade, sendo área de alimentação, descanso e reprodução da *C. mydas* (MMA, 2007). O comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) das tartarugas-verdes que se reproduzem no Brasil apresenta valor mínimo de 0,96 m e máximo de 1,43 m, sendo o tamanho médio (CCC) das fêmeas que nidificam no Atol das Rocas de 1,16 m (GROSSMAN, 2001; GROSSMAN *et al.*, 2009). Devido aos dados serem antigos, demonstra a necessidade de mais estudos sobre a biologia reprodutiva da *C. mydas* nesta região.

1.2 Comportamentos de postura

As tartarugas marinhas são conhecidas por sua alta filopatria – fidelidade ao local de nascimento, característica evidenciada pela capacidade das fêmeas de voltarem à praia onde nasceram para desovar (ALMEIDA, 2011a). A escolha do local de desova é uma etapa importante para o sucesso de sobrevivência das tartarugas, tendo em vista que são animais que não apresentam cuidado parental (TRINDADE, 2012).

Assim, o processo de nidificação possui uma série de etapas: (1) saída da fêmea da água e deslocamento até um local livre da ação das marés; (2) construção da “cama” (área circular afundada que a fêmea prepara para desovar); (3) escavação da câmara de ovos; (4) postura dos ovos; (5) cobertura e camuflagem do ninho; (6) retorno ao mar (Figura 2) (GOMES; SANTOS; HENRY, 2006; NISHIZAWA *et al.*, 2013; MARCOVALDI e MARCOVALDI, 1987).

Figura 2 – Comportamentos de postura.



As etapas A até E correspondem ao processo de nidificação (referente às etapas 1 a 5 citadas no texto). A etapa F corresponde ao comportamento denominado “meia-lua”. Fonte: Nakamura, M. F. (2018).

Os comportamentos de postura podem ser classificados em três tipos de ocorrência: com desova – em que a tartaruga realiza todas as etapas do processo supracitado; sem desova – em que a fêmea sobe à praia confecciona a “cama” e/ou a câmara de ovos, mas não realiza a oviposição; e “meia lua” – quando a tartaruga sobe e desce à praia sem efetuar nenhuma outra etapa do processo de postura, apresentando normalmente um rastro com trajetória de “U” na areia (MARCOVALDI e MARCOVALDI, 1987; ICMBIO, 2018b).

Em relação à espécie *Chelonia mydas*, seu período reprodutivo ocorre entre dezembro e maio com pico de desova em março e abril, sendo no Atol das Rocas entre fevereiro e abril. Neste local, esta espécie apresenta intervalo internidal (tempo entre duas desovas consecutivas em uma temporada) de 11,8 dias e intervalo de remigração (tempo entre sucessivas temporadas reprodutivas) de 3,5 anos, consonantes com a média global de 11 a 12 dias e 3 anos, respectivamente. Entre 1990 e 2008, estimou-se em cada temporada reprodutiva a média de 5,2 desovas por fêmea, com a média de 335 ninhos e 255 tartarugas ativas, em reprodução, no Atol das Rocas (BELLINI *et al.*, 2013; GOMES; SANTOS; HENRY, 2006).

1.3 Ritmos biológicos e parâmetros oceanográficos

Os ritmos biológicos incluem o ciclo lunar e das marés. A temperatura do mar é outro parâmetro oceanográfico que se destaca além das marés. Ambos são importantes para compreender o comportamento de animais como as tartarugas marinhas. Dessa forma, este trabalho se aterá ao estudo da influência das fases lunares, do ciclo das marés e da temperatura superficial do mar (TSM) em relação ao comportamento de desova da tartaruga-verde.

A cronobiologia estuda e integra as características temporais dos seres vivos, incluindo os ritmos biológicos, que expressam as oscilações periódicas no sistema biológico em diferentes níveis de organização, desde o nível fisiológico, como a produção do hormônio melatonina no ciclo claro-escuro, até o nível comportamental (MARQUES e MENNA-BARRETO, 2007).

A ritmicidade biológica abrange o caráter endógeno, também chamado de “relógios biológicos” ou “sistemas de temporização”, em conjunto com fatores exógenos. Assim os ritmos endógenos dos organismos tendem a ser sincronizados com as fases mais propícias dos ciclos ambientais, a fim de aumentar suas chances de sobrevivência e sucesso reprodutivo (NAKAMURA, 2018; MARQUES e MENNA-BARRETO, 2007).

Dessa forma, os ritmos biológicos podem ser classificados em ultradianos (período menor que 19h), circadianos (período de 19-28h) e infradianos (período maior que 28h), sendo o último o mais lento, referente às estações do ano, ao ciclo das marés e às fases lunares. O ciclo lunar sinódico possui o período, em média, de 29,53 dias e quatro fases principais: Lua Nova (0° e 360°), Quarto Crescente (90°), Cheia (180°) e Quarto Minguante (270°). A fase da lua representa o quanto de sua face iluminada está voltada para a Terra. Esta movimentação influencia no ciclo das marés, nos níveis de luminosidade ambiental e nos

campos geomagnéticos, assim como no comportamento e na fisiologia de algumas plantas e animais (KRONFELD-SCHOR *et al.*, 2013; MARQUES e MENNA-BARRETO, 2007; MANTELATTO, 2012; OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2008).

Alguns organismos possuem padrões de sincronização do seu comportamento reprodutivo com os efeitos das fases lunares, por exemplo, várias famílias de peixes (Serranidae, Labridae e Siganidae) (TAKEMURA; RAHMAN; PARK, 2010; IKEGAMI, *et al.*, 2014), a desova em massa de mais de 100 espécies de corais na mesma noite na Grande Barreira de Corais (Austrália), o caranguejo *Sesarma haematocheir* no Japão, e ainda animais mais complexos como o mamífero texugo eurasiático (*Meles meles*) (KRONFELD-SCHOR *et al.*, 2013). Além disso, na visão hegemônica antropocêntrica, é recorrente o ser humano não se ver parte dos processos da Natureza, porém há inúmeros estudos científicos que mostram a influência do ciclo lunar no ciclo menstrual das mulheres, que inclusive possuem períodos semelhantes de aproximadamente 29 dias (CUTLER, 1980; LAW, 1986; ZIMECK, 2006).

Outro exemplo de ritmo infradiano, além do ciclo lunar, são as marés, que também são um importante parâmetro oceanográfico, estando seu movimento oscilatório de subida e descida do nível do mar diretamente associado à origem de sua força, que é a atração gravitacional da Lua exercida sobre a Terra e, em menor escala, do Sol sobre a Terra (CAMARGO; HARARI, 2015).

Sabe-se que a magnitude e direção da atração gravitacional não é a mesma em todos os pontos da Terra em relação à Lua, uma vez que a distância destes pontos à Lua é diferente. Isto atrelado à força centrífuga do sistema Terra-Lua resulta na força atrativa de maré e conseqüentemente na formação de dois bojos (bulbos) de maré, assim como se formam dois bojos de maré devido à influência do Sol (CAMARGO; HARARI, 2015; OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2008).

A combinação destes bulbos de maré depende das fases lunares e determina dois tipos de marés. As marés de sizígia ocorrem durante a lua nova e cheia, quando Sol, Terra e Lua estão alinhados, ocasiona a soma dos bulbos de marés (interferência construtiva), evidenciando as maiores amplitudes, e, apresentando marés mais baixas e mais altas. E as marés de quadratura na lua crescente e minguante, quando os dois sistemas (Terra-Lua e Terra-Sol) fazem um ângulo reto, o que gera interferência destrutiva entre os bulbos, portanto, apresentando menores amplitudes de marés (CAMARGO; HARARI, 2015).

As fases ou estágios de maré são denominados: preamar, vazante, baixa-mar e enchente. Assim a preamar ou maré alta é o nível máximo atingido em um ciclo, enquanto a baixa-mar é o nível mínimo, e entre elas existem os estágios intermediários de vazante e

enchente. Os tipos de marés podem ser classificados em função dos períodos dominantes de oscilação, como semidiurna, diurna e mista, sendo predominante no planeta a maré semidiurna que apresenta duas preamares e duas baixa-mares por ciclo de maré (CAMARGO; HARARI, 2015; MANTELATTO, 2012).

A Lua se move aproximadamente 12° por dia para leste em relação ao Sol, por isso, a cada dia, a Lua cruza o meridiano local cerca de 48 minutos mais tarde do que o dia anterior. Portanto, 48 minutos mais tarde a cada dia, a Lua nasce assim como ocorrem no ciclo das marés. Dessa forma, destaca-se que um dia lunar e conseqüentemente um ciclo de maré possui 24 horas e 48 minutos. (MANTELATTO, 2012; OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2008).

Outro parâmetro oceanográfico, além do ciclo das marés, é a temperatura, que pode caracterizar o oceano em faixas latitudinais e em três camadas verticais. Assim, na região de baixas latitudes, a distribuição vertical de temperatura apresenta uma camada de mistura mais rasa e termoclina permanente (alteração acentuada da temperatura com a profundidade), sendo mais pronunciada quando comparada a latitudes médias, e abaixo da termoclina se evidencia a camada profunda. Ressalta-se que os perfis verticais de temperatura correspondem aos de salinidade e de densidade (CAMARGO; HARARI, 2015). Por fim, destaca-se que a temperatura superficial do mar é inferida na camada de mistura, em que esta é limitada pela máxima propagação da radiação solar e da ação dos ventos.

2. JUSTIFICATIVA

Estudos comportamentais com espécies ameaçadas de extinção são de suma importância para fomentar estratégias de conservação, podendo auxiliar em trabalhos de monitoramento de tartarugas marinhas, assim como no sucesso reprodutivo da espécie e no entendimento da influência de variáveis ambientais nos seus padrões de nidificação. Segundo Nakamura *et al.* (2019), as espécies *C. mydas*, *E. imbricata*, *C. caretta* e *N. depressus* podem sincronizar sua nidificação com as fases lunares, pois apresentam período internidal próximo a meio período lunar. No Atol das Rocas, o intervalo internidal médio da tartaruga-verde foi de 11,8 dias (BELLINI *et al.*, 2013), estando em consonância com a observação de Nakamura *et al.* (2019).

Alguns autores estudaram a correlação do ciclo lunar com o comportamento reprodutivo da *C. caretta* (BURNEY; MATTISON; FISHER, 1990), *D. coriacea* (LAW *et al.*, 2010), *L. olivacea* (HUGHES; RICHARD, 1974) e *E. imbricata* (NAKAMURA *et al.*, 2019). No entanto, são escassos os trabalhos com essa abordagem com a *C. mydas* (FERREIRA, 2012a), não existindo nenhum estudo realizado no Brasil.

O Atol das Rocas se mostra como um local distinto para analisar a relação do comportamento de nidificação da *C. mydas* com as fases lunares e os parâmetros oceanográficos, tendo em vista que possui mínimas perturbações antropogênicas por ser uma unidade de conservação de proteção integral (MMA, 2007). O local é monitorado diariamente durante a temporada reprodutiva das tartarugas-verdes, e é a segunda maior área de reprodução dessa espécie no Brasil.

O conceito de relógio biológico por muito tempo foi estudado apenas em laboratório, com replicações das condições ambientais. Assim, tendo em vista a impossibilidade de serem feitos esses experimentos com tartarugas marinhas, estudos em locais primitivos como o Atol das Rocas podem ser excelentes alternativas para analisar estes mecanismos de sincronização com o ambiente (MARQUES; MENNA-BARRETO, 2007).

Dessa forma, compreender a influência das variáveis ambientais no comportamento de desova poderá trazer informações sobre a resposta desta espécie às alterações ambientais globais, permitindo a gestão realizar ações locais mais efetivas para a sua conservação (PIKE, 2008). Por fim, devido à importância global de se proteger as tartarugas marinhas é necessário conhecer os comportamentos e características reprodutivas destas antes de realizar planos de conservação (GOMES, 2006).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a relação do comportamento de nidificação da espécie *Chelonia mydas* com o ciclo lunar e os parâmetros oceanográficos na Reserva Biológica do Atol das Rocas – RN.

3.2 Objetivos específicos

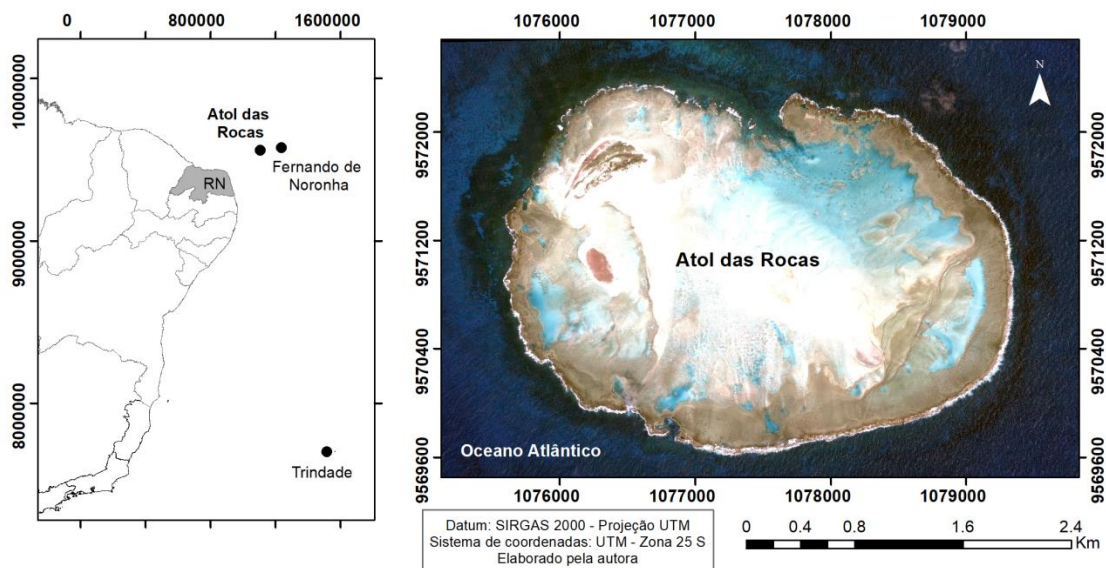
- Relacionar a frequência de subida das tartarugas marinhas com as fases lunares, verificando se há preferência por alguma fase e maré.
- Identificar se a distribuição de ocorrências de tartarugas-verdes possui alguma influência da luminosidade lunar.
- Avaliar a influência da temperatura superficial do mar no comportamento de oviposição dessa espécie.

4. METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A Reserva Biológica do Atol das Rocas está situada no Nordeste Brasileiro, localizada aproximadamente a 267 km a nordeste do município de Natal (RN) e a 148 km a oeste do Arquipélago de Fernando de Noronha (PE) (Figura 3) (MMA, 2007).

Figura 3 – Mapa de localização dos três principais sítios de desova da *C. mydas* no Brasil, com ênfase no Atol das Rocas.



Fonte: elaborado pela autora.

O Atol das Rocas compreende uma área total de 360 km² delimitado pela isóbata de 1000 m de um monte submarino pertencente à Zona de Fratura de Fernando de Noronha. A região é um recife anelar elíptico com aproximadamente 6,5 km² e duas ilhas principais de origem biogênica. A ilha do Farol apresenta 674 m em seu eixo maior e 327 m no menor (área ≈ 156.000 m²); e a ilha do Cemitério com um eixo maior de 380 m e o menor de 186 m (área ≈ 54.000 m²). A vegetação de ambas as ilhas é predominantemente herbácea (KIKUCHI, 1999; MMA, 2007; PEREIRA *et al.*, 2010).

Três espécies de tartarugas marinhas (*Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata* e *Caretta caretta*) ocorrem no Atol das Rocas. Apesar das ilhas apresentarem pequena dimensão, elas possuem uma enorme importância ecológica, sendo consideradas as áreas mais importantes para a reprodução de aves marinhas do Brasil, juntamente com o Arquipélago de

Fernando de Noronha (BELLINI *et al.*, 1996, 2013; MMA, 2007; SCHULZ-NETO, 2004; SILVA; GODOY, 2016).

A área de estudo apresenta mesomares semidiurnas e sua amplitude atinge 2,8 m na sizígia e 1,7 m na quadratura (KIKUCHI, 1999; COSTA, 2015). Nesta região, as tartarugas desovam preferencialmente no período noturno da maré enchente e cheia por conta da zona de recifes que fica exposta durante a maré vazante e seca, dificultando a travessia dos animais (Figura 4) (BELLINI *et al.*, 2013; GROSSMAN, 2001). Entretanto também há desovas na maré vazante.

Figura 4 – Zona recifal exposta durante a maré seca.



Fonte: arquivo pessoal (2020).

Os ventos alísios de sudeste são predominantes na região, em que a velocidade média é de aproximadamente 5 m.s^{-1} (BDC, 2015 *apud* COSTA, 2015). Consequentemente, o Atol das Rocas é caracterizado por vagas de sudeste persistentes ao longo do ano, formadas pelos ventos alísios e controladas pelo deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Sazonalmente, apresenta a incidência de *swell* gerado por ciclones extratropicais no hemisfério sul e norte, em que os eventos extremos só ocorrem na laguna quando estas ondulações acontecem juntamente com a preamar de sizígia (COSTA, 2015).

A precipitação possui distribuição irregular ao longo do ano, apresentando valor máximo em Abril (132 mm), mínimo em Outubro (6 mm) e média anual de 700 mm (BDC, 2015 *apud* COSTA, 2015). O Atol das Rocas sofre influência da Corrente Sul Equatorial e possui média de temperatura superficial do mar (TSM) de 27°C na sua região externa (FERREIRA *et al.*, 2012b; KIKUCHI, 1999).

Existem dois canais (barretas) que interligam a parte interna do Atol com o seu entorno. Durante a baixa-mar, estes são as únicas comunicações entre o seu exterior e interior.

Dessa forma, a variação das marés, juntamente com a geomorfologia da região, ocasiona grandes variações da TSM e salinidade nas lagunas e piscinas, devido às restrições de circulação da água (MMA, 2007; OLIVEIRA, 2012).

A Reserva Biológica (Rebio) é uma unidade de conservação de proteção integral, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. A visitação só pode ser realizada para fins de fiscalização e pesquisas científicas devidamente autorizadas pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (Sisbio/ICMBio) (BRASIL, 2000; MMA, 2007). As expedições contam com cerca de quatro pessoas que se alternam a cada 30 dias, aproximadamente, para atividades de pesquisa e monitoramento (COSTA, 2015).

O Atol das Rocas foi a primeira Unidade de Conservação Marinha do Brasil, criada em 1979. Destaca-se que em 2018 as áreas marinhas protegidas passaram de 1,5% para 25%, entretanto, apenas 3,41% são referentes à proteção integral (ICMBIO, 2018c; MMA, 2007; 2010). Dessa forma, o Brasil superou a Meta 11 de Aichi estabelecida na COP 10, porém não alcançou a meta nacional de conservar pelo menos 10% da sua zona marinha até 2020, por meio de UC de proteção integral e/ou zonas de exclusão de pesca. Assim, evidencia-se a importância da ampliação e manutenção de UC's de proteção integral no Brasil, como a Rebio Atol das Rocas.

Rocas é o único atol do Atlântico Sul e é caracterizado como um sítio geológico, paleontológico e um santuário ecológico, sendo considerado um Patrimônio Mundial da UNESCO. Possui grande importância para a conservação da biodiversidade, destacando-se como local-chave para a proteção de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (KIKUCHI, 1999; MMA, 2007; SOARES, 2010).

4.2 Amostragem

O presente estudo utilizou os dados obtidos mediante monitoramentos noturnos das temporadas reprodutivas de 2018 a 2020 na Reserva Biológica do Atol das Rocas, realizado com a autorização da licença SISBIO nº 59809.

As tartarugas-verdes desovam nas duas ilhas da área de estudo, porém o monitoramento diário noturno foi realizado somente na ilha do Farol, devido à dificuldade de acesso à ilha do Cemitério, durante a maré cheia, no período noturno. O monitoramento iniciou cerca de 2 horas antes da maré cheia de sizígia e 1 hora antes da maré cheia de quadratura (AGOSTINHO, 2019). Foram utilizadas as tábuas de marés do site da Marinha do Brasil para o local mais próximo – Fernando de Noronha.

Durante os monitoramentos, as informações coletadas foram as seguintes: data, horário, localização, identificação do animal (e.g. anilhas ou microchip) (Figura 5A), dados biométricos (medida curvilínea do comprimento e da largura da carapaça) (Figura 5B) e tipo de ocorrência. Em seguida, os animais sem identificação foram marcados (Figura 5C).

Figura 5 – Trabalho de campo realizado no Atol das Rocas: identificação da tartaruga (A); B: biometria da fêmea (B) e marcação (C).



Fonte: arquivo pessoal (2020).

4.3 Análise dos dados

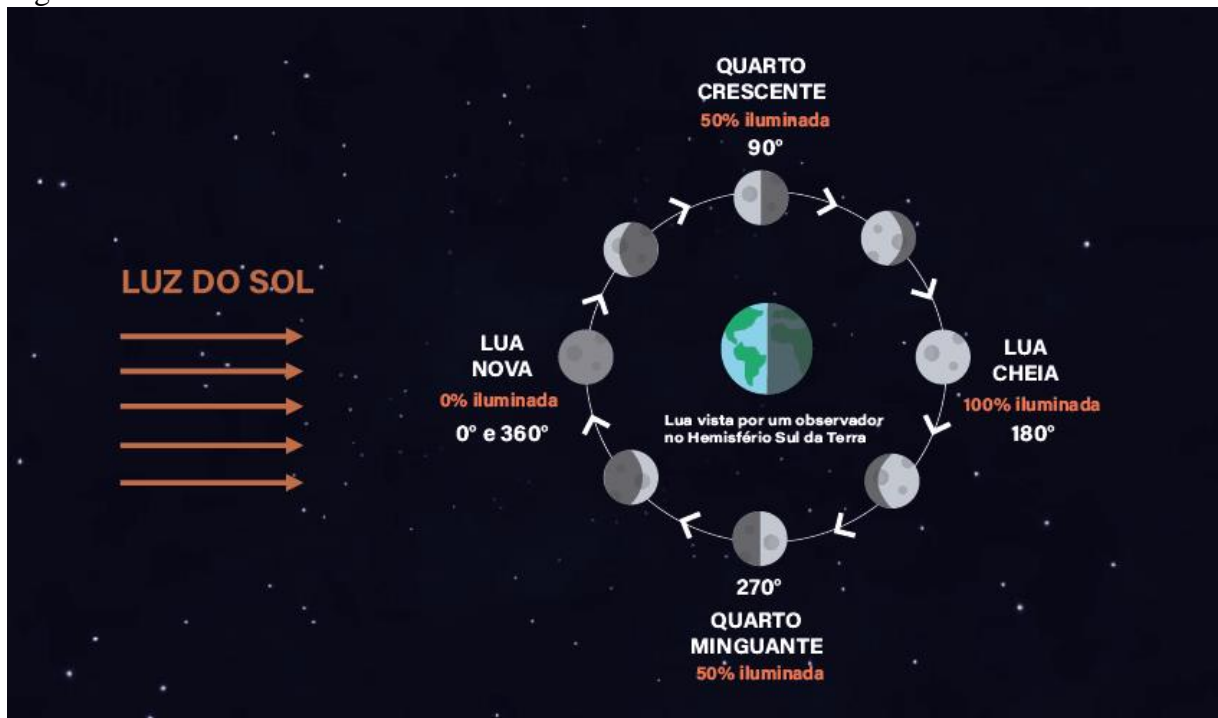
As análises referentes ao ângulo lunar e à Temperatura Superficial do Mar (TSM) consideraram parte das temporadas de 2018 a 2020, representando um universo amostral de 756 ocorrências de tartarugas. No entanto, em relação à luminosidade da lua é necessária a hora de cada ocorrência, assim, admitiram-se apenas os dados de 2019 e 2020 com horário ($n = 578$), pois a temporada de 2018 não possuiu registro de horário.

A luminosidade lunar – face iluminada da Lua voltada para a Terra – foi usada com base na Biblioteca de Mecânica Celestial, Astrometria e Astrodinâmica de dupla precisão (Libnova: <http://libnova.sourceforge.net/index.html>) para as coordenadas da área de estudo. Desta forma, foram cruzados os dados de ocorrências das temporadas reprodutivas de 2019 e 2020 ($n = 578$) com a porcentagem iluminada da face visível da lua (0 - 100%) no momento de cada ocorrência.

O calendário lunar do Departamento de Astronomia do IAG/USP, juntamente com o total de ocorrências das temporadas de 2018 a 2020 ($n = 756$) foi utilizado para investigar a relação das fases lunares e tipos de maré com o comportamento de desova (tipos de ocorrência). Os tipos de ocorrências são classificados como: “com desova” (CD), “sem desova” (SD) e “meia-lua” (ML).

O ângulo lunar – posição angular entre Sol-Lua-Terra - foi usado como uma variável contínua de 0° a 360° , em que 0° = lua nova; 90° = lua crescente; 180° = lua cheia; 270° = lua minguante; 360° = lua nova. Logo, na lua nova a Lua está alinhada com o Sol; na lua crescente a Lua se deslocou 90° em relação ao Sol; na lua cheia o ângulo Sol-Terra-Lua é 180° ; e na lua minguante a Lua se deslocou 270° em relação ao Sol. Dessa forma, o ângulo inicia (0°) e termina (360°) na lua nova, retornando para o ponto inicial (Figura 6).

Figura 6 – Sistema Sol-Terra-Lua com foco nas fases lunares.



O esquema gráfico mostra as formas aparentes da Lua para um observador no hemisfério sul da Terra. Destaca-se a porcentagem iluminada da face visível da lua (0 – 100%) e o ângulo lunar (0 – 360°) nas quatro fases lunares principais. Fonte: elaborado pela autora e Beatrice Cavalcante Arraes.

Os dados oceanográficos e meteorológicos do Atol das Rocas são esparsos devido à ausência de boias e estações de monitoramento no local, pois a boia do projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*) mais próxima fica a mais de 400 km da área de estudo (OLIVEIRA, 2012). Por isso os dados de TSM foram obtidos na plataforma Giovanni (NASA, 2020) por meio do satélite Aqua-MODIS com dados noturnos com as seguintes resoluções: espacial de 4 km, temporal de 8 dias e espectral de 11 microns.

4.3.1 Análise estatística

O Modelo Linear Misto Generalizado (*Generalized Linear Mixed Models*; GLMM) foi utilizado para avaliar as ocorrências com desova, sem desova e meia-lua em função do ângulo lunar e da TSM. GLMMs combinam as propriedades dos modelos lineares mistos, que incorporam efeitos aleatórios com o propósito de quantificar a variação entre as unidades amostrais; e dos modelos lineares generalizados, que utilizam funções do tipo ‘link’ e famílias de distribuições exponenciais para lidar com dados não-normais (BOLKER *et al.*, 2009).

Desta forma, inicialmente foi considerado uma distribuição Poisson (Família) com função link logarítmica para gerar os modelos, tipicamente utilizada para dados de contagem, e foi estabelecido o total de ocorrências como efeito aleatório. Porém, após uma análise inicial, foi observado que os dados apresentavam superdispersão (variação maior do que o esperado). Assim, optou-se por utilizar a distribuição negativa binomial para gerar os modelos definitivos, uma vez que esta família é mais adequada para dados com superdispersão.

Por fim, para a análise da relação entre a luminosidade e as ocorrências com desova, sem desova e meia-lua, foi utilizado um modelo de regressão linear simples. Todas as análises foram efetuadas em ambiente R (*R Core Team, 2020*), com os pacotes *stats* (*R Core Team, 2020*) e *lme4* (BATES *et al.*, 2015). A significância estatística foi considerada para alfa igual ou menor que 0,05 (BANERJEE *et al.*, 2009). Para a elaboração do gráfico de desovas (Figura 7) foi utilizado o *Excel* pacote office, versão 14.0.

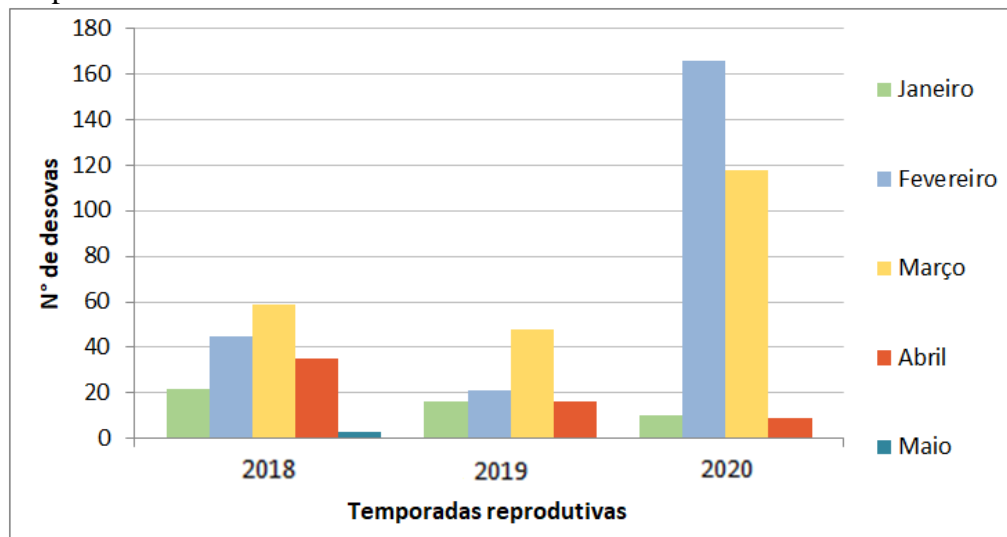
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temporadas reprodutivas de 2018 a 2020 totalizaram 756 registros de ocorrências de *Chelonia mydas* na ilha do Farol no Atol das Rocas. Dentre estas, houve 568 ninhos (desova), 97 tentativas de desovas abandonadas (sem desova) e 91 rastros sem efetuar nenhuma etapa da oviposição (meia-lua).

O número de ninhos apresentado não é o total observado no Atol das Rocas, pois não incluíram as ocorrências da ilha do Cemitério, ocorrências em dias esporádicos em que não houve monitoramento ou aquelas realizadas nos demais meses do período reprodutivo, como dezembro. Bellini *et al.* (2013) destacam que o número anual médio é de 335 ninhos, em que mesmo sendo cerca de 10 vezes menor do que a Ilha de Trindade – maior sítio reprodutivo dessa espécie no Brasil, evidencia-se a grande importância do Atol das Rocas na conservação da diversidade genética das tartarugas-verdes.

O período de nidificação ocorreu majoritariamente nos meses de janeiro a abril, evidenciando o pico de desova em fevereiro e março (Figura 7), consonante com o estudo de Bellini *et al.* (2013) realizado na região. No entanto, a distribuição do número de desovas se deu de forma heterogênea entre os três anos, em que 2020 apresentou aproximadamente o dobro de desovas (53,34 % do total de desovas) quando comparado ao mesmo período de 2018 (28,87 %) e 2019 (17,78 %) (Figura 7). Isto pode ser explicado devido à possibilidade das tartarugas-verdes que nidificam no Atol das Rocas provirem de diferentes sítios de alimentação, o que irá influenciar no seu retorno da área de alimentação para a área de desova, interferindo no seu intervalo de remigração (AGOSTINHO *et al.*, 2021).

Figura 7 – Distribuição de desovas mensais de *Chelonia mydas* nas temporadas de 2018-2020 no Atol das Rocas.



Fonte: elaborado pela autora.

Somado a isso, sabe-se que as tartarugas não costumam fazer ninhos em anos consecutivos, sendo a média do período de remigração das tartarugas no Atol das Rocas de 3,5 anos (BELLINI *et al.*, 2013). Assim, provavelmente em cada ano deste estudo foram amostrados indivíduos diferentes, podendo justificar esta distribuição observada na Figura 7. Além disso, segundo Broderick *et al.* (2003) foram encontrados altos níveis de variação interanual no número de fêmeas nidificando em populações de *C. mydas*, podendo estar relacionado a condições ambientais.

5.1 Luminosidade lunar

No início do desenvolvimento das tartarugas se percebe a relação com a luminosidade lunar, pois ao nascer, o reflexo da luminosidade lunar na água orienta os filhotes em direção ao mar. No entanto, há pouca compreensão se essa luminosidade possui também influência no comportamento das fêmeas nidificantes.

Dessa forma, a porcentagem iluminada da face visível da lua permite analisar a influência da claridade lunar durante o momento de desova, sendo a configuração da área de estudo ideal, pois possui pouca iluminação artificial. Esta variável não objetiva inferir sobre a fase lunar, tendo em vista que 50% iluminada representa tanto o quarto crescente como o minguante (Figura 6). Além disso, 0% não representa apenas lua nova, mas também as ocorrências em que a lua ainda não havia nascido no céu. Importante salientar que a Lua pode ser vista durante 12h no período de 24h, nascendo a cada dia 48 minutos mais tarde (OLIVEIRA FILHO; SARAIVA, 2021).

A luminosidade lunar não teve relação estatística significativa na desova ($p=0,23$); sem desova ($p = 0,14$) e meia-lua ($p = 0,15$) (Tabela 1). Uma possível hipótese para o resultado encontrado está relacionada com o número amostral de apenas três temporadas reprodutivas, que pode ter sido insuficiente. Além disso, outros fatores bióticos e abióticos podem interferir nesta análise, como a cobertura de nuvens, em que noites nubladas podem influenciar no nível de luminosidade lunar.

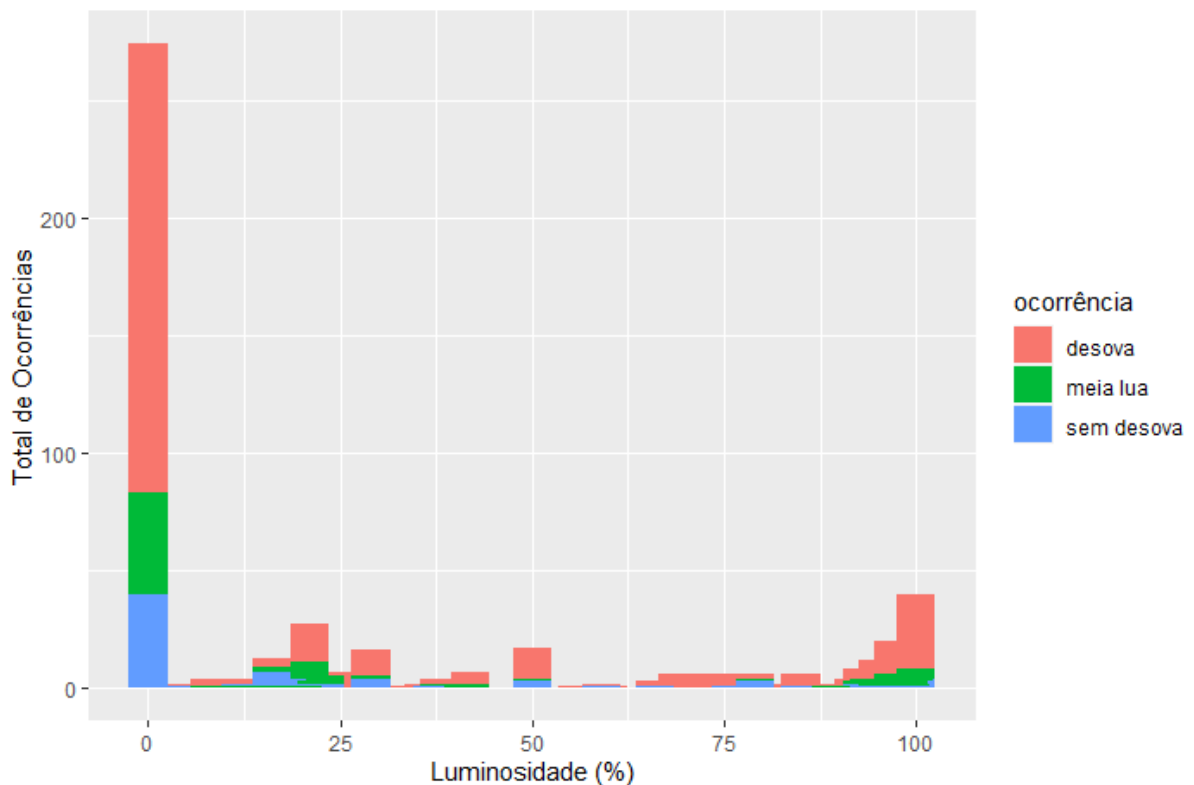
Tabela 1 – Resultado do tratamento estatístico (regressão linear simples) - luminosidade lunar.

| Efeitos | Desova | | Sem desova | | Meia-lua | |
|--------------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p |
| Luminosidade | -0,14 ± 0,11 | 0,23 | -0,04 ± 0,02 | 0,14 | -0,04 ± 0,03 | 0,15 |

Fonte: elaborada pela autora.

No entanto, um efeito não está ausente apenas porque não foi estatisticamente significativo (WASSERSTEIN; SCHIRM; LAZAR, 2019). Assim, a Figura 8 apresentou possível relação biológica da preferência de subida das tartarugas à praia em momentos de ausência de luminosidade noturna causada pela lua. Isto pode ser uma estratégia desses animais para diminuir o seu risco à predação, pois ficam mais expostos aos predadores em noites iluminadas, assim como para protegerem seus ovos dos caranguejos *Johnngarhia lagostoma*, que costumam preda ovos e filhotes de tartarugas no Atol das Rocas (KRONFELD-SCHOR *et al.*, 2013; SILVA e GODOY, 2016).

Figura 8 – Relação entre a luminosidade lunar e a oviposição de tartarugas nas temporadas reprodutivas de 2019-2020 no Atol das Rocas.



Distribuição da frequência de ocorrências que possuem horários (n=578) com relação à respectiva porcentagem luminosa da lua no céu (0 - 100%) no momento da ocorrência (desova; meia-lua ou sem desova). Fonte: elaborado pela autora.

Destaca-se que na ilha de João Vieira (Guiné-Bissau) a alta luminosidade lunar também pode desencorajar a desova das tartarugas-verdes (FERREIRA, 2012a). Este comportamento preferencial por noites mais escuras também foi relatado na desova da donzela endêmica do Arquipélago de São Pedro e de São Paulo (ALVES, 2013) e na atividade noturna de pequenos mamíferos (DELGADO, 2017). Por outro lado, animais predadores, como a serpente insular *Agkistrodon piscivorus conanti*, otimizam seu sucesso de

forrageamento detectando suas presas em noites com níveis mais altos de luminosidade lunar (LILLYWHITE; BRISCHOUX, 2012).

Ademais, para avaliar a influência das fases lunares e dos parâmetros oceanográficos no comportamento de desova foi utilizado o Modelo Linear Misto Generalizado (GLMM), considerando as variáveis preditoras como o ângulo lunar e a temperatura superficial do mar; as variáveis respostas como os tipos de ocorrências (CD, SD e ML) e a variável aleatória como o total de ocorrências.

5.2 Fases lunares

A Natureza é permeada por mudanças rítmicas e o ciclo lunar sempre provocou interesse na humanidade, desde as antigas civilizações, norteando atividades de colheita, caça, pesca e elaboração de calendários. Assim, Gaspi *et al.* (2019) elaboraram um estado do conhecimento sobre a influência do ciclo lunar nos organismos, constatando que as pesquisas abordam essa relação, principalmente, com a desova de animais marinhos. No entanto, pouquíssimos trabalhos abordam essa temática com a tartaruga-verde. Com isso, buscou-se compreender a relação das fases lunares no comportamento de desova da *Chelonia mydas* no Atol das Rocas.

Desse modo, o ângulo lunar não apresentou relação estatisticamente significativa nos três tipos de ocorrência: com desova ($p = 0,35$); sem desova ($p = 0,90$) e meia-lua ($p=0,86$) (Tabela 2). É sugerido investigar se um maior número amostral seria mais adequado para a análise estatística das fases lunares, visto que um estudo que englobasse mais temporadas poderia amostrar as mesmas tartarugas retornando para desovar após o período de remigração, favorecendo a observação de possíveis padrões de desova dos mesmos indivíduos.

Tabela 2 – Resultado do tratamento estatístico (GLMM) – ângulo lunar.

| Efeitos | Desova | | Sem desova | | Meia-lua | |
|----------------------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|------|
| | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p |
| Ângulo lunar | -0,002 ± 0,002 | 0,35 | 0,0006 ± 0,005 | 0,90 | -0,0006 ± 0,003 | 0,86 |
| Efeito aleatório | Variância ± Desvio Padrão | | Variância ± Desvio Padrão | | Variância ± Desvio Padrão | |
| Total de Ocorrências | 0,32 ± 0,57 | | 1,47 ± 1,21 | | 0,55 ± 0,74 | |

Fonte: elaborada pela autora.

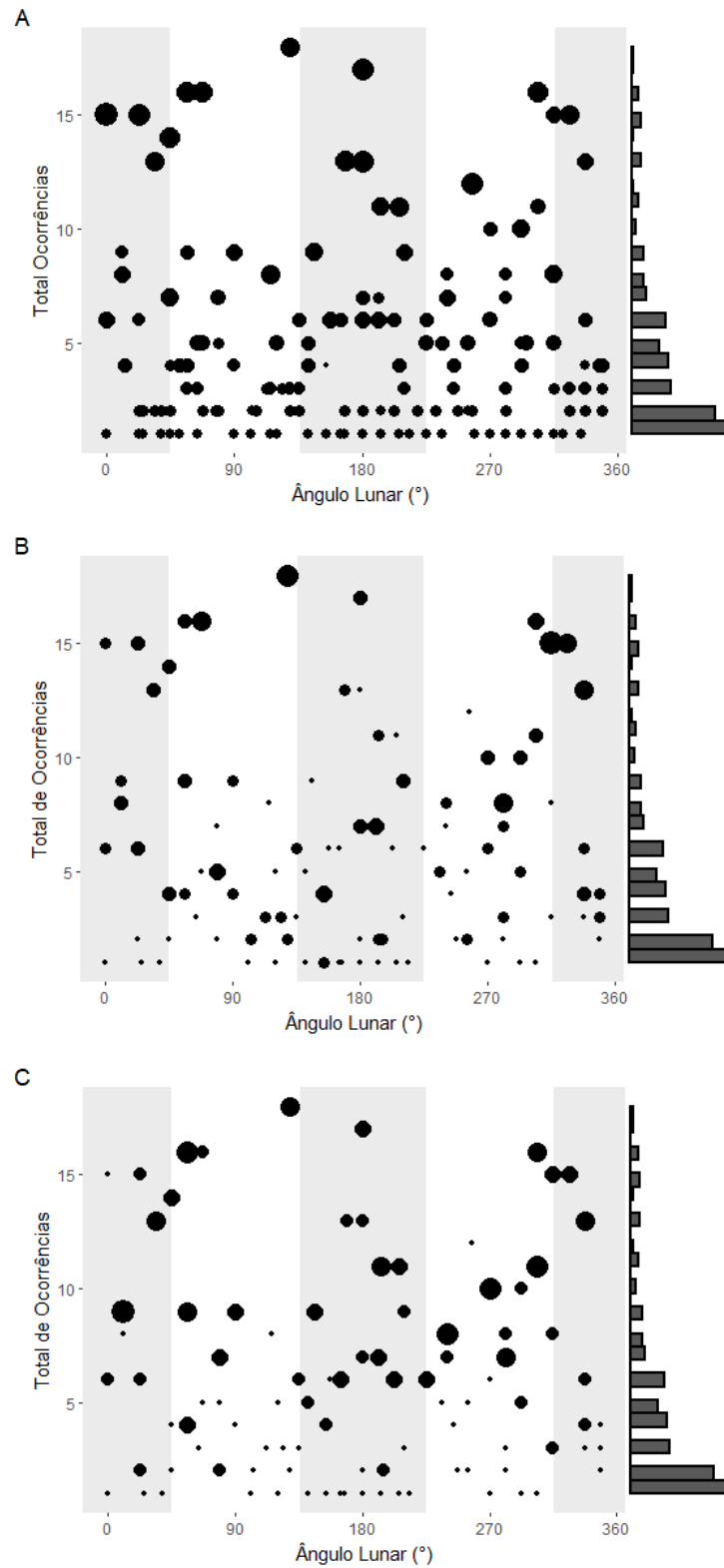
Consonante com a estatística, na Figura 9B,C não se evidencia relação entre a distribuição das ocorrências sem desova e meia-lua com as fases lunares. Entretanto, quanto às desovas, observa-se um possível efeito biológico na sua distribuição de acordo com as fases lunares, em que há uma tendência de desova durante a lua nova (0° e 360°) e lua cheia (180°), evidenciada pelo maior tamanho dos círculos e agrupamento próximo a estes ângulos na Figura 9A.

Dessa forma, sugere-se uma relação com a maré de sizígia, representada pela área cinza na Figura 9A, tendo em vista que este tipo de maré ocorre durante a lua nova e cheia, quando há as maiores amplitudes de maré e conseqüentemente possibilitando um maior tempo para as tartarugas emergirem e desovarem na praia. Uma vez que no Atol das Rocas as tartarugas desovam preferencialmente no período noturno da maré enchente e cheia, pois a zona recifal fica exposta durante a maré seca, dificultando o acesso destes animais à praia (BELLINI *et al.*, 2013; GROSSMAN *et al.*, 2009; SILVA e GODOY, 2016).

O Atol das Rocas apresenta marés semidiurnas, havendo duas preamares e duas baixa-mares em um dia lunar. Essa variação da amplitude de maré altera a imersão e emersão da faixa praial diariamente. Assim, por Rocas estar sob o regime de mesomaré (variação da amplitude de 2 a 4 m), o topo do anel recifal pode ficar até 2 m acima do nível do mar na maré baixa (COSTA, 2015), tornando difícil a passagem das tartarugas para desovar na ilha.

Ademais, mesmo apresentando um agrupamento de ocorrências em ângulos lunares específicos, ressalta-se que ocorre subida da tartaruga à praia em qualquer ângulo lunar observado neste estudo, como aponta o histograma vertical na Figura 9.

Figura 9 – Efeito das fases lunares no comportamento de desova da *C. mydas* durante as temporadas reprodutivas de 2018-2020. A: desova; B: sem desova; C: meia-lua.



Distribuição do total de ocorrências ($n = 756$) em relação ao ângulo lunar, em que $0^\circ =$ lua nova; $90^\circ =$ lua crescente; $180^\circ =$ lua cheia; $270^\circ =$ lua minguante; $360^\circ =$ lua nova. A quantidade e a posição dos círculos representam o total de ocorrências em cada ângulo; o tamanho dos círculos aponta a proporção relativa do número de desovas (A), sem desova (B) e meia-lua (C). O histograma do eixo y indica a frequência das ocorrências. A área cinza representa a maré de sizígia e a branca a maré de quadratura. Fonte: elaborado pela autora.

A Ilha de Poilão (Guiné-Bissau), maior local de nidificação das tartarugas-verdes de toda a África, possui características semelhantes ao Atol das Rocas, em que as rochas também ficam expostas na maré baixa. Assim, as tartarugas só desovam na maré cheia, tendo prevalência de desova nas áreas acima da maior maré de sizígia (PATRÍCIO *et al.*, 2018). Dessa forma, sabendo que as tartarugas-verdes tendem a selecionar locais de desova com baixo risco de inundação (FERREIRA, 2012a; PATRÍCIO *et al.*, 2018), a saída da água da *C. mydas* para desovar, durante a maré cheia de sizígia, demanda um percurso menor na areia para realizar a postura dos seus ovos longe do limite máximo da maré de sizígia, podendo ser um comportamento estratégico para assegurar o sucesso do ninho e um menor esforço da fêmea.

Além disso, a tartaruga-verde apresenta intervalo internidal médio de 11,8 dias no Atol das Rocas, (BELLINI *et al.*, 2013), sendo próximo a meio período lunar (14,8 dias). Segundo Nakamura *et al.* (2019) isto pode evidenciar uma sincronização da espécie *C. mydas* com as fases lunares. Logo, a mesma tartaruga pode ter preferência por desovar em fases alternadas (lua nova e cheia; ou lua crescente e minguante), como neste estudo, em que há maior distribuição de desovas durante as luas nova e cheia. Isto pode ser regulado por algum mecanismo de relógio biológico que induza a desova na mesma maré, uma vez que essas fases alternadas correspondem ao mesmo tipo de maré a cada 15 dias (sizígia ou quadratura). Portanto, seria interessante testar esta hipótese no futuro com as fêmeas marcadas por anilha ou microchip.

Um comportamento semelhante foi observado em tartarugas-de-couro (*Dermochelys coriacea*) na Guiana Francesa, que ajustam o seu retorno para nidificar próximo às luas nova e cheia, com picos de desova na maré de sizígia (GIRONDOT, 1996). Também a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*) apresenta maior desova na lua nova e cheia, na Flórida (BURNEY; MATTISON; FISHER, 1990). Em contraste, a tartaruga-de-pente (*Eretmochelys imbricata*) apresentou maior frequência de desova durante a lua crescente e minguante no Rio Grande do Norte (NAKAMURA *et al.*, 2019).

5.3 Temperatura superficial do mar

Animais ectotérmicos, como as tartarugas marinhas, demonstram íntima relação com as condições oceanográficas, sendo seu período de desova e de alimentação influenciados pela temperatura superficial do mar (TSM) (WEISHAMPEL *et al.*, 2010; MAZARIS *et al.*, 2009). O conhecimento sobre a relação do regime térmico oceânico na

determinação do habitat das tartarugas marinhas e da temperatura de incubação dos ovos na sua determinação sexual é vasto (BOTH, 2017; BOWEN; KARL, 2007). No entanto, há pouca compreensão acerca da temperatura superficial do mar no comportamento de oviposição da espécie *C. mydas* (PIKE, 2009; WEISHAMPEL *et al.*, 2010).

No Oceano Atlântico, três boias localizadas entre as latitudes 0°S - 8°S, onde se encontra o Atol das Rocas, apresentaram o pico anual de TSM nos meses de março, abril e maio (FERREIRA *et al.*, 2012b), período em ocorre a temporada de desova no local. Neste estudo, a temperatura superficial do mar, apresentou influência estatisticamente significativa nos três tipos de ocorrências: com desova ($p < 0,01$), sem desova ($p = 0,05$) e meia-lua ($p < 0,01$) (Tabela 3). Evidenciando-se a preferência de subida dessa espécie à praia em maiores temperaturas ($\geq 29,5^{\circ}\text{C}$), principalmente em torno de $29,5^{\circ}$ (Figura 10). Este padrão foi observado para ocorrências com desova e sem desova, porém, na meia-lua, notou-se uma distribuição mais heterogênea.

Tabela 3 – Resultado do tratamento estatístico (GLMM) – temperatura superficial do mar.

| Efeitos | Desova | | Sem desova | | Meia-lua | |
|----------------------|---------------------------|--------|---------------------------|------|---------------------------|-------|
| | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p | Média ± Erro Padrão | p |
| TSM | 0,22 ± 0,04 | < 0,01 | 0,21 ± 0,11 | 0,05 | -0,44 ± 0,08 | <0,01 |
| Efeito aleatório | Variância ± Desvio Padrão | | Variância ± Desvio Padrão | | Variância ± Desvio Padrão | |
| Total de ocorrências | 0,32 ± 0,57 | | 1,47 ± 1,21 | | 0,55 ± 0,74 | |

Fonte: elaborada pela autora.

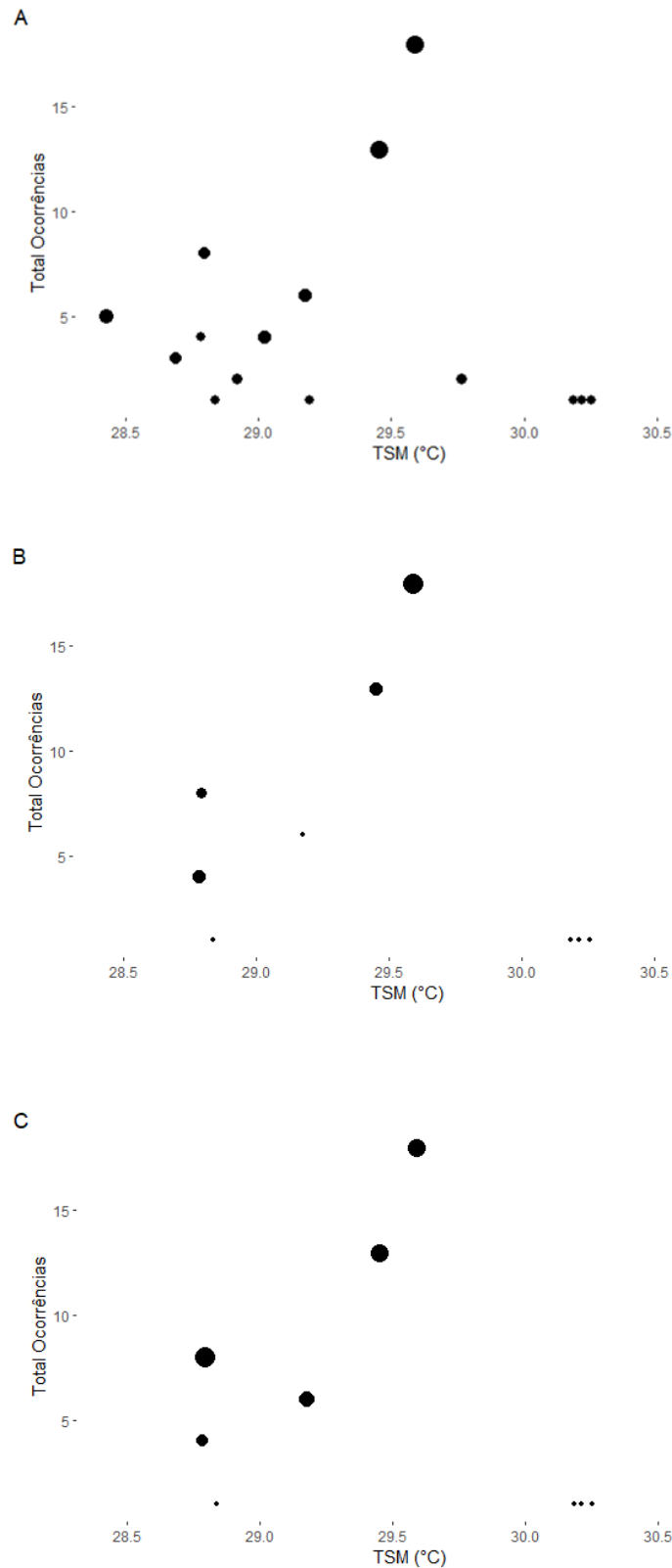
A diferença da meia-lua não foi considerada relevante para a discussão, pois possivelmente a temperatura da água influencia na saída da tartaruga à praia para o processo de oviposição, mas não no resultado do comportamento de desova (tipo de ocorrência). Ressalta-se que a desova durante estas maiores temperaturas são em relação a condições normais de variação climática anual, e não há dados que indiquem que as tartarugas poderiam tirar proveito das mudanças climáticas (HAWKES *et al.*, 2009).

A preferência de desova pela temperatura superficial do mar em torno de $29,5^{\circ}\text{C}$ constatada neste estudo é semelhante à temperatura pivotal de $\sim 29^{\circ}\text{C}$, que determina a produção de 50% fêmeas e 50% machos, em ninhos de *C. mydas* (BRODERICK *et al.*, 2000; FERREIRA JÚNIOR, 2009). Embora esta temperatura tenha a ver, a princípio, com a temperatura da areia, essa relação pode indicar um comportamento estratégico de percepção ambiental das tartarugas desde a saída para desovar, a fim de obter um maior sucesso na

determinação sexual dos seus filhotes. Assim como foi observado em um estudo recente de Oliveira *et al.* (2020), em que a tartaruga-de-pente alterou seu período de pico de desova para TSM mais amenas para preservar a proporção sexual dos filhotes no Rio Grande do Norte, sugerindo que esta espécie tem respondido ao aquecimento global.

Acredita-se que os animais mais dependentes das condições ambientais serão os mais afetados pelas mudanças climáticas. Com isso, o entendimento do efeito da TSM na desova de tartarugas pode auxiliar na previsão do comportamento da tartaruga-verde frente às mudanças climáticas, assim como a fenômenos de anomalias de TSM no Pacífico leste, como o El Niño, que afetou os corais no Atol das Rocas em 2009-2010 (FERREIRA *et al.*, 2012b) e a anomalias de TSM sobre o Atlântico tropical (Dipolo do Atlântico) (NÓBREGA; SANTIAGO; SOARES, 2016).

Figura 10 – Efeito da Temperatura Superficial do Mar (TSM) no comportamento de desova da *C. mydas* durante as temporadas reprodutivas de 2018-2020. A: desova; B: sem desova; C: meia-lua.



Distribuição do total de ocorrências ($n = 756$) em relação à TSM. A quantidade e a posição dos círculos representam o total de ocorrências em cada temperatura ($^{\circ}\text{C}$); o tamanho dos círculos aponta a proporção relativa do número de desovas (A), sem desova (B) e meia-lua (C). Fonte: elaborado pela autora.

6. CONCLUSÃO

Durante as temporadas de desova de 2018 a 2020, foram provavelmente amostrados indivíduos diferentes em cada ano no Atol das Rocas, devido ao intervalo de remigração de 3,5 anos da *C. mydas*, evidenciando um pico maior de desova em 2020, que pode estar relacionado ao fato destas tartarugas provirem de diferentes sítios de alimentação. Sugerem-se estudos futuros com a amostragem de mais temporadas para avaliar se existe algum padrão periódico de distribuição de desova entre os anos.

A influência lunar no padrão de nidificação está relacionada à luminosidade lunar e às marés. Apesar de não haver efeito estatístico significativo das fases lunares e da luminosidade lunar, observou-se que as tartarugas-verdes apresentam maior tendência de desova durante a lua nova e cheia, possivelmente em razão da preamar de sizígia (maior amplitude) possibilitar um maior tempo de desova, pois a exposição dos recifes faz com que a subida das tartarugas à praia ocorra nas marés enchente e cheia no Atol das Rocas. Além de esta maré proporcionar um menor percurso para as fêmeas desovarem acima da preamar de sizígia, tendo um menor esforço físico e um maior sucesso de oviposição.

Nota-se biologicamente uma potencial preferência de subida das tartarugas a praia em momentos de ausência de luminosidade lunar, sugerindo que seja uma estratégia de sobrevivência para evitar exposição a predadores. Isto pode explicar a proporção de desova predominante na lua nova quando comparada à lua cheia.

A temperatura superficial do mar foi a única variável das três analisadas que apresentou relação estatisticamente significativa com a desova, sem desova e meia-lua, destacando preferência de subida da *C. mydas* à praia por temperaturas em torno de 29,5 °C. Acredita-se que a TSM influencia na saída da tartaruga do mar e não necessariamente no resultado desse comportamento de oviposição.

Dessa forma, a luminosidade lunar, as fases lunares e as marés possuem certa influência no padrão de desova da tartaruga-verde, mas não a limitam, pois, mesmo mostrando uma maior distribuição de desovas nas condições ambientais específicas supracitadas, as tartarugas sobem a praia nas diferentes condições ambientais observadas.

Este trabalho analisou o efeito sinérgico dessas variáveis no comportamento de desova da *C. mydas*, sendo importante no futuro relacionar também com outras condições ambientais, como a precipitação e as anomalias de TSM (El Niño, La Niña e Dipolo do Atlântico). Sugere-se ainda o desenvolvimento de trabalhos nos outros dois principais sítios de desova da *C. mydas* do Brasil – Trindade e Fernando de Noronha – para constatar se esse

comportamento relacionado às fases lunares e às marés ocorre devido à configuração de imersão e emersão da faixa praial de cada área específica ou devido a um ritmo biológico de sincronicidade da espécie.

Por fim, compreender a influência das variáveis ambientais no comportamento de desova da tartaruga-verde poderá melhorar o esforço de monitoramento para a sua conservação, além de possibilitar entender como essa espécie ameaçada de extinção responderá às mudanças ambientais naturais e, principalmente, causadas pelos seres humanos.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, K. F. F. **Distribuição de elementos traço em diferentes matrizes da tartaruga-verde (*Chelonia mydas*, LINNAEUS 1758) da Reserva Biológica do Atol das Rocas, RN, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos de Goytacazes, 2019.
- AGOSTINHO, K. F. F. *et al.* Trace elements and stable isotopes in egg yolk of green turtles on Rocas Atoll, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 162, 2021.
- ALMEIDA, A. P. *et al.* Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, n. 1, p. 12-19, 2011a.
- ALMEIDA, A.P. *et al.* Green turtle nesting on Trindade Island, Brazil: abundance, trends, and biometrics. **Endangered Species Research**, v. 14, p. 193-201, ago. 2011b.
- ALVES, A. C. **Ecologia reprodutiva do peixe donzela, *Stegastes sanctipauli* LUBBOCK & EDWARDS, 1981 (Osteichthyes: Pomacentridae) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.
- BANERJEE, A. *et al.* Hypothesis testing, type I and type II erros. **Industrial Psychiatry Journal**, v. 18, n. 2, p. 127-131, 2009.
- BATES, D.; MÄCHLER M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, v. 67, p. 1-48, 2015.
- BELLINI, C.; MARCOVALDI, M. A.; SANCHES, T. M.; GROSSMAN, A.; SALES, G. Atol das Rocas Biological Reserve: second largest *Chelonia* rookery in Brazil. **Marine Turtle Newsletter**, n. 72, p. 1-2, 1996.
- BELLINI, C.; SANTOS, A. J. B.; GROSSMAN, A.; MARCOVALDI, M. A.; BARATA, P. C. R. Green turtle (*Chelonia mydas*) nesting on Atol das Rocas, north-eastern Brazil, 1990–2008. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 93, n. 4, p. 1117-1132, abril 2013.
- BJORNDAL, K. A. Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In: LUTZ, P.; MUSICK, J. A. (eds). **The biology of sea turtles**. 8. ed Flórida: CRC Marine Science Series, 1997. p. 199-232.
- BJORNDAL, K. A. Nutrição e comportamento em pastejo da tartaruga verde *Chelonia mydas*. **Marine Biology**. v. 56, p. 147-154, fev. 1980.
- BOLKER, B. M. *et al.* Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, n. 24, p. 127–135, 2009.
- BOTH, D. T. The influence of incubation temperature on sea turtle hatchling quality. **Integrative Zoology**, v. 12, n. 5, p. 352-360, 2017.

BOWEN, B. W.; KARL, S. A. Population genetics and phylogeography of sea turtles. **Molecular Ecology**, v. 2007, p. 4886-4907, 2007.

BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 30 nov. 2020.

BRODERICK, A. C. *et al.* Incubation periods and sex ratios of green turtles: highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. **Marine Ecology Progress Series**, v. 202, p. 273-281, 2000.

BRODERICK, A. C.; GLEN, F.; GODLEY, B. J. G.; HAYS, G. C. Variation in reproductive output of marine turtles. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 288, p. 95-109, 2003.

BRODERICK, A. C.; PATRICIO, A. *Chelonia mydas* (South Atlantic subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species, 2019.

BURNEY, C. M.; MATTISON, C. A.; FISHER, L. E. The Relationship of Loggerhead Nesting Patterns and Moon Phase in Broward County, Florida. **Oceanography Faculty Proceedings, Presentations, Speeches, Lectures**, v. 294, p. 161-164, 1990.

CAMARGO, R.; HARARI, J. Marés. *In*: CASTELLO, J. P; KRUG, L. C. (org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015, p. 226-255.

COSTA, M. B. S. F. **Wave and tidally induced processes on Rocas Atoll: geomorphologic implications and future projections**. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CUTLER, W. B. Lunar and menstrual phase locking. **American Journal of Obstetrics and Gynecology**, v. 137, n. 7, p. 834-9, ago 1980.

DELGADO, M. C. **Comunidade de pequenos mamíferos no Parque Estadual de Ibitipoca**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

FERREIRA, M. B. M. S. **Nesting habitat preferences and nest predation of green turtles (*Chelonia mydas*) in the Bijagós Archipelago, Guinea Bissau**. Dissertação (Mestrado em Ecologia Marinha) - Universidade de Lisboa, 2012a.

FERREIRA, B. P, *et al.* The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. **Coral Reefs**, v. 32, jan./dez. 2012b.

FERREIRA JÚNIOR, P. D. Aspectos ecológicos da determinação sexual em tartarugas. **Acta Amazonica**, v. 29, n.1, p. 139-154, v. 2009.

GASPI, S.; QUINATO, G. A. C.; JÚNIOR MAGALHÃES, C. A. O. O estado do conhecimento nas produções científicas sobre a influência do ciclo lunar nos organismos. **Revista Valore**, v. 4, p. 165-172, 2019.

GIRONDOT, M; FRETEY, J. Leatherback Turtles, *Dermochelys coriacea*, Nesting in French Guiana, 1978-1995. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 2, n.2, p. 2014-208, 1996.

GOMES, M. G. T.; SANTOS, M. R. D.; HENRY, M. Tartarugas marinhas de ocorrência no Brasil: hábitos e aspectos da biologia da reprodução. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 30, n. ½, p. 19-27, jan./jun. 2006.

GROSSMAN, A. **Biologia Reprodutiva de *Chelonia mydas* (Reptilia), na Reserva Biológica do Atol das Rocas**. Dissertação (Mestrado em Zoologia de Vertebrados) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2001.

GROSSMAN, A.; MOREIRA, L. M. P.; BELLINI, C.; ALMEIDA, A. P. Conservação e pesquisa das tartarugas marinhas nas Ilhas Oceânicas de Fernando de Noronha, Atol das Rocas e Trindade, Brasil. *In*: MOHR, L. V; CASTRO, J. W. A; COSTA, P. M. S; ALVES, R. J. V. **Ilhas Oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo – volume II**. Brasília, DF: MMA/Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2009.

HAWKES, L. A. et al. Climate change and marine turtles. **Endangered Species Research**, v. 7, p 134-154, 2009.

HIRTH, H. F. Synopsis of biological data on the green turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758). **USFWS Biological Report**, v. 97, n.1, 1997.

HUGHES, D. A.; RICHARD, J. D. The Nesting of the Pacific Ridley Turtle *Lepidochelys olivacea* on Playa Nancite, Costa Rica. **Marine Biology**, v. 24, p. 97-107, 1974.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). Plano de ação nacional para a conservação das Tartarugas Marinhas. *In*: MARCOVALDI, M. A. A. G., SANTOS, A. S.; SALES, G (org.). **Série Espécies Ameaçadas nº 25**. Brasília, DF: ICMBio, 2011.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume IV - Répteis**. Ed. Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018a.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). **Programa de monitoramento de Tartarugas Marinhas do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos**. Caravelas, BA: 2018b. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/parnaabrolhos/images/stories/pesquisa_monitoramento/Monitoramento_tartarugas/programa_de_monitoramento_de_tartarugas_marinhas_do_pnma.pdf. Acesso em: 04 jun. 2020.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). **Brasil cria quarto novas unidades marinhas**. Brasília, 2018c. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/9509-brasil-cria-quatro-novas-unidades-marinhas>. Acesso em: 15 dez. 2020.

IKEGAMI, T.; TAKEUCHI, Y.; HUR, S.; TAKEMURA, A. Impacts of moonlight on fish reproduction. **Marine Genomics**, v. 14, p. 56 – 66, abril 2014.

IUCN (International Union for Conservation of Nature). **The IUCN Red List of Threatened Species**. Versão 2019-3. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 25 de fev. de 2020.

KIKUCHI, R. K. P. Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial Ocidental, Brasil. *In*: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M.L.C. (eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1999. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio033/sitio033.htm>. Acesso em: 10 out. 2020.

KOT, C.Y.; FUJIOKA, E.; DI MATTEO, A. D.; WALLACE, B.P.; HUTCHINSON, B. J.; CLEARY, J.; HALPIN, P.N.; MAST, R. B. **The State of the World's Sea Turtles Online Database: Data provided by the SWOT Team and hosted on OBIS-SEAMAP**. 2019. Disponível em: <http://seamap.env.duke.edu/swot>. Acesso em: 20 abril 2020.

KRONFELD-SCHOR, N. *et al.* Chronobiology by moonlight. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 280, jun. 2013.

LAW, A., CLOVIS, T., LALSINGH, G.R., DOWNIE, J.R. The influence of lunar, tidal and nocturnal phases on the nesting activity of leatherback (*Dermochelys coriacea*) in Tobago, West Indies. **Marine Turtle Newsletter**, v. 127, p. 12–17, 2010.

LAW, S. P. The regulation of menstrual cycle and its relationship to the moon. **Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica**, v. 65, n. 1, p. 45-48, jan. 1986.

LILLYWHITE, H. B; BRISCHOUX, F. Is it better in the moonlight? Nocturnal activity of insular cottonmouth snakes increases with lunar light levels. **Journal of Zoology**, v. 286, p. 194-199, 2012.

LUTCAVAGE, M. E.; PLOTKIN, P.; WITHERINGTON, B.; LUTZ, P.L. Human impacts on sea turtle survival. *In*: LUTZ, P.L.; MUSICK, J.A. (eds.). **The Biology of Sea Turtles**. Ed. Flórida: CRC Press, 1997. p. 387-409

MANTELATTO, P. M. B. **As Influências da Lua na Terra e o Fenômeno das Marés**. Trabalho de conclusão de curso - Centro De Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

MARCOVALDI, M. A.; MARCOVALDI, G. G. D. Projeto Tartaruga Marinha: Áreas de desova, época de reprodução, técnicas de preservação. **Boletim Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza**, v. 22, p. 95-104, 1987.

MARQUES, N.; MENNA-BARRETO, L. Ritmos biológicos. *In*: YANAMOTO, M. E.; VOLPATO, G. L. (org.). **Comportamento Animal**. Ed. Da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, 2007. p. 160 – 190.

MAZARIS, A. D. *et al.* Sea surface temperature variations in core foraging grounds drive nesting trends and phenology of loggerhead turtles in the Mediterranean Sea. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 379, p. 23-27, 2009.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas**. Brasília, DF, 2007.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos do Brasil**. Brasília, DF: MMA/SBF/GBA, 2010.

NAKAMURA, M. F. **Fase lunar e comportamento de nidificação de *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus, 1766) no Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

NAKAMURA, M. F. *et al.* Lunar phases and hawksbill sea turtle nesting. **Journal of Ethology**, v. 37, p. 301-316, 2019.

NASA. **Giovanni, versão 4.34**. 2020. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

NISHIZAWA, H.; TAKUJI, N.; YASUDA, T.; OKUYAMA, J.; ARAI, N.; KOBAYASHI, M. Decision tree classification of behaviors in the nesting process of green turtles (*Chelonia mydas*) from tri-axial acceleration data. **Journal of Ethology**, v. 31, n. 3, p. 315-322, jul. 2013.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 276-292, 2016.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Marés**. Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/fordif/node3.htm>. Acesso em: 12 outubro 2020.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Fases da lua**. Rio Grande do Sul, 2021. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/lua/lua.htm>. Acesso em: 20 janeiro 2021.

OLIVEIRA, R. L. **Esclerocronologia, geoquímica e registro climático em coral *Siderastrea stellata* do Atol das Rocas, RN, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

OLIVEIRA, G. C. S. *et al.* Later Nesting by Hawksbill Turtle following Sea Surface Warming. **Journal of Herpetology**, v. 54, n. 3, p. 371-377, 2020.

PATRICIO, A. R. *et al.* Nest site selection repeatability of green turtles, *Chelonia mydas*, and consequences for offspring. **Animal Behaviour**, v. 139, p. 91-102, 2018.

PEREIRA, N. S.; MANSO, V. A. V.; SILVA, A. M. C.; SILVA, M. B. Mapeamento Geomorfológico e Morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 3, p. 331-345, 2010.

PIKE, D. A. Environmental correlates of nesting in loggerhead turtles, *Caretta caretta*. **Animal Behaviour**, v. 76, p. 603-610, 2008.

PIKE, D. A. Do green turtles modify their nesting seasons in response to environmental temperatures?. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 8, n. 1, p. 43-47, 2009.

POLOCZANSKA, E. S.; LIMPUS C. J.; HAYS, G. C. Vulnerability of marine turtles to climate change. *In: SIMS, D. W. (ed). **Advances in Marine Biology***. Burlington: Academic Press, 2009. v. 56. p. 151-211.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 4.0.2. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

SCHULZ-NETO, A. Aves marinhas do Atol das Rocas. *In: BRANCO, J. O. (org.). **Aves marinhas e insulares brasileiras: bioecologia e conservação***. Itajaí, SC: Editora da UNIVALI, 2004. p. 169-192.

SILVA, M. B.; GODOY, T. Tartarugas marinhas na Reserva Biológica do Atol das Rocas. *In: CORREIA, J. M. S.; SANTOS, E. M.; MOURA, G. J. B (org.). **Conservação de Tartarugas Marinhas no Nordeste do Brasil: Pesquisas, Desafios e Perspectivas***. Recife, PE: Editora Universitária da UFRPE, 2016. p. 115-138.

SOARES, M. O. *et al.* Gestão ambiental de ecossistemas insulares: O caso da reserva biológica do atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 3, p. 347-360, 2010.

TAKEMURA, A.; RAHMANN, M. S.; PARK, Y. J. External and internal controls of lunar-related reproductive rhythms in fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 76, p. 7–26, 2010.

TRINDADE, J. C. C. N. **Factores que influenciaram a escolha da praia de nidificação por tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) em Vamizi, Moçambique, entre 2003 e 2012**. Dissertação (Mestrado em Biologia da Conservação) – Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa, 2012.

WASSERSTEIN, R. L.; SCHIRM, A. L.; LAZAR, N. A. Moving to a World Beyond “ $p < 0.05$ ”. **The American Statistician**, v. 73, n. 1, p. 1-19, 2019.

WEISHAMPEL J. F.; BAGLEY D. A.; EHRHART L. M., WEISHAMPEL A. C. Nesting phenologies of two sympatric sea turtle species related to sea surface temperatures. **Endangered Species Research**, v. 12, p. 41-47, june 2010.

ZIMECK, M. The lunar cycle: effects on human and animal behavior and physiology. **Postepy Higieny i Medycyny Doswiadczalnej**, v. 60, p. 1-7, jan. 2006.