



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL**

**MIDIÁ DA SILVA RODRIGUES**

**ECOLOGIA TRÓFICA, ISOTÓPICA E DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL  
DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E TÓXICOS EM TECIDOS DE *Chelonia mydas* (Linnaeus,  
1758) NO LITORAL DO NORDESTE DO BRASIL**

**RECIFE**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL**

**MIDIÁ DA SILVA RODRIGUES**

**ECOLOGIA TRÓFICA, ISOTÓPICA E DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL  
DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E TÓXICOS EM TECIDOS DE *Chelonia mydas* (Linnaeus,  
1758) NO LITORAL DO NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de pós graduação  
em Ciência Animal Tropical como requisito  
parcial para a obtenção do título de Doutor em  
Ciência Animal Tropical.

Orientador: Dr. Geraldo Jorge Barbosa de Moura  
(UFRPE)

Coorientador: Dr. Múcio Luiz Banja Fernandes  
(UPE)

**RECIFE**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R696e Rodrigues, Midiã da Silva  
Ecologia trófica, isotópica e determinação da composição mineral de elementos essenciais e tóxicos em tecidos de *Chelonia mydas* (linnaeus, 1758) no litoral do Nordeste do Brasil / Midiã da Silva Rodrigues. - 2020.  
111 f. : il.
- Orientador: Geraldo Jorge Barbosa de Moura.  
Coorientador: Mucio Luiz Banja Fernandes.  
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, Recife, 2020.
1. dieta. 2. isótopos estáveis. 3. ecotoxicologia. 4. metais. 5. conservação. I. Moura, Geraldo Jorge Barbosa de, orient. II. Fernandes, Mucio Luiz Banja, coorient. III. Título

CDD 636.089

---

**ECOLOGIA TRÓFICA, ISOTÓPICA E DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERAL DE ELEMENTOS ESSENCIAIS E TÓXICOS EM TECIDOS DE *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) NO LITORAL DO NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal Tropical, outorgado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, à disposição na Biblioteca Central desta universidade.

Tese elaborada por

---

Midiã da Silva Rodrigues

Aprovada em 27 de Fevereiro de 2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Geraldo Jorge Barbosa de Moura (Orientador)

Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria José de Filgueira Gomes (Membro Titular)

Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jaqueline Bianque de Oliveira (Membro Titular)

Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Almeida Gavilan (Membro Titular)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silmara Rossi (Membro Titular)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN

Á minha família, inteiramente a eles. Em especial aos meus sobrinhos, Bernardo e Leonardo; a luta de vocês têm me mostrado que não somos poupados a sofrimentos, mas nos é dada a possibilidade de reagir e continuar a avançar. Vocês ainda não entendem, mas amo vocês. E sua lâmpada não se apagará de noite.

## AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada, ao Pai Maior, por todas as vitórias, dificuldades, lutas... Nele confio, nele espero e nele conquisto. O que seria de mim sem a fé que nele deposito?

Escrevo feliz meus agradecimentos e estou imensamente agradecida a todos que de alguma forma andaram comigo durante essa caminhada. Este trabalho não seria possível sem a participação de várias pessoas. Pessoas que contribuíram diretamente, na leitura do manuscrito, na coleta e análise dos dados, ou indiretamente, cedendo a infraestrutura necessária ou até mesmo acompanhando de longe e emanando energia positiva para que tudo desse certo. Antes de citar o nome de algumas dessas pessoas, gostaria de esclarecer que a participação de todos, mesmo que eu esqueça de colocar aqui, foi igualmente importante e conta com minha sincera gratidão.

Aos meu pais, vocês se sacrificaram, se dedicaram, abdicaram de tempo e de muitos projetos pessoais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e de ter uma boa formação profissional, mas também pessoal. Eu devo tudo que sou a vocês, e se sinto orgulho de mim e do lugar onde cheguei, é porque sei que vocês vieram segurando a minha mão. Amo vocês incondicionalmente.

Às minhas irmãs, Naifi e Taynara, por serem minhas melhores amigas. Naifi, você me deu os 4 sobrinhos mais lindos desse mundo! Tia Tete ama os 4, apesar de não ser tão presente como deveria, às vezes. Taynara, você é a pessoa mais doce que já conheci, apesar do frio na barriga que sinto quando você me chama de “irmã”. Amo vocês pra sempre! Vocês são a melhor parte de mim.

Ao meu esposo, Igor Fagundes, obrigada por todo encorajamento e incentivo. Todos os mapas, slides, tabelas e em tudo mais que você me ajudou, por todo esse tempo. A você todo o meu amor, todos os meus sorrisos, todas as minhas lágrimas, todo meu coração e toda a plenitude desta vitória.

Ao meu orientador, professor Geraldo Jorge, pela paciência, incentivo e dedicação. Obrigada por ter estado comigo nessa jornada e por ter acreditado em mim. Obrigada por tudo!

Ao meu coorientador, mas, antes de tudo, amigo, Múcio Banja, maior incentivador da minha vida acadêmica. Se hoje estou concluindo meu doutorado, pode ter certeza que tem muito de você, muito mesmo. Cada palavra sua e cada momento em que você me apoiou, mesmo sabendo que eu poderia ter feito mais e melhor, foram importantíssimos para que eu chegasse até aqui. Você foi determinante para este resultado. Muito obrigada!

À minha amiga Cristina Farias, a melhor pessoa que poderia ter cruzado meu caminho, durante esses 4 anos. Cris, obrigada por tanto ensinamento. Se hoje eu sei como tirar sangue e cortar unha de cágado, fazer necropsias em testudines, digerir amostras para análises de minerais, entre tantos outros itens, é por sua causa. Mas, o melhor de tudo, é que eu sei que posso contar contigo; você tornou a risada mais alta e a conversa mais divertida. Você é a veterinária mais bióloga que conheci. Obrigada, sorte a minha ter encontrado você. Sua amizade, parceria e força me mantiveram firme e sã!

Às amigas Janaína e Nayara, que me receberam de braço e coração abertos, durante minha passagem pelo Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP. Jana, obrigada por ter sido tão generosa comigo, obrigada por me receber na sua casa como se me conhecesse há séculos e obrigada por todas as mensagens que você respondeu quando eu estava angustiada com a análise dos meus dados, imagino que você esteja feliz por eu ter terminado. Rs. Nay, nossa alma nordestina se abraçou e andou de bicicleta pelo campus mais bonito que já vi. Meninas, obrigada por tanto em tão pouco tempo! Agradeço também ao professor Prof. Plínio Camargo, que analisou minhas amostras e, aproveito para estender meus agradecimentos a todos do Laboratório de Ecologia Isotópica, que foram tão amáveis e solícitos comigo. Ahh, professor Zebu, obrigada pelo café da manhã no laboratório e pela melhor macarronada que já comi. O laboratório de vocês, também é um lar... Como isso é massa!

Às minhas estagiárias que viraram amigas, Thaysa e Emily. Agradeço por vocês terem estado comigo em todos os momentos. Com certeza, esse caminho foi muito melhor, porque vocês estavam presentes. Obrigada pela dedicação, pelo carinho e por me defenderem com “unhas e dentes”. A gente se entende só com um olhar. Acredito muito no potencial de vocês duas. Sigam em frente!

A todos os estagiários do curso de Biologia e de Veterinária que estiveram presentes nas necropsias mais divertidas, ao som do John Mayer, pelos corredores da Rural. Obrigada a cada um que topou sentir cheiro ruim, para poder ter um aprendizado muito maior, no fim. Vocês, com certeza, fizeram essa jornada mais divertida. Obrigada!

A todos os profissionais que ajudaram na identificação dos itens alimentares: Fernanda Duarte Amaral “UAU”, Teodoro Vaske Júnior, Ulisses Santos Pinheiro e, em especial à professora Adilma Cocentino, por toda paciência, carinho e dedicação comigo e com as amostras de conteúdo estomacal cheio de macroalgas. A senhora é demais! Muito obrigada!

Aos meus amigos do LEHP, por toda ajuda, pelas risadas e momentos compartilhados Paulo Mateus, Marco, Vitor, Nagô, Elizandra, Márcio, Stepheson, Marcela, Elisangela, Léo, Adilson. “Eu não conheço metade de vocês como gostaria e gosto de vocês a metade do que vocês merecem.”

Aos amigos do laboratório de Doenças Metabólicas e Nutricionais do Departamento de Medicina Veterinária. Obrigada por terem me recebido tão bem, por toda a risada e por toda ajuda durante as análises no Cenapesq. Vocês foram incríveis.

Ao Iago, por todo tempo desprendido nas nossas (minha, da Cris e de um monte de gente) análises dos minerais. Se você não existisse, esse trabalho não teria sido possível, nem de longe. Obrigada por toda sua dedicação, sem nem mesmo me conhecer. Sua participação foi decisiva para este resultado.

Aos professores Dra. Jaqueline Bianque, Dr. Pierre Castro e ao Dr. Thiago Marques, membros de minha banca de qualificação. Obrigada pelas colocações e sugestões que serão incorporadas neste trabalho. Jaque, obrigada por ter me feito olhar a parasitologia por outro ângulo e pelas palavras que acalentaram meu coração, no dia da qualificação. Agradeço ao Professor Pierre Castro, por tanta contribuição. Este estudo acerca dos elementos mineirais, só foi possível, graças ao seu incentivo e participação. Muito obrigada! Professor Thiago, agradeço pela oportunidade de ter realizado minhas análises isotópicas e por ter me colocado em contato com pessoas que nunca mais esquecerei. Meu muito obrigada também, por cada email e mensagem respondidos com tanta paciência.

Aos professores componentes da banca de defesa deste trabalho, Dr<sup>a</sup>. Jaqueline Bianque, Dr<sup>a</sup>. Maria José de Filgueira Gomes, Dr<sup>a</sup>. Simone Almeida Gavilan, Dr Thiago Simon Marques, Dr<sup>a</sup> Maria Adélia Oliveira e Dr<sup>a</sup> Silmara Rossi. Obrigada por terem aceitado participar deste momento importante em minha formação.

Este trabalho não seria possível sem a ONG Ecoassociados. Agradeço pela ajuda imprescindível na coleta das amostras. Vocês foram essenciais para que este trabalho acontecesse. Aproveito para parabenizar pelo trabalho feito com tanto zelo, no sentido da conservação destes animais, tão incríveis e ameaçados.

E a todos, que de modo direto e/ou indireto, contribuíram para a realização deste estudo.

“Graças a Deus por nos colocar em situações nas  
quais somos obrigados a lembrar que precisamos

Dele e só Dele”

(Josemar Bessa)

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar a ecologia trófica e a concentração e distribuição de elementos essenciais e não essenciais em diferentes tecidos das *Chelonia mydas* que utilizam a costa pernambucana como área de alimentação. Esta tese está composta por três capítulos: (I) Contribuição para o estudo da dieta da tartaruga verde; (II) Uso de isótopos de C e N para investigar a ecologia trófica; (III) Composição de elementos essenciais e não essenciais em diferentes amostras biológicas. A dieta foi acessada através de análises de conteúdo estomacal e da composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) da epiderme, unha, músculo peitoral, osso periférico do casco e fígado de 43 animais encontrados mortos em 8 praias do litoral Sul. Para a determinação dos elementos, foram amostras de músculo, fígado, rim e osso periférico do casco. Os resultados do conteúdo estomacal apontaram para uma dieta herbívora, na qual as macroalgas vermelhas obtiveram as maiores frequências de ocorrência. O itens *Palythoa caribaeorum*, *Geodia giberosa* e *Stelletta* sp., foram registrados, pela primeira vez, como alimento de tartarugas verdes, para a região Nordeste do Brasil. As análises de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  mostrou maior assimilação de itens alimentares de origem vegetal (macroalgas). Foram quantificados os elementos Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn. A acumulação dos elementos, seguiu a seguinte ordem: rim > fígado > casco > músculo. Correlação positiva foi encontrada entre Cu e a presença de fibropapilomas no casco. A exposição elevada a contaminantes em áreas costeiras da região, pode representar riscos à saúde dessa população.

**Palavras-chave:** alimentação; herbivoria; isótopos estáveis; dieta; contaminação; ecotoxicologia; metais.

## ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the trophic ecology and the concentration and distribution of essential and non-essential elements in different tissues of *Chelonia mydas* found along the coast of Pernambuco, Brazil. This thesis consists of three chapters: (I) Contribution to the study of the green turtle diet; (II) Use of C and N isotopes to investigate trophic ecology; and (III) Composition of essential and non-essential elements in different biological samples. The diet was assessed through analysis of stomach contents and isotopic composition ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) of the epidermis, claw, pectoral muscle, peripheral bone and liver of 43 animals found dead on 8 beaches along the southern coast. To ascertain the presence of elements, samples of muscle, liver, kidney and peripheral bone. The results of the stomach contents pointed to a herbivorous diet, in which red macroalgae obtained the highest frequency of occurrence. The species *Palythoa caribaeorum*, *Geodia giberosa* and *Stelletta sp.* were found for the first time as food items of green turtles in the Northeast region of Brazil. The analysis of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  showed greater assimilation of food items of plant origin (macroalgae). The elements Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn were quantified. The accumulation of the elements was in the following order: kidney > liver > shell > muscle. Positive correlation was found between Cu and the presence of fibropapilomas in the shell. The high exposure to contaminants in coastal areas of the region represents a risk to the health of this population.

**Keywords:** food; herbivory; stable isotopes; diet; contamination; pollution; ecotoxicology; metals.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

**FIGURE 1.** State of Pernambuco. Stomachs of stranded green turtles were collected along the south coast.....43

**FIGURE 2.** Equation to calculate the quantitative representativeness of the food items.....45

**FIGURE 3.** Equation below was used to determine the sample correlation coefficient, to confirm the positive correlation index between two parameter.....45

**FIGURE 4.** Scatter diagram for the correlation between animal size and its diet diversification.....48

**FIGURE 5.** Scatter diagram for the correlation between the weight of the animal and its diversification of diet.....48

### CAPÍTULO 2

**FIGURA 1** - A localização das áreas de amostragem de tartarugas verdes, Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste, Brasil.....62

**FIGURA 2** - Resultados do modelo de mistura Bayesiano (fator de discriminação  $0.17 \pm 0.03\%$  for  $\delta^{13}\text{C}$  e  $2.8 \pm 0.1\%$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ) mostrando o espaço de mistura trófica ocupado pelos potenciais itens alimentares. Cada ponto verde representa um valor de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  associado a uma tartaruga individualmente. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  das presas foram ajustados para a discriminação entre dieta e tecidos. Todas as 42 tartarugas foram incluídas nestas figuras para ajudar a comparação visual dos seus valores  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  com os seus potenciais itens alimentares.....70

### CAPÍTULO 3

**FIGURA 1.** Mapa dos locais de amostragem das populações de tartarugas amostradas ao longo da Costa Sul de Pernambuco, Brasil. Fonte: Rodrigues et al. (2020).....87

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

**TABLE 1.** Frequency of occurrence of prey groups recovered from stomachs analysed from south coast of Pernambuco state. This frequency is the number of digestive tracts in which the item was found.....46

**TABLE 2.** Origin of invertebrate items ingested by stranded green turtles analysed. CCL = curved carapace length; CCW = curved carapace width.....47

### CAPÍTULO 2

**TABELA 1 -** Média e desvio padrão dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  nos diferentes tecidos dos animais encalhados mortos no litoral sul de Pernambuco. As letras a, b, c, mostram as diferenças nas composições de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre os tecidos. Letras diferentes significam que os tecidos apresentaram diferenças significativas entre si.....66

**TABELA 2 -** Média e desvio padrão dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  nos diferentes potenciais itens alimentares coletados ao longo da costa sul de Pernambuco. A dieta total refere-se aos valores de todos os itens alimentares analisados.....67

**TABELA 3.** Proporções dos itens alimentares assimilados na epiderme dos indivíduos de *Chelonia mydas*. A soma dos itens é igual a 1 (um), representando 100% dos itens assimilados na epiderme dos animais.....69

**TABELA 4.** Índices de especialização alimentar, ( $\text{SEA}_i/\text{SEA}_p$ ) das 42 *C.mydas* analisadas. As métricas foram calculadas com base nas áreas de elipse padrão.  $\text{SEA}_i$  - média da área da elipse de uma tartaruga individual;  $\text{SEA}_p$ - área total da área de elipse da população;  $\text{SEA}_i/\text{SEA}_p$ - média da especialização alimentar baseada na proporção da área da elipse padrão da população.....69

### CAPÍTULO 3

**TABELA 1.** Resultados de teor de carbono residual nos tipos de amostras biológicas de *Chelonia mydas* digeridas.....92

**TABELA 2.** Limite de quantificação do método de acordo com o tipo de amostras e os elementos determinados.....92

**TABELA 3.** Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em  $\text{mg kg}^{-1}$  de massa seca) no casco e músculo de *C. mydas* juvenis do Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.....94

**TABELA 4.** Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em  $\text{mg kg}^{-1}$  /massa seca) no fígado e rim de *C. mydas* juvenis do Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.....95

**TABELA 5.** Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em  $\text{mg kg}^{-1}$  de massa seca) no casco, músculo, fígado e rim de *C. mydas* juvenis afetadas pela fibropapilomatose, no Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.....96

## LISTA DE ABREVIATURAS

SISBIO - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

CCC - Comprimento curvilíneo da carapaça

LCC - Largura curvilínea da carapaça

ICP-OES - Espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente

FP - Fibropapilomatose

CF-IRMS - Continuous Flow Isotope Ratio Mass Spectrometry

MMA - Ministério do Meio Ambiente

C - Carbono

N - Nitrogênio

IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza

AIE - Análise de isótopos estáveis

cm - Centímetros

PDB - Peedee Belemnite

AIR- Ar atmosférico

MΩ cm - Milli-Q, Millipore

ml - Mililitro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 TARTARUGA VERDE - <i>Chelonia mydas</i> (LINNAEUS, 1758).....	19
2.2 ECOLOGIA ALIMENTAR DE <i>Chelonia mydas</i> .....	21
2.3 ISÓTOPOS ESTÁVEIS E SUA APLICAÇÃO EM ESTUDOS ALIMENTARES...	22
2.4 ECOTOXICOLOGIA EM AMBIENTES MARINHOS.....	26
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>40</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	40
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	40
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>41</b>
Introduction.....	42
Material And Methods.....	43
Results. ....	45
Discussion. ....	48
Acknowledgements.....	53
References.....	53
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>58</b>
INTRODUÇÃO.....	59
MATERIAL E MÉTODOS.....	61
METODOLOGIA AMOSTRAL.....	62
METODOLOGIA ANALÍTICA.....	64
RESULTADOS.....	66
DISCUSSÃO.....	69
CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	76
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>84</b>
INTRODUÇÃO.....	85
MATERIAL E MÉTODOS.....	86
ANÁLISE DOS ELEMENTOS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS.....	88
<b>Análise Estatística.....</b>	<b>91</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>91</b>

DISCUSSÃO.....	97
CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS.....	203
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas marinhos estão expostos de maneira extrema, a numerosos distúrbios associados ao rápido desenvolvimento de atividades antrópicas industriais e urbanas, que causam impactos negativos potenciais, decorrentes das fontes agudas de poluição desenfreada (ROMBOUITS *et al.*, 2013). Estes impactos podem afetar direta ou indiretamente os componentes biológicos e as condições ambientais destes ambientes (HALPERN *et al.*, 2007).

As tartarugas marinhas são espécies conhecidas por enfrentarem graves problemas para a realização de seus processos naturais de desova, deslocamento e alimentação. Estes animais desempenham significativas funções ecológicas; fonte de alimentos para predadores marinhos e terrestres, importantes consumidores de organismos marinhos, servindo de substrato para outras espécies; são bioturbadores, afetando a estrutura e o funcionamento dos habitats de forrageamento, como, por exemplo, recifes de coral, bancos de algas e grama marinha, e fundos de substrato arenoso (LUTZ, MUSICK, 1996).

Todas as cinco espécies de tartarugas marinhas que ocorrem no Brasil, aparecem na lista de espécies ameaçadas da International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2018), bem como na lista oficial de espécies da fauna brasileira ameaçada de extinção (MMA, 2018).

A espécie *Chelonia mydas*, conhecida como tartaruga verde, encontra-se amplamente distribuída pelas regiões tropicais e subtropicais, apresentando hábitos costeiros, sendo raramente encontrada em águas temperadas (MÁRQUEZ, 1990). Em mares brasileiros, a tartaruga verde utiliza zonas rasas para se alimentar, sendo frequentemente encontrada em áreas de alimentação estuarinas e costeiras, enquanto prefere as zonas mais profundas, para descansar (REISSER *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2011).

Ao migrar das áreas oceânicas para áreas costeiras e estuarinas, nos estágios tardios juvenis até a idade adulta, a tartaruga verde fica exposta a vários impactos potenciais, que são enfrentados simultaneamente: diferenças sazonais e disponibilidade de alimentos, mudanças fisiológicas relacionadas aos seus hábitos alimentares (onívoro para herbívoro) e pressões negativas causadas pelas atividades antrópicas, bem como contato com patógenos (FLINT, 2013; SANTOS *et al.*, 2015).

Em locais poluídos, os elementos tóxicos são tipicamente enriquecidos na água e no sedimento circundantes, bem como nas gramas marinhas e macroalgas (TALAVERA-SAENZ *et al.*, 2007) que compõem a maior parte da dieta das tartarugas verdes neríticas. Estes animais

apresentam alta afinidade para áreas de forrageamento relativamente pequenas (HAZEL *et al.*, 2013; SHIMADA *et al.*, 2016), assim, ao longo de várias décadas (CHALOUPKA *et al.*, 2008), as tartarugas marinhas costeiras residentes podem sofrer exposição a longo prazo em áreas contaminadas. Também existem evidências de que exposição a certos metais tóxicos, está envolvida na etiologia e no desenvolvimento de doenças, como a fibropapilomatose (Silva *et al.*, 2016).

Revela-se preocupação com a elucidação da qualidade dos itens consumidos por *C. mydas*, visto que as tartarugas marinhas são de crescente interesse como potenciais bioindicadores da poluição por elementos tóxicos nos ecossistemas marinhos. São vertebrados de vida longa que podem bioacumular contaminantes orgânicos e inorgânicos, principalmente através da alimentação, bem como por meio do sedimento e da água (WALLNER-KERSANACH; BIANCHINI, 2008; ANDREANI *et al.*, 2008).

A proposição de amostrar e analisar a dieta das tartarugas marinhas permite que os dados obtidos forneçam informações sobre a utilização do habitat, fisiologia digestiva e energética, contaminantes da dieta, ecologia trófica, endoparasitas, bem como a saúde de uma tartaruga individual (FORBES, 1999). A alimentação é provavelmente, a principal fonte de exposição a elementos contaminantes de vertebrados marinhos, incluindo as tartarugas (TALAVERA-SAENZ *et al.*, 2007; ANDREANI *et al.* 2008; GRILLITSCH; SCHIESARI 2010).

Entendendo que as informações acerca da biologia alimentar e requisitos de habitat de *Chelonia mydas*, bem como dos contaminantes de sua dieta, continuam pouco compreendidos (BJORN DAL, 1997; SANTOS *et al.*, 2011), principalmente para a região Nordeste do Brasil, torna-se indispensável investigar sua ecologia trófica e a composição mineral de seus tecidos, contribuindo assim no gerenciamento de ações relacionadas à conservação da espécie.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 TARTARUGA VERDE - *Chelonia mydas* (LINNAEUS, 1758)

A espécie *Chelonia mydas* (LINNAEUS, 1758), tartaruga verde, apresenta-se como um grande testudine, que pode atingir 120 cm de comprimento da carapaça e pesar, aproximadamente 230 kg (PRITCHARD; MORTIMER, 1999). Esta espécie é tipicamente neotônica e solitária, podendo de maneira ocasional, formar agregações em áreas de alimentação (MÁRQUEZ, 1990).

É a mais tropical das tartarugas marinhas, juntamente com a tartaruga de pente, *Eretmochelys imbricata*, encontrando-se amplamente distribuída, podendo ser localizada próxima de regiões costeiras e ilhas, em águas tropicais e subtropicais de todo o mundo (MÁRQUEZ, 1990; SEMINOFF *et al.*, 2002). Esta característica a torna a espécie de tartaruga mais comumente encontrada em áreas de alimentação no litoral brasileiro (SANCHES; BELLINI, 1999; GROSSMAN *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2011; GALLO *et al.*, 2006).

No Brasil essa espécie desova, quase que exclusivamente, nas ilhas oceânicas, como Fernando de Noronha, Trindade e Atol das Rocas (MARCOVALDI; MARCOVALDI, 1999; BELLINI *et al.*, 2013), podendo ocorrer desovas mais esporádicas em outros locais (GALLO *et al.*, 2006), como litoral norte do estado da Bahia, Espírito Santo, Sergipe, Rio Grande do Norte (ALMEIDA *et al.*, 2011) e litoral Sul de Pernambuco (MOURA *et al.*, 2011).

Após a eclosão de seus ovos, os juvenis de *C. mydas*, entre 3 a 5 anos, entram em estágio oceânico e forrageiam invertebrados do nêuston, bem como pequenos animais bênticos (SENKO *et al.*, 2010).

A partir do momento que começam a frequentar locais costeiros para forragear, sua dieta passa do onívoro de uma tartaruga pelágica, para uma preferencialmente herbívora, alimentando-se quase que exclusivamente de algas bentônicas e gramíneas marinhas, ao atingirem a maturidade sexual (BOLTEN, 2003; CARDONA *et al.*, 2010). É a única espécie de testudine marinho a apresentar este comportamento (SAZIMA; SAZIMA, 1983; BJORN DAL, 1997; FIDELIS *et al.*, 2005; FUENTES *et al.*, 2006; LÓPEZ-MENDILAHARSU, 2008; SANTOS *et al.*, 2011; REISSIER *et al.*, 2013)

Devido às pressões antrópicas que estes animais vêm sofrendo, este testudine encontra-se constantemente na lista de espécies ameaçadas da União Internacional para a Conservação da

Natureza (SEMINOFF et al., 2003). As ações antrópicas humanas são o maior impacto para as tartarugas marinhas. A captura incidental nas decorrentes das atividades pesqueiras (*bycatch*) desponta como a maior ameaça para a sobrevivência das tartarugas (PECKHAM et al. 2007; HAMANN et al. 2010). Nesta direção, a IUCN destaca que uma das principais ameaças à espécie, é a mortalidade associada ao emaranhamento na pesca marinha; as técnicas de pesca responsáveis incluem rede de deriva, arrasto de camarão, pesca com dinamite e forro longo.

No Brasil, *C. mydas* apresenta o maior número de indivíduos juvenis mortos encalhados ao longo da costa, principalmente em decorrência da atividade pesqueira (ALMEIDA et al., 2011; MONTEIRO et al., 2016). Para deixar o cenário de conservação mais crítico, as espécies de tartarugas marinhas apresentam uma maturidade tardia, o que acarreta aumento do risco de morte antes do início de sua idade reprodutiva (HEPPEL et al., 2003). A maturidade sexual em *C. mydas* é alcançada a partir do momento em que os indivíduos atingem cerca de 1 m em LCC (largura curvilínea da carapaça) (HEPPELL et al., 2003).

Nesse sentido, destaca-se ainda, a existência de doenças como a fibropapilomatose, caracterizada pela presença de tumores cutâneos e/ou viscerais, que atingem principalmente juvenis de *C. mydas*, em áreas costeiras tropicais de todo o mundo (HERBST, 1994; GREENBLATT et al., 2005), podendo comprometer a sua alimentação, hidrodinâmica e mobilidade (ADNYANA et al., 1997).

Estes fatos são agravados quando associados à poluição marinha, que pode levar um indivíduo à morte por meio da ingestão de resíduos sólidos ou pelo seu emaranhamento nos mesmos, ou quando nas suas rotas migratórias estão expostos a vários poluentes, incluindo elementos que apresentam toxicidade ao se bioacumularem nos organismos (BJORNDAL; BOLTEN; LAGUEUX, 1994; BUGONI et al., 2001; TOURINHO et al., 2010; AL-MUSHARAFI et al., 2015).

Deste modo e sabendo que a região Nordeste carece de informações e estudos acerca do uso do habitat e ecologia alimentar de tartarugas verdes, uma vez que os esforços maiores estão concentrados nos eventos reprodutivos desta e das outras espécies, torna-se imperioso o conhecimento de sua biologia alimentar, bem como seus requerimentos nas áreas de alimentação, para a implantação de ações locais e direcionadas aos problemas relacionados aos aspectos globais da conservação da espécie.

## 2.2 ECOLOGIA ALIMENTAR DE *Chelonia mydas*

Esta espécie utiliza as áreas mais rasas para alimentação, principalmente no período diurno (Sazima; Sazima, 1983; Reissier, 2013). No estudo de ecologia comportamental de forrageamento de *C. mydas*, Sazima e Sazima (1983), destacaram que os animais, ao pastejar, inspecionam os locais de alimentação para escolha dos itens a serem consumidos, caracterizando assim, uma certa seletividade. Essa seletividade no consumo, já havia sido mencionada por BJORN DAL (1979), (1980), MORTIMER, (1981), BRAND-GARDNER et al., (1999), LÓPEZ-MENDILAHARSU et al. (2008) e REISSIER *et al.* (2013).

Desta forma, acredita-se que este fato, pode estar ligado não apenas à composição calorífica, mas também ao valor nutricional do alimento e a palatabilidade (BJORN DAL, 1980; BRAND-GARDNER et al., 1999). Nesta direção, Seminoff *et al.* (2002), ao estudarem a dieta de *C. mydas* do Golfo da Califórnia, encontraram duas espécies de algas pardas que, apesar de serem abundantes no local analisado, eram evitadas pelas tartarugas verdes, em decorrência de sua indigestibilidade.

Reissier *et al.* (2013), ao analisar a ecologia trófica das tartarugas no sul do Brasil, endossaram o comportamento destacado por Sazima e Sazima (1983), em que os indivíduos, claramente, inspecionam o ambiente alimentar e selecionam os alimentos, ao forragearem. Nesta direção de seletividade alimentar, López-Mendilaharsu *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2011) também discutiram acerca da indigestibilidade de certas algas, como um fator importante na composição da dieta desta espécie.

Ferreira *et al.* (2006), entretanto, consideram que devido ao reduzido número de indivíduos utilizados nestes estudos, inclusive o seu, pode ser muito pouco para concluir definições acerca da seletividade alimentar destes animais.

Referindo-se à variedade de habitats que esta espécie pode forragear, Limpus e Limpus (2000), ao observarem seu comportamento alimentar na Austrália, encontraram organismos desta espécie em locais de baías, consumindo folhas e frutos de mangue (*Avicennia marina*), sendo corroborado com os resultados obtidos em Baja Califórnia – EUA, onde foram encontradas animais alimentando-se de frutos de mangue preto, *Avicennia germinans* (López-Mendilaharsu *et al.*, 2005). Prior *et al.* (2016) também destacaram folhas de mangue (*Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina* e *Aegicera corniculatum*) como potenciais fontes alimentares para a espécie.

Acrescenta-se que a dieta dos indivíduos juvenis e sub-adultos pode conter, também, a presença de animais (geralmente invertebrados), podendo ser ocasional, com ingestão de material animal aderido às algas e grammas marinhas (SEMINOFF *et al.*, 2002). Ainda neste tema, pode-se supor que, estes materiais complementem a dieta herbívora (Seminoff *et al.*, 2002; rodrigues *et al.*, 2019), favorecendo a obtenção de vitaminas, minerais e aminoácidos essenciais para as tartarugas (Bjorndal, 1990; Hirth *et al.*, 1992).

Para o Brasil, alguns estudos de dieta são reportados, como Ferreira (1968) para o estado do Ceará, Nordeste do Brasil, com a dieta com predomínio de algas, e grama marinha como item secundário. Rodrigues *et al.* (2019), ao analisarem os conteúdos estomacais de *C. mydas* no litoral Sul de Pernambuco, encontram as macrolgas vermelhas, principalmente da Ordem Gelidiales, como principal componente da dieta destas tartarugas. Para o Sudeste do Brasil, em Ubatuba, Sazima e Sazima (1983) concluíram também que as algas são o principal alimento da tartaruga-verde, ao passo que Bugoni *et al.* (2003) registraram para indivíduos juvenis, para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil, uma frequência maior de moluscos, seguido da grama terrestre *Luziola peruviana* e a alga *Ulva* sp.

Em estudos mais recentes, Santos *et al.* (2011) e Awabdi (2013), também confirmaram o perfil herbívoro da espécie, registrando uma maior frequência de algas nos conteúdos digestivos, analisados para o Espírito Santo e Rio de Janeiro, Sudeste do Brasil.

Em estudo realizado por Guebert-Bartholo *et al.* (2011), no Paraná, Sul do Brasil, também foi revelada a predominância da herbivoria, entretanto a fanérogma *Halodule wrightii*, apresentou maiores valores de volume e importância, nos conteúdos gastrointestinais dos animais encalhados.

Assim, sabendo que as tartarugas verdes apresentam um importante papel ecológico na teia alimentar (Bjorndal, 1997), enfatiza-se assim, a necessidade de pesquisas que identifiquem e avaliem os itens alimentares e os possíveis ambientes de forrageamento da espécie, para a melhor elaboração de planos e medidas para sua conservação.

### 2.3 ISÓTOPOS ESTÁVEIS E SUA APLICAÇÃO EM ESTUDOS ALIMENTARES

Os isótopos são átomos do mesmo elemento químico, que possuem o mesmo número de prótons, entretanto, diferem em seu número de nêutrons, apresentando diferentes massas

(KENNEDY, KROUSE, 1990). O termo isótopo vem do grego ISO (mesmo ou igual) e TOPOS (lugar), fazendo alusão ao fato de ocuparem o mesmo lugar na tabela periódica. Os elementos químicos que usualmente são conhecidos se apresentam com isótopos estáveis e outros radioativos; os estáveis são mais abundantes porque não decaem, enquanto que os radioativos vão se desintegrando e se transmutando para outros mais estáveis (TEURYA, DUARTE, 2012).

Estes elementos ocorrem naturalmente, podendo ser utilizados como marcadores internos em processos dietéticos. A expressão “estável”, refere-se ao fato de que não emitem radiação. Sob esta perspectiva, apresentam-se mais vantajosos que os isótopos radioativos, devido ao fato de poderem ser utilizados sem riscos à saúde humana e ao ambiente (DUCATTI, 2007).

Os isótopos mais utilizados nos estudos referentes às cadeias tróficas, análise de alimentos e dieta de animais, são os átomos de carbono (C) e nitrogênio (N), ao passo que oxigênio, hidrogênio e enxofre, são mais utilizados para rastrear os movimentos dos animais, bem como as alterações climáticas (HOBSON, 1999; LAYMAN *et al.*, 2012; DALERUM, ANGERBJÖRN, 2005).

Esta proposição de estudo, fundamenta-se no fato de que a razão isotópica, a proporção entre o isótopo mais pesado e o mais leve, varia de uma forma previsível, conforme o elemento cicla na natureza. A cada transformação física, química e biológica pelas quais passam os sistemas biológicos, ocorre uma discriminação entre o isótopo mais leve e o mais pesado, possibilitando sua utilização como traçadores naturais em pesquisas (BOUTTON, 1991).

Desta maneira, os itens ingeridos e assimilados pelos animais, refletem características da sua composição isotópica em seus tecidos, por conseguinte, a determinação da composição isotópica do tecido animal e suas prováveis fontes alimentares, fornece informações quantitativas sobre as contribuições relativas de cada uma dessas fontes, na formação dos diferentes tecidos e órgãos (DENIRO, EPSTEIN, 1978; KELLY, 2000; REICH *et al.*, 2008).

Estas composições isotópicas são como assinaturas, que podem variar espacialmente com base em uma variedade de processos biogeoquímicos/metabólicos. Organismos que se movem entre teias alimentares isotopicamente distintas podem levar informações sobre a localização da alimentação anterior (HOBSON, 1999).

A razão isotópica,  $\delta$ , corresponde à relação entre o isótopo pesado (massa atômica maior) e o isótopo leve (massa atômica menor) e expressa-se normalmente em relação a um material de referência ( $\delta X = [(R_{amostra} / R_{padrão}) - 1] \times 10^3$ ), em partes por mil (‰), onde  $R_{amostra}$  e

Rpadrão é a razão entre o isótopo pesado e o isótopo leve ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) na amostra e no padrão, respectivamente. As razões isotópicas de nitrogênio  $\delta^{15}\text{N}$  e de carbono  $\delta^{13}\text{C}$  em diferentes tecidos, estão sujeitas a alterações previsíveis na razão do isótopo mais pesado em relação ao isótopo mais leve (discriminação) devido a processos químicos, biológicos e físicos (Deniro; Epstein, 1981; Tieszen et al., 1983; Peterson; Fry, 1987).

A  $\delta^{15}\text{N}$  é alterada durante o metabolismo, visto que o  $^{15}\text{N}$  é preferencialmente retido no organismo durante o processo de excreção (Arthur et al., 2008) o que causa um enriquecimento de cerca de 3 a 4‰ da  $\delta^{15}\text{N}$  em relação à sua dieta (DENIRO, EPSTEIN, 1981; MINAGAWA; WADA, 1984; PETERSON, FRY, 1987; HATASE *et al.*, 2002; POST, 2002). Em contraste, a  $\delta^{13}\text{C}$  apenas sofre um enriquecimento trófico de cerca de 1‰ por nível trófico, o que significa que permanece quase inalterada conforme o carbono se movimenta ao longo da cadeia trófica (ROUNICK, WINTERBOURN, 1986; FRANCE, PETERS, 1997; HATASE *et al.*, 2002; POST, 2002). Desta maneira,  $\delta^{13}\text{C}$  pode ser utilizada para determinar as fontes de carbono de um consumidor quando as assinaturas isotópicas das fontes são diferentes (POST, 2002).

A razão isotópica da matéria orgânica é mensurada através de espectrômetro de massa, que mede a razão entre o isótopo pesado e o leve de uma amostra, em comparação a um padrão. O padrão para o carbono é o PDB, um fóssil de *Belemnitella americana* da formação *Peedee* da Carolina do Sul (EUA) e, para o nitrogênio, o  $\text{N}_2$  atmosférico (LAJTHA, MARSHALL, 1994). As razões isotópicas são expressas pela notação delta ( $\delta$ ), com unidade por mil (‰), que mede a diferença entre a razão na amostra e no produto, podendo ser positiva ou negativa.

Essas aplicações exigem conhecimento das taxas nas quais o carbono e o nitrogênio são incorporados nos tecidos animais e nos fatores de discriminação ( $\Delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{15}\text{N}$ ) da dieta para cada tecido (CAUT *et al.*, 2009). O fator de discriminação é definido como a mudança na razão de isótopos entre um animal e sua dieta, podendo variar de acordo com diversos fatores naturais, como evaporação, vias metabólicas, tipos fisiológicos, táxons, tecidos, qualidade da dieta entre outros (FARQUHAR *et al.*, 1989; MCCUTCHAN *et al.*, 2003).

O uso de variações de abundância natural em isótopos estáveis como marcadores, depende dos fraccionamentos que ocorrem durante processos químicos, físicos e biológicos. As diferenças no fracionamento durante esses processos levam a "assinaturas isotópicas" distintas para materiais biológicos (GANNES, *et al.* 1998).

Além disso, os tecidos de animais mantidos em cativeiros sob dieta controladas, podem ter diferentes proporções isotópicas em relação animais selvagens, em consequência das variações na proporção de proteínas, carboidratos e lipídios (SEMINOFF *et al.*, 2006) e / ou devido ao fracionamento diferente dos isótopos (TIESZEN *et al.*, 1983). A variação no fator de discriminação isotópica pode ser influenciada pela via metabólica pela qual os elementos presentes na dieta, atingiram os tecidos do animal (PODLESAK, MCWILLIAMS, 2006).

Estudos sobre esses fatores para diferentes tecidos animais são escassos, especialmente, no que se refere aos répteis (WARNE *et al.*, 2010). A maioria dos trabalhos tem utilizado mamíferos, peixes e invertebrados em suas análises (CAUT *et al.*, 2009). Tendo em vista as dificuldades em gerar dados sobre fatores de discriminação específicos para espécies e tecidos diferentes, pesquisadores podem utilizar-se de dados de outras espécies, que se aproximem ao máximo das espécies estudadas, para analisarem seus dados (BOND, DIAMOND, 2011).

Para *C. mydas*, são encontrados fatores de discriminação para epiderme (SEMINOFF *et al.*, 2006; VANDER ZANDEN *et al.*, 2012; TURNER TOMASZEWICZ *et al.*, 2017) que diferem entre si, podendo ser justificadas pelas variações individuais entre as tartarugas, incluindo preferência de itens alimentares, taxas de crescimento, idade, diferenças fisiológicas e condições de saúde (TURNER TOMASZEWICZ *et al.*, 2017). No que diz respeito às tartarugas marinhas, sabe-se que a idade pode influenciar esse fracionamento, como já foi descrito para a tartaruga cabeçuda (*Caretta caretta*) (REICH *et al.*, 2008) e para *C. mydas* (VANDER ZANDEN *et al.*, 2012).

Outro fator a ser considerado nesses estudos, são as taxas de reposição dos tecidos biológicos (*turnover*) que consiste na síntese de tecido novo no corpo e a degradação do pré existente (BISI, *et al.*, 2012). Essas taxas são diferentes para cada tecido, estando relacionadas ao seu metabolismo, desta forma, a depender do tecido a ser analisado, a composição isotópica do consumidor refletirá diferentes períodos de alimentação (TIESZEN *et al.*, 1983, HOBSON, CLARK 1992; GANNES *et al.*, 1998).

Tecidos com taxas metabólicas intermediárias refletem uma dieta de semanas a meses, como no caso do músculo, pele, cérebro e hemácias, enquanto que tecidos menos ativos, como dentes e ossos, refletem uma dieta de anos (TIESZEN *et al.* 1983, WALKER *et al.* 1999, ALVES STANLEY; WORTHY, 2009; TURNER TOMASZEWICZ *et al.*; 2017)

No que diz respeito às tartarugas marinhas, a metodologia de estudo com isótopos, vem sendo usada para analisar a ecologia trófica, hábitos alimentares, a utilização do habitat, bem como os seus padrões de migração (GOODLEY *et al.*, 1998; HATASE *et al.*, 2002; BIASATTI, 2004; REVELLES *et al.*, 2007; ARTHUR *et al.*, 2008; VANDER ZANDEN *et al.*, 2013; CERIANI *et al.*, 2014; CARPENTIER *et al.*, 2015; PRIOR *et al.*, 2016).

## 2.4 ECOTOXICOLOGIA EM AMBIENTES MARINHOS

Em 1977, Ramade publicou o primeiro livro sobre o tema e, definiu a ecotoxicologia, como sendo a ciência que objetiva o estudo das modalidades de contaminação do ambiente por poluentes naturais ou sintéticos, decorrentes de atividades antrópicas, os seus mecanismos de ação e os efeitos sobre os seres vivos (MAGALHÃES; FERRÃO-FILHO, 2008).

Vale ressaltar, o termo “metal pesado” ou, às vezes, simplesmente, “metal”, vem sendo usado para se referir a alguns elementos que são associados à contaminação e potencialidade tóxica ou ecotóxica, embora, alguns autores prefiram utilizar o termo elemento-traço (MARCHI *et al.*, 2009).

Alguns elementos, como os metais Pb, Cd e o Hg, apresentam alto potencial tóxico e não têm funções biológicas conhecidas, entretanto, seus efeitos podem induzir desordens patológicas em organismos vivos, mesmo quando estão em baixas concentrações (MARCOTRIGIANO, STORELLI, 2003; JÄRUP, 2013). Sob esta perspectiva, a presença desses poluentes em ecossistemas marinhos, pode gerar efeitos adversos, uma vez que apresentam uma meia-vida longa e podem se bioacumular em tecidos vivos, aumentando os sintomas de toxicidade (FRAZIER, 1979).

Esses poluentes estão estritamente associados às ações antropogênicas, como esgoto e efluentes industriais, combustão de combustíveis fósseis, mineração e fundição (JAKIMSKA *et al.*, 2011). Estes são então, absorvidos, inalados e ingeridos através da água, ar, itens alimentares e outras fontes pelos seres humanos e pelos animais (NORDBERG *et al.*, 2014).

Mesmo quando suas concentrações ambientais são pequenas, esses elementos podem afetar os organismos. Sua nocividade é devida não somente ao grau de contaminação do meio ambiente, mas também ao papel bioquímico nos processos metabólicos e à extensão em que são absorvidos e excretados pelos organismos marinhos (JAKIMSKA *et al.*, 2011). Alguns destes

contaminantes podem permanecer por um período extenso no ambiente marinho, afetando assim, a saúde de muitos organismos, levando a mudanças na estrutura da teia alimentar e influenciando a bioacumulação nos tecidos de plantas e animais marinhos (HYLLAND, 2006).

O estudo da toxicidade de metais em répteis é particularmente importante porque muitas espécies estão passando por declínios. De maneira direta ou indireta, a poluição química é uma ameaça importante para os répteis (GIBBONS *et al.* 2000; HOPKINS 2000), entretanto, mesmo assim, estes permanecem sub-representados na pesquisa ecotoxicológica (HOPKINS 2000; GARDNER 2006; GRILLITSCH, SCHIESARI, 2010).

Neste sentido, os testudines despontam como potenciais animais a bioacumularem esses elementos poluentes, uma vez que são animais com ampla distribuição, estando expostos comumente a uma variedade de habitats, variando a dieta, além de apresentarem ciclo de vida longo (MAFFUCCI *et al.*, 2005; JEREZ *et al.*, 2010; FINLAYSON *et al.*, 2016). O potencial tóxico da contaminação por alguns elementos químicos, pode desencadear importante papel no decréscimo das populações de tartarugas marinhas (STORELLI *et al.*, 2005; BARBIERE, 2009).

Ainda que os elementos e os tecidos analisados de tartarugas marinhas variem entre os trabalhos, os elementos essenciais e tóxicos mais comumente investigados são mercúrio (Hg), arsênio (As), cobre (Cu), cádmio (Cd), e chumbo (Pb), ao passo que os tecidos mais analisados são fígado, rim, músculo, sangue e os ovos (DAY *et al.*, 2007; VAN DE MERWE *et al.*, 2010).

Villa *et al.* (2019) destacam que vários outros elementos, como cobalto (Co), antimônio (Sb), molibdênio (Mo), Mn (manganês), níquel (Ni), são raramente usados estudos de biomonitoramento, apesar das suas mais variadas fontes e do potencial de alguns destes elementos, à saúde das tartarugas.

Sendo assim, monitorar as tartarugas marinhas quanto à presença de elementos essenciais e não essenciais, desponta como uma importante ferramenta na ecotoxicologia, na medida em que oferece informações para outros estudos acerca de uma população e contribui para o conhecimento sobre os níveis de poluição nas localidades que estes animais habitam (CORTES-GOMEZ *et al.*, 2014; FINLAYSON *et al.*, 2016; PREEZ *et al.*, 2018).

Acrescenta-se ainda que existem evidências de que a etiologia e desenvolvimento da fibropapilomatose – doença crônica que atinge principalmente indivíduos da espécie de tartaruga verde, *Chelonia mydas* (FOLEY *et al.*, 2005; VAN HOUTAN *et al.*, 2010) está associada à presença de metais como Pb, Cd e Fe (SILVA *et al.*, 2016), contribuindo para a debilidade do

sistema imunológico (SILVA *et al.*, 2016; GRILLITSCH; SCHIESARI, **2010**) e para o aparecimento dos tumores associados aos encalhes (FLINT *et al.*, 2015), tornando assim, ainda mais relevante o estudo de monitoramento destes poluentes, nestes organismos ameaçados de extinção.

## REFERÊNCIAS

- ADNYANA, W. et al. Observations of fibropapillomatosis in green turtles (*Chelonia mydas*) in Indonesia. **Australian Veterinary Journal**, v. 10, p.737-742, 1997.
- AL-MUSHARAFI, S. K. et al. Heavy Metals and Antibiotic Resistant Bacteria in Green Turtles are Indicators of Environmental Pollution. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 9, n. 4, 2015.
- ALMEIDA, A. P. et al. **Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil**. Biodiversidade Brasileira, v. 1, n. 1, p. 12-19, 2011.
- ALVES-STANLEY, C. D.; WORTHY, G. A. J. Carbon and nitrogen stable isotope turnover rates and diet–tissue discrimination in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). **The Journal of Experimental Biology**, v. 212, p. 2349- 2355, 2009.
- ALVES-STANLEY, C.D.; WORTHY, G.A.J. 2009. Carbon and nitrogen stable isotope turnover rates and diet–tissue discrimination in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). **The Journal of Experimental Biology**, 212: 2349-2355, 2009.
- AMOROCHO, D. F.; REINA, R. D. Feeding ecology of the east Pacific green sea turtle *Chelonia mydas* agassizii at gorgona national Park, Colombia. **Endangered species research**, v. 3, n. 1, p. 43–51, 2007.
- ANDRADES, R.; DOS SANTOS, R.A.; MARTINS, A.S.; TELES D.; SANTOS R.G. Scavenging as a pathway for plastic ingestion by marine animals. **Environmental Pollution**. v.248, p.159-165, 2019.
- ANDREANI, G., SANTORO, M., COTTIGNOLI, S., FABBRI, M., CARPENÈ, E., ISANI, G. Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. **Sci. Total Environ.** 390, 287–294, 2008.
- ARTHUR, K. E.; BALAZS G. H. A. Comparison of immature green turtle (*Chelonia mydas*) diets among seven sites in the main Hawaiian Islands. **Pacific Science**, v. 62, n. 2, p. 205-217, 2009.
- ARTHUR, K. E.; BOYLE, M. C.; LIMPUS, C. J. Ontogenetic changes in diet and habitat use in green sea turtle (*Chelonia mydas*) life history. **Marine Ecology Progress**, v. 362, p. 303–311, 2008.
- AWABDI, A. R. et al. First information about the stomach contents of juvenile green turtles, *Chelonia mydas*, in Rio de Janeiro, south-eastern Brazil. **Marine Biodiversity Records**, v. 6, n. 5, p. 1-6, 2013.

- BARBIERI, E. Concentration of heavy metals in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) sampled in the Cananéia estuary, Brazil. **Braz. J. Oceanogr.** 57, 243–248, 2009.
- BELLINI, C.; SANTOS, A.; GROSSMAN, A.; MARCOVALDI, M.; C. R. BARATA, P. 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, p.1990-2008, 2013.
- BIASATTI, D. M. Stable carbon isotopic profiles for sea turtle humeri: implications for ecology and physiology. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, v. 206, p. 203–216, 2004.
- BISI, T.L., LAILSON-BRITO, J.; MALM, O. Ecologia alimentar em mamíferos marinhos: técnicas de estudo. **Oecol. Aust.**, 16(2): 210-234, 2012
- BJORNDAL K. A. **Foraging ecology and nutrition of sea turtles.** *In:* LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A. (Eds.) *The biology of sea turtles.* Boca Raton, FL: CRC Press, 1997, p. 199–231.
- BJORNDAL, K. A. Cellulose digestion and volatile fatty acid production in the green turtle, *Chelonia mydas*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 63, n. 1, p. 127-133, 1979.
- BJORNDAL, K. A. Digestibility of the sponge *Chondrilla nucula* in the green turtle. **Bulletin of Marine Science**, v. 47, n. 2, p. 567-570, 1990.
- BJORNDAL, K. A. Nutrition and grazing behavior of the green turtle, *Chelonia mydas*. **Marine Biology**, v. 56, n. 2, p. 147-154, 1980.
- BJORNDAL, K. A.; BOLTEN, A. B.; LAGUEUX, C. J. Ingestion of marine debris by juvenile sea turtles in coastal Florida habitats. **Marine Pollution Bulletin**, v. 28, n. 3, p.154-158, 1994.
- BOLTEN, A. B. **Variation in sea turtle life history patterns: neritic vs. oceanic development stages.** *In:* LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A.; WYNEKEN, J. (Eds.) *The biology of sea turtles*, vol. 2. Washington: CRC Press, 2003, p. 243–258.
- BOND, A. L.; DIAMOND, A. W. Recent Bayesian stable-isotope mixing models are highly sensitive to variation in discrimination factors. **Ecological Applications**, Tempe, v. 21, n. 4, p. 1017-1023, 2011
- BOUTTON, T. W. **Stable carbon ratios of natural materials: Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments.** *In:* COLEMAN, D. C.; FRY, B. (Eds.) *Carbon Isotope Techniques.* New York: Academic Press, 1991, p. 173-185.
- BRAND-GARDNER, S. J. et al. Diet selection by immature green turtles, *Chelonia mydas*, in subtropical Moreton Bay, south-east Queensland. **Australian Journal of Zoology**, v. 47, p. 181–191, 1999.
- BUGONI, L. et al. Diet of Sea Turtles in Southern Brazil. **Chelonia Conservation and Biology**, v. 4, p. 685-688, 2003.

BUGONI, L. et al. Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 12, p. 1330-1334, 2001.

CARDONA, L. et al. Asynchrony between dietary and nutritional shifts during the ontogeny of green turtles (*Chelonia mydas*) in the Mediterranean. **J Exper Mar Biol. Ecol.**, v. 393, n. 1-2, p. 83-89, 2010.

CARPENTIER, A. S. et al. Stable isotope relationships between mothers, eggs and hatchlings in loggerhead sea turtles *Caretta caretta*. **Marine Biology**, v. 162, n. 4, p. 783–797, 2015.

CAUT, S., E. ANGULO, AND F. COURCHAMP. Variation in discrimination factors ( $\Delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{15}\text{N}$ ): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. **Journal of Applied Ecology** 46:443–453, 2009.

CERIANI, S. A. et al. Developing a common currency for stable isotope analyses of nesting marine turtles. **Marine Biology**, v. 161, n. 10, p. 2257–2268, 2014.

CHALOUPKA, M., BJORN DAL, K.A., BALAZS, G.H., BOLTEN, A.B., EHRHART, L.M., LIMPUS, C.J., SUGANUMA, H., TROEENG, S., YAMAGUCHI, M. Encouraging outlook for recovery of a once severely exploited marine megaherbivore. **Glob. Ecol. Biogeogr.** 17 (2), 297–304, 2008.

CORTES-GÓMEZ, A. A. et al. Metals and metalloids in whole blood and tissues of olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) from La Escobilla beach (Oaxaca, Mexico). **Marine Pollution Bulletin**, v. 89, n. 1-2, p. 367-375, 2014.

DA SILVA, C.C., KLEIN, R.D., BARCAROLLI, I.F., BIANCHINI, A. **Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles *Chelonia mydas* from the southern Atlantic Ocean.** *Aquat. Toxicol.* 170, 42- 51, 1016.

DALERUM, F.; ANGERBJÖRN, A. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. **Oecologia**, v. 144, n. 4, p. 647–658, 2005.

DAY, R.D.; SEGARS, A.L.; ARENDT, M.D.; LEE A.M.; PEDEN-ADAMS, M.M. Relationship of Blood Mercury Levels to Health Parameters in the Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*). **Environmental Health Perspectives**. V.115, N. 10, 2007

DeNIRO, M. J.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 42, n. 5, p. 495-506, 1978.

DENIRO, M.J.; EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. **Geochimica et cosmochimica acta**, v.45, n.3, p.341-351, 1981.

DUCATTI, C. Aplicação dos isótopos estáveis em aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, Suplemento Especial, p. 1-10, 2007.

FARQUHAR, G. D., J. R. EHLERINGER, AND K. T. HUBICK. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 40:503–537, 1989.

FERREIRA, B. et al. Diet of green turtle (*Chelonia mydas*) at Ra's Al Hadd, Sultanate of Oman. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 5, n. 1, p. 141–146, 2006.

FERREIRA, M.M. Sobre a alimentação da aruanã, *Chelonia mydas linnaeus*, ao longo da costa do estado do Ceará. **Arq. Est. Biol. Mar. Univ. Fed. Ceará** v.8:83–86, 1968.

FIDELIS, S. V. et al. Análise da relação corporal do trato gastrointestinal da *Chelonia mydas* (tartaruga verde) juvenil do litoral do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2., 2005, Vitória. **Anais...** Espírito Santo: Vitória, 2005. p. 1-3.

FINLAYSON, K. A. et al. The current state and future directions of marine turtle toxicology research. **Environment International**, v. 94, p. 113-123, 2016.

FLINT, M. et al. **Clinical and pathological findings in green turtles (*Chelonia mydas*) from gladstone, Queensland: investigations of a stranding epidemic.** *Ecohealth*, v. 12, n. 2, p. 298-309, 2015.

FLINT, M. Free-ranging sea turtle health. In: WYNEKEN, J.; LOHMANNK, J.; MUSICK, J. A. (Eds.). **The Biology of sea turtle.** Boca Raton: CRC Press, 2013, p. 379-398.

FOLEY, A. M. et al. Fibropapillomatosis in stranded green turtles (*Chelonia mydas*) from the eastern United States (1980-98): trends and associations with environmental factors. **J. Wildl. Dis.**, v. 41, n. 1, p. 29-41, 2005.

FORBES, A. F. **Diet Sampling and Diet Component Analysis. In: Research and Management for the Conservation of Sea Turtles.** IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group, Publication N° 4, 1999, p. 144-148.

FRANCE, R. L.; PETERS, R. H. Ecosystem differences in the trophic enrichment of  $^{13}\text{C}$  in aquatic food webs. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 54, n. 6, p. 1255–1258, 1997.

FRAZIER, J. M. Bioaccumulation of cadmium in marine organisms. **Environ. Health Perspectives**, v. 28, p. 75-79, 1979.

FUENTES, M. P. B. et al. Dietary preferences of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) on a tropical reef flat. **Wildlife Research**, v. 33, n. 8, p. 671–678, 2006.

GALLO, B. M. G. et al. Sea Turtle Conservation in Ubatuba, Southeastern Brazil, a Feeding Area with Incidental Capture in Coastal Fisheries. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 5, n. 1, p. 93-101, 2006.

- GANNES, L. Z.; DEL RIO, C. M.; KOCH, P. Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, New York, v. 119, n. 3, p. 725-737, 1998.
- GARDNER SC. 2006. Introduction to reptilian toxicology. In: Gardner SC, Oberdoerster E, editors, **Toxicology of reptiles. New perspectives: toxicology and the environment**. Boca Raton (FL): Taylor & Francis. p 1–8.
- GIBBONS JW, SCOTT DE, RYAN TJ, BUHLMANN KA, TUBERVILLE TD, METTS BS, GREENE JL, MILLS T, LEIDEN Y, POPPY S, WINNE CT. 2000. **The global decline of reptiles, deja vu amphibians**. *Bioscience* 50:653–666.
- GOODLEY, B. J. et al. The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. **Marine Ecology Progress Series**, v. 166, p. 277–284, 1998.
- GREENBLATT, R. J. et al. Geographic variation in marine turtle brotopapillomatosis. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, Lawrence, v. 36, n. 3, p. 527-530, 2005.
- GRILLITSCH, B.; SCHIESARI, L. **The ecotoxicology of metals in reptiles**. In: SPARLING, D. W.; LINDER, G.; BISHOP, C. A.; KREST, S. K. (Eds.). *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*, 2 ed. CRC Press, 2010, p. 337-448.
- GROOMBRIDGE, B. ; LUXMOORE, R. **The green turtle and hawksbill (Reptilia: Cheloniidae): world status, exploitation and trade**. Lausanne: Secretariat of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. 1989.
- GROSSMAN, A. et al. Morphometrics of the green turtle at the Atol das Rocas. **Marine Biological Reserve**, Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, v. 118, p. 12-13, 2007.
- GUEBERT-BARTHOLO, F. M. et al. Using gut contents to assess foraging patterns of juvenile green turtles *Chelonia mydas* in the Paranaguá Estuary, Brazil. **Endang Species Res.**, v. 13, p. 131–143, 2011.
- HALPERN, B. S. et al. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. **Conservation Biology**, v. 21, n. 5, p. 1301–1315, 2007.
- HATASE, H. et al. Size-related differences in feeding habitat use of adult female loggerhead turtles *Caretta caretta* around Japan determined by stable isotope analyses and satellite telemetry. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 233, p. 273–281, 2002.
- HAZEL, J., HAMANN, M., LAWLER, I.R. Home range of immature green turtles tracked at an offshore tropical reef using automated passive acoustic technology. **Mar. Biol.** 160 (3), 617–627, 2013.
- HEPPELL, S. S. et al. **Sea turtle population ecology**. In: LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A.;

- WYNEKEN, J. (Eds.). *The Biology Of Sea Turtles*. Washington: CRC Press, 2003. p. 275-299.
- HERBST, L. H. Fibropapillomatosis of marine turtles. **Annual Review of Fish Diseases, Danvers**, v. 4, n. 6, p. 389-425, 1994.
- HIRTH, H. F. et al. A natural assemblage of immature green (*Chelonia mydas*) and hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) turtles on the fringing reef of Wuvulu Island, Papua New Guinea. **Micronesica**, v. 25, p. 145–153, 1992.
- HOBSON, K. A. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. **Oecologia**, v. 120, n. 3, p. 314-326, 1999.
- HOBSON, K. A.; CLARK, R. G. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of carbon-13 in tissues. **The Condor**, v. 94, p. 181- 188, 1992.
- Hopkins WA. 2000. Reptile toxicology: challenges and opportunities on the last frontier in vertebrate ecotoxicology. **Environ Toxicol Chem** 19:2391–2393.
- HYLLAND, K. Biological effects in the management of chemicals in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 53, n. 16-12, p. 614-619, 2006.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2015-3. Disponível em: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). Acesso em: 18/09/2018.
- JAKIMSKA, A. et al. Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals. Part I: The role and impact of heavy metals on organisms. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 20, n. 5, p. 1117-1125, 2011.
- JÄRUP, L. Hazards of heavy metal contamination. **Brit Med Bull**, v. 68, p. 167–182, 2003.
- JEREZ, S. et al. Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. **Chemosphere**, v. 78, n. 3, p. 256–264, 2010.
- KELLY, J. F. Stable isotopes of nitrogen and carbon in the study of avian and mammalian trophic ecology. **Canadian Journal of Zoology**, v. 78, n. 1, p. 1–27, 2000.
- KENNEDY, B. V.; KROUSE, H. R. Isotope fractionation by plants and animals: implications for nutrition research. **Canadian Journal Physiology and Pharmacology**, v. 68, n. 7, p. 960-972, 1990.
- LAJTHA, K.; MARSHALL, J. D. **Sources of variation in the stable isotopic composition of plants**. In: MICHENER, R. H.; LAJTHA, K. (Eds.). *Stable Isotopes in ecology and environmental science*. Oxford: Blackwell, 1994, p. 1-21.
- LAYMAN, C. A. et al. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. **Biological Reviews**, v. 87, n. 3, p. 545–562, 2012.

LIMPUS, C. J.; LIMPUS D. J. Mangroves in the diet of *Chelonia mydas* in Queensland, Australia. **Marine Turtle Newsletter**, v. 89, p. 13-15, 2000.

LÓPEZ-MENDILAHARSU, M. et al. Diet selection by immature green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging ground along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 88, n. 3, p. 641–647, 2008.

LÓPEZ-MENDILAHARSU, M. et al. Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California península, México. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 259–269, 2005.

LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A. **The biology of sea turtles**. CRC Press, 1996, 432 p.

MAFFUCCI, F. et al. Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). **Chemosphere**, v. 58, n. 5, p. 535–542, 2005.

MAGALHÃES, D.; FERRÃO FILHO, A. da S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.

MARCHI, G. et al. **Elemento-traço e sua relação com a qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil**. Planaltina – DF: Embrapa Cerrados. Documento 252, 45 p, 2009.

MARCOTRIGIANO, G. O.; STORELLI, M. M. Heavy metal, polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in marine organisms: risk evaluation for consumers. **Veterinary Research Communications**, v. 27, n. 1, p. 183–195, 2003.

MARCOVALDI, M. A.; DEI MARCOVALDI, G. G. Marine turtles of Brazil: the history and structure of Projeto TAMAR- IBAMA. **Biological Conservation**, v. 91, n. 1, p. 35-41, 1999.

MÁRQUEZ, R. M. **Sea turtles of the world: an annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date**. FAO Fish. Synop, vol. 11, p. 111-181, 1990.

MCCUTCHAN J. H.; LEWIS W. M. J. R.; KENDALL, C.; MCGRATH C. C. Variation in the trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. **Oikos**, Copenhagen, v. 102, p. 378–390, 2003.

MINAGAWA, M., WADA, E. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 5, p. 1135-1140, 1984.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção.** 2018. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/component/content/article/10187>. Acesso em: 10/11/2018.

MONTEIRO, D. S. et al. Long-term spatial and temporal patterns of sea turtle strandings in southern Brazil. **Marine Biology**, v. 163, n. 247, 2016.

MORTIMER J. The feeding ecology of the west caribbean green turtle (*Chelonia mydas*) in Nicaragua. **Biotropica**, v. 13, n. 1, p. 49-58, 1981.

MOURA, G. J. B.; FREIRE, E. M. X. ; SANTOS, E. M. ; LINS, E. ; ANDRADE, E. V. E. ; Cavalcante, J. D. . **Distribuição Geográfica e Caracterização Ecológicas dos Répteis do Estado de Pernambuco.** In: 2. Geraldo Jorge Barbosa de Moura; Ednilza Maranhão dos Santos; Maria Adélia Borstelmann Oliveira; Maria Catarina Cavalcanti Cabral. (Org.). Herpetologia do Estado de Pernambuco. 1ed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, v. 1, p. 229-290.

MUSICK, J. A.; LIMPUS, C. J. **Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles.** In: LUTZ, P.; MUSICK, J. (Eds.). **Biology of sea turtles.** CRC, 1996, p. 138-163.

NORDBERG, G. et al. **Handbook on the Toxicology of Metals.** vol. 4. London: Elsevier press, 2014.

PETERSON, B. J.; FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 18, n. 1, p. 293–320, 1987.

PODLESAK, D. W., AND S. R. MCWILLIAMS. Metabolic routing of dietary nutrients in birds: effects of diet quality and macronutriente composition revealed using stable isotopes. **Physiological and Biochemical Zoology**, 79:534–549, 2006.

POST, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 703–718, 2002.

PREEZ, M. du. et al. First report of metallic elements in loggerhead and leatherback turtle eggs from the Indian Ocean. **Chemosphere**, v. 197, p. 716-728, 2018.

PRIOR, B. et al. Investigating diet and diet switching in green turtles (*Chelonia mydas*). **Australian Journal of Zoology**, v. 63, p. 365–375, 2016.

PRITCHARD, P. C. H. et al. **Taxonomy, external morphology, and species identification.** In: ECKERT, K. L. et al. (Eds.). Research and Management Techniques for the Conservation of sea turtles. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication, vol. 4.,1999, p. 21-38.

REICH, K. J. et al. Effects of growth and tissue tupe on the kinetics of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N incorporation in an apidly growing ectotherm. **Oecologia**, v. 155, n. 4, p. 651-663, 2008.

REISSER, J. et al. Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) at rocky reefs in western South Atlantic. **Marine Biology**, v. 160, n. 12, p. 3169–3179, 2013.

REVELLES, M. et al. Stable C and N isotope concentration in several tissues of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* from the western Mediterranean and dietary implications. **Scientia Marina**, v. 71, n. 1, p. 87–93, 2007.

RODRIGUES, M.S. et al. Contribution to the study of the green turtle (*Chelonia mydas*) diet in the South Atlantic, Northeast Brazil. **International Journal of Development Research**. v.9. 2019

ROMBOUTS, I. et al. Evaluating marine ecosystem health: Case studies of indicators using direct observations and modelling methods. **Ecological Indicators**, v. 24, p. 353–365, 2013.

ROUNICK, J. S. WINTERBOURN, M. J. Stable Carbon Isotopes and Carbon Flow in Ecosystems. **BioScience**, v. 36, n. 3, p. 171–177, 1986.

SANCHES, T. M.; BELLINI, C. Juvenile *Eretmochelys imbricata* and *Chelonia mydas* in the Archipelago of Fernando de Noronha, Brazil. **Chelonian Conservation Biology**, v. 3, n. 2, p. 308-311, 1999.

SANTOS, R. G. et al. Coastal habitat degradation and green sea turtle diets in Southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 6, p. 1297-1302, 2011.

SANTOS, R. G. et al. **Debris ingestion by juvenile marine turtles: an underestimated problem.** *Marine Pollution Bulletin*, Oxford, v. 93, n. 1-2, p. 37-43, 2015.

SAZIMA, I.; SAZIMA, M. Aspectos de comportamento alimentar e dieta da tartaruga marinha, *Chelonia mydas*, no litoral norte Paulista. **Bol. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 199–203, 1983.

SEMINOFF, J. A. et al. Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California. **Mexico. Marine Ecology Progress Series**, v. 242, p. 253-265, 2002.

SEMINOFF, J. A. et al. Monitoring green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging area in Baja California, Mexico: multiple indices describe population status. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 83, n. 6, p. 1355–1362, 2003.

SEMINOFF, J. et al. Stable isotope discrimination ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) between soft tissues of the green sea turtle *Chelonia mydas* and its diet. **Marine Ecology Progress Series**, v. 308, p. 271–278, 2006.

SENKO J. et al. **Immature East Pacific green turtle (*Chelonia mydas*) use multiple foraging areas off the Pacific Coast of Baja California Sur, Mexico: First evidence from mark-recapture data.** *Pacific Science*, v. 64, p. 125-130, 2010.

SHIMADA, T., LIMPUS, C., JONES, R., HAZEL, J., GROOM, R., HAMANN, M., **Sea turtles return home after intentional displacement from coastal foraging areas.** *Mar. Biol.* 163 (1), 1–14.

SILVA, C. C. et al. Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles *Chelonia mydas* from the southern Atlantic Ocean. **Aquatic Toxicology**, v. 170, p. 42–51, 2016.

STORELLI, M. M.; STORELLI, A.; D'ADDABBO, R.; MARANO, C.; BRUNO, R.; MARCOTRIGIANO, G.O. Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. **Environmental Pollution**, v. 135, p. 163–70, 2005.

TALAVERA-SAENZ, A., GARDNER, S.C., RIOSMENA RODRIQUEZ, R., ACOSTA VARGAS, B. **Metal profiles used as environmental markers of green turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources.** *Sci. Total Environ.* 373 (1), 94-102, 2007.

TERUYA, N.; DUARTE, S. B. Núcleos exóticos e síntese dos elementos químicos. **Quím. Nova**, São Paulo , v. 35, n. 2, p. 360-366, 2012 .

TIESZEN, L. L. et al. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implications for  $\delta^{13}\text{C}$  analysis of diet. **Oecologia**, v. 57, n. 1-2, p. 32–37, 1983.

TOURINHO, P. S. et al. Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, n. 3, p. 396-401, 2010.

TURNER TOMASZEWICZ, C. N.; SEMINOFF, J. A.; PRICE, M.; KURLE, C. M. Stable isotope discrimination factors and between-tissue isotope comparisons for bone and skin from captive and wild green sea turtles (*Chelonia mydas*). **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, London, v. 31, n. 22, p. 1903-1914, 2017.

VAN DE MERWE, J. P.; HODGE, M.; OLSZOWY, H. A.; WHITTIER, J. M.; LEE, S.Y. Using blood samples to estimate persistent organic pollutants and metals in green sea turtles (*Chelonia mydas*). **Marine Pollution Bulletin**, v. 60, p. 579–588, 2010.

VAN HOUTAN, K. S. et al. Land use, macroalgae, and a tumor-forming disease in marine turtles. **Plos One**. v. 5, n. 9, 2010.

VANDER ZANDEN, H. et al. Foraging areas differentially affect reproductive output and interpretation of trends in abundance of loggerhead turtles. **Marine Biology**, v. 161, n. 3, p. 585–598, 2013.

VILLA, A.C. et al., 2019. Elucidating temporal trends in trace element exposure of green turtles (*Chelonia mydas*) using the toxicokinetic differences of blood and scute samples. **Sci. Total Environ.** 651 (2), 2450–2459.

WALKER, J.; POTTER, C. & MACK, S. 1999. The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflect through stable isotopes. **Marine Mammal Science**, v.15: 335-350

WALLNER-KERSANACH, M.; BIANCHINI, A. **Metais traço em organismos: monitoramento químico e de efeitos biológicos.** In: BAPTISTA NETO, J. A.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. (Eds.). *Poluição Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. p. 237-283.

WARNE, R. W.; GILMAN, C. A.; WOLF, B. O. Tissue-Carbon Incorporation Rates in Lizards: implications for ecological studies using stable isotopes in terrestrial ectotherms. **Physical and Biochemical Zoology**, Chicago, v. 83, p. 608-617, 2010.

ZUG, G. R. et al. **Age and growth of Hawaiian greee turtle (*Chelonia mydas*): an analysis based on skeletochronology.** *Fish Bull*, v. 100, n. 1, p. 117-127, 2002.

PECKHAM, S. H.; MALDONADO-DIAZ, D.; WALLI, A.; RUIZ, G.; CROWDER, L. B., NICHOLS, W. J. Small-scale fisheries bycatch jeopardizes e ndangered Pacific loggerhead turtles. **PLoS One**, v.2, e 1041, 2007.

HAMANN M, GODFREY MH, SEMINOFF JA, ARTHUR K, BARATA PCR, BJORNDAL KA, BOLTEN AB, BRODERICK AC, CAMPBELL LM, CARRERAS C, CASALE P, CHALOUPKA M, CHAN SKF, COYNE MS, CROWDER LB, DIEZ CE, DUTTON PH, EPPERLY SP, FITZSIMMONS NN, FORMIA A, GIRONDOT M, HAYS GC, CHENG IJ, KASKA Y, LEWISON R, MORTIMER JA, NICHOLS WJ, REINA RD, SHANKER K, SPOTILA JR, TOMÁS J, WALLACE BP, WORK TM, ZBINDEN J, GODLEY BJ. Global research priorities for sea turtles: informing management and conservation in the 21st century. **Endang Species Res**, v. 11(3): 245–269, 2010.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a ecologia trófica, isotópica e os níveis de elementos essenciais e não essenciais em tecidos de *Chelonia mydas* no litoral Sul de Pernambuco.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar os principais itens alimentares que compõem a rede de dieta em *Chelonia mydas* no litoral sul de Pernambuco;

Conhecer as contribuições isotópicas de carbono e nitrogênio em diferentes tecidos de *C. mydas*, bem como de seus potenciais itens alimentares;

Registrar a largura de nicho de *C. mydas* e seu enquadramento trófico nas teias alimentares que compõe;

Determinar a distribuição e acumulação das concentrações de elementos essenciais e não essenciais em diferentes tecidos das tartarugas verdes que utilizam a costa pernambucana como área de alimentação.

## CAPÍTULO I

Artigo publicado na revista *International Journal of Development Research*

Vol. 09, Issue, 09, pp. 29891-29897, September, 2019

ISSN: 2230-9926

### CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE GREEN TURTLE (*CHELONIA MYDAS*) DIET IN THE SOUTH ATLANTIC, NORTHEAST BRAZIL

Midiã da Silva Rodrigues<sup>1,4</sup>; Adilma de Lourdes Montenegro Concentino<sup>2</sup>; Cristina Farias da Fonseca<sup>3</sup>; Geraldo Jorge Barbosa de Moura<sup>4</sup>; Múcio Luiz Banja Fernandes<sup>5</sup>; Thaysa Mariana Bezerra de Melo<sup>6</sup>; Emily Pereira de Queiroz<sup>1</sup>; Arley Cândido da Silva<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Federal Rural University of Pernambuco

<sup>2</sup> Federal University of Pernambuco - Macroalgae Laboratory of the Oceanographic Museum

<sup>3</sup> Federal Rural University of Pernambuco – Parasitology Laboratory

<sup>4</sup> Federal Rural University of Pernambuco - Laboratory of Herpetological and Paleoherpetological Studies of Federal Rural University of Pernambuco

<sup>5</sup> University of Pernambuco – Laboratory of Environmental Studies

<sup>6</sup> Federal University of Pernambuco

<sup>7</sup> President ONG Ecoassociados

#### *Abstract*

This work presents information about the digestive tract contents of the green turtles (*Chelonia mydas*) on the southern coast of Pernambuco, Northeast Brazil. Between November 2016 and October 2018, the gastrointestinal tract contents were collected from 44 stranded dead individuals. The diet consisted mainly of red algae (65.90%), especially the species *Pterocladia beachiae*, *Gelidium lineare* (52.72%) and *Gelidiella acerosa* (45.45%). Some animal items were also found, such as the soft coral *Palythoa caribaeroum* (first record for this region), the planktonic mollusks *Jantina jantina* and *Spirula spirula.*, as well as the sponges *Geodia gibberosa* and *Stelletta* sp. The contents of the digestive tract showed a strong herbivorous pattern, with indications that green turtles feed mainly on marine macroalgae.

**KEYWORDS:** Feeding. Trophic Ecology. Herbivorous.

RODRIGUES, Midiã da Silva. Laboratório de Estudos Herpetológicos e Paleoherpetológicos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP: 52171-900, Recife/PE, Brazil. Email: midia\_r@hotmail.com.

### Introduction.

The species *Chelonia mydas*, known as green turtle, is a testudine widely distributed in tropical and subtropical regions, presenting coastal habits, and is rarely found in temperate waters. This species is typically nektonic and solitary, but occasionally forms aggregations in feeding areas (Márquez, 1990). This characteristic makes it the most common sea turtle species found in feeding areas along the Brazilian coast (Sanches & Bellini, 1999, Grossman *et al.*, 2007; Almeida *et al.*, 2011; Gallo *et al.*, 2006).

During their life cycle, green turtles perform long-distance migrations and inhabit different habitat types, depending on their life stages (neonates, juveniles and adults) (Bolten, 2003). From the moment they begin to visit coastal sites to forage, their diet converts from the omnivorous one of a pelagic turtle to a herbivorous one, feeding almost exclusively on benthic algae and marine grasses (Bolten, 2003; Cardona *et al.*, 2010).

Understand the trophic ecology of turtle populations allows inferences about other population parameters, such as growth patterns and size at sexual maturity (Sampson *et al.*, 2018), supporting the management and execution of strategies for conservation of the species.

Although it is known that green turtles play an important ecological role in the food web (Bjørndal, 1997), few studies of trophic ecology have been conducted in the northeastern region of Brazil. The goal of this study was to assess their diet by examining the recovered food items from the gastrointestinal tracts of dead stranded turtles collected in the state of Pernambuco, for the first time.

## Material And Methods.

Between November 2016 and November 2018, green turtles found dead along the beaches of the southern coast of the state of Pernambuco were analyzed, (between the coordinates  $-8.078341/-4.875720$  and  $-8.606433/-35.046698$ ), comprising the municipalities of Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho and Ipojuca (Fig. 1).

The animals were transported to the Laboratory of Herpetological and Paleoherpetological Studies of Federal Rural University of Pernambuco, where necropsies were performed to remove the gastrointestinal contents. Biometric measurements, such as curved carapace length (CCL) and curved carapace width (CCW), were used to determine the development stage of the turtles (Bolten, 1999).

The coastal region where these animals were collected is characterized by a narrow and shallow continental shelf formed by carbonic deposits and several reef formations. Turtles were found in the various formations of sandy beaches along the southern coast of the Pernambuco.

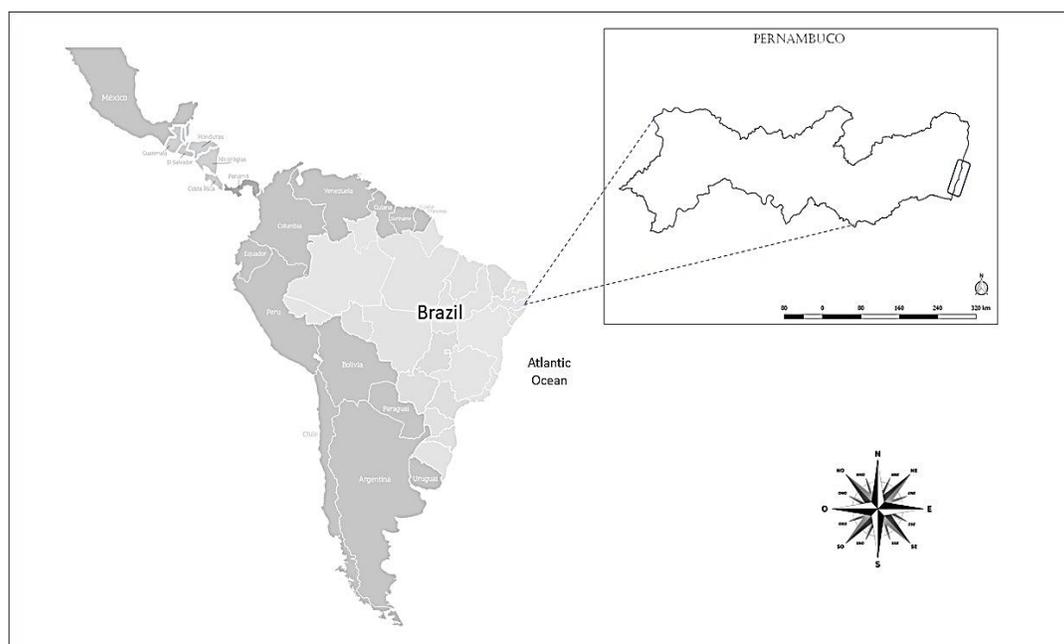


Figure 1. State of Pernambuco. Stomachs of stranded green turtles were collected along the south coast.

To study the diet, the digestive tracts of estranded animals were used, collected from the esophagus to the rectum. All the gastrointestinal samples were placed in labeled plastic bags and frozen for subsequent sorting and identification of food items, to the lowest possible taxonomic level.

These contents were analyzed according to the method adapted from Forbes (1996) and Awabdi *et al.*, (2013). All contents of each animal were emptied entirely into a white plastic vessel and then mixed with distilled water until homogenized. After this, the samples were placed in Petri dishes until reaching a volume at which the depth of the light was still able to illuminate that content. In this way, subsamples of contents were analyzed in Petri dishes, with a volume of approximately 50 ml individually, totaling 300 ml per sample (6 Petri dishes). This number was chosen, until the samples were stabilized, in identified food items, thus determining an aliquot pattern for analysis.

The taxonomic characteristics were observed with the help of a Zeiss stereoscopic microscope. For the taxonomic studies, references of Rios (1994) was used to identify the molluscs, for cephalopods we had the support of the Laboratory of Biology and Conservation of Pelagic Organisms of the São Paulo State University, while the other items were counted with the collaboration of experts from the Macroalgae Laboratory of the Oceanographic Museum of Federal University of Pernambuco; Botanical Institute (SP); Laboratory of Remaining Environments of Federal Rural University of Pernambuco, and Laboratory of Porifera of Federal University of Pernambuco. Among the analyzed material, some items remained unidentified because they were very fragmented due to the digestive processes, being considered as "remains".

The quantitative representativeness of the food items consumed was calculated by the frequency of occurrence (FO), dividing the number of gastrointestinal samples that contained a given food by the total number of samples with food items (Fig. 2). The visual predominance (Awbadi *et al.*, 2013), of the digestive tracts analyzed was used to make inferences about the dietary preferences of the species, when the individual samples contained amounts equal to or greater than 30% of the total analyzed (300ml for each gastrointestinal content).

$$FO = \frac{n^1 \dots \times 100}{N}$$

Where:

$n^1$  = Number of samples where the food item was found.

N = Total number of samples.

Figure 2. equation to calculate the quantitative representativeness of the food items.

Analyses were carried out regarding the dispersion of variables, considering two factors. First, correlations between the factors of food diversity and total weight of the animal were tested. In this case, the correlation value was not significant ( $p = 0.02$ ). Then the factors of food diversity and length of the animal carapace were correlated. In this case, the correlation value found was also not significant ( $p = 0.06$ ). To confirm the positive correlation index between two parameters, the equation below was used to determine the sample correlation coefficient (Fig. 3).

$$r = \frac{n\sum X_i \cdot Y_i - (\sum X_i) \cdot (\sum Y_i)}{\sqrt{[n\sum X_i^2] \cdot [n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}}$$

Where:  
 X = Sum of the equivalent value of the first data pattern.  
 Y = Sum of the equivalent value of the second data pattern.

Figure 3. equation below was used to determine the sample correlation coefficient, to confirm the positive correlation index between two parameters.

## Results.

In total 44 turtles ranging from 32 to 111 cm CCL (mean 49.7, SD  $\pm$  7.7) were analysed. Regarding the 44 gastrointestinal samples examined, macroalgae were found in 42 of these (FO = 95.4%). Traces of marine phanerogams were found in 4 individuals (FO = 9.09%). In 8 (FO = 18.2%) of the studied specimens, items of animal matter were found. From this percentage, N = 1 (FO = 2.27%) contained pelagic molluscs; N = 1 (FO = 2.27%) contained cephalopod jaws, N = 5 contained cnidarians and N = 2 contained sponges (FO = 4.54%). All the turtle sampled had food contents in the oesophagus or stomach. One animal probably had drowned after entanglement in fishing nets and twelve had injuries resulting from interaction with fishing activity. Seven of these presented signals of poor health conditions. Of 44 animals found stranded dead on beaches, 7 were male and 37 female. Only 6.82% (N = 3) of anthropogenic debris were identified, such as nylon lines, pieces of plastic bags and other plastic materials.

The diet was marked by the presence of macroalgae, mainly representatives of red algae, Rodophyta. This phylum was present in 56.4% of the samples, followed by brown algae (29.6%)

and green algae (14%). The red alga *Pterocladia beachiae* was the most commonly eaten food, with 65.90% occurrence, followed by rhodophytes as well as Gelidiales, *Gelidium lineare* (52.27%) and *Gelidiella acerosa* (45.45%). Regarding brown algae, the most frequent occurrence was the species *Dictyopteris delicatula* (43.18%), followed by the genera *Sargassum* sp (34.09%) and *Dictyopteris* sp (27.27%). Regarding green algae, the highest frequency was *Caulerpa prolifera* (6.81%) and *Anadyomne* (15.90%) (Table 1).

<b>TAXONOMIC ORGANIZATION</b>	<b>SPECIES</b>	<b>Fo (%)</b>
Rhodophyta	<i>Pterocladia beachiae</i>	65.90
	<i>Gelidium lineare</i>	52.27
	<i>Gelidiella acerosa</i>	45.45
	<i>Amansia multifida</i>	20.45
	<i>Cryptonemia crenulata</i>	22.72
	<i>Cryptonemia seminervis</i>	6.81
	<i>Cryptonemia</i> sp.	4.54
	<i>Hypnea</i> sp.	20.45
	<i>Gracilaria</i> sp.	20.45
	<i>Bryothamnion seaforthii</i>	9.09
	<i>Palisada perforata</i>	4.54
	<i>Chondrophycus</i> sp.	4.54
	<i>Ceramium</i> sp.	4.54
	<i>Hypnea pseudomusciformis</i>	13.63
	<i>Graacilaria cervicornes</i>	4.45
	<i>Gracilaria domigensis</i>	2.27
	<i>Chondria</i> sp.	2.27
	<i>Amphiroa</i> sp.	4.54
	<i>Jania</i> sp.	2.27
	<i>Cryptonemia</i> sp.	2.27
<i>Bryothamniom triquetum</i>	2.27	
<i>Hypnea spinella</i>	2.27	
<i>Polysiphonia</i> sp.	4.54	
<i>Botryocladia</i> sp.	2.27	
Ocrophyta	<i>Dictypteris plagiorama</i>	4.54
	<i>Dictyopteris</i> sp.	31.81
	<i>Sargassum</i> sp.	38.63
	<i>Lobophora variegata</i>	29.54
	<i>Dictyota</i> sp.	27.27
	<i>Padina</i> sp.	2.27
	<i>Dictyopteris delicatula</i>	45.45
Chlorophyta	<i>Caulerpa prolifera</i>	15.90
	<i>Bryopsis</i> sp.	13.63
	<i>Ulva</i> sp.	9.09
	<i>Caulerpa racemosa</i>	6.81
	<i>Bryopsis pennata</i>	4.54
	<i>Valonia</i> sp.	2.27
	<i>Cladophora</i> sp.	2.27
<i>Codium</i> sp.	2.27	

	<i>Chamaedoris penicillum</i>	2.27
	<i>Caulerpa sertularioides</i>	2.27
	<i>Anadyomne</i> sp.	15.90
	<i>Caulerpa lanuginosa</i>	2.27
Phanerogamae	<i>Halodule wrightii</i>	9.09
Porifera	<i>Geodia gibberosa</i>	2.27
	<i>Stelletta</i> sp.	2.27
Cnidaria	<i>Palythoa caribaeorum</i>	6.81
	<i>Halocordyle</i> sp.	4.54
Mollusca	<i>Spirula spirula</i>	2.27
	<i>Janthina janthina</i>	2.27
	<i>Chiroteuthis veranyi</i>	2.27
Crustacea	<i>Litopenaeus</i> sp.	4.54
Anthropogenic debris	Plastic items	6.81
Remains	Non-identified items	6.81

Table 1. Frequency of occurrence of prey groups recovered from stomachs analysed from south coast of Pernambuco state. This frequency is the number of digestive tracts in which the item was found.

Half of the invertebrate food samples consisted of plankton (Mollusca). The other half was composed of benthic animals (Porifera, Cnidaria and Crustacea). (Table 2 ).

Sex	CCL (cm)	CCW (cm)	Origin of food	
			Benthos	Plankton
female	42	39		X
female	34	31	X	
female	33.5	31		X
male	33	32.5		X
female	48	44.3	X	
female	56	52.5	X	
female	42	38		X
female	43	40.5	X	

Table 2. Origin of invertebrate items ingested by stranded green turtles analysed. CCL = curved carapace length; CCW = curved carapace width.

The correlation analyses between the size of the animal (related to its maturity) and the diversity of its food items showed no correlation between its size or body weight with food sources. The dispersion diagrams did not present logical groupings, as shown in figures 4 and 5, and the Pearson correlation coefficient values were insignificant, being  $p = 0.06$  for the animal length ratio and food diversification, and  $p = 0.02$  for the weight of the animal and its food diversification.

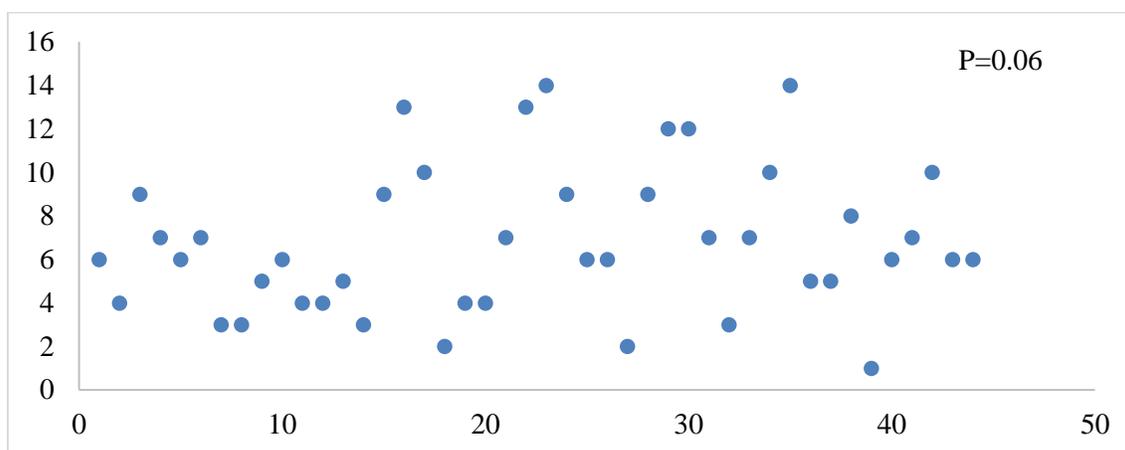


Figure 4. Scatter diagram for the correlation between animal size and its diet diversification.

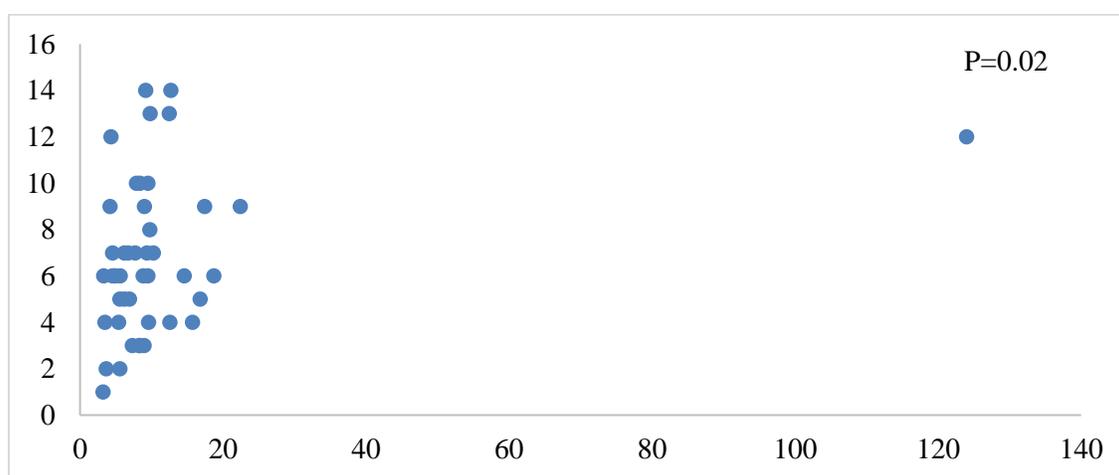


Figure 5. Scatter diagram for the correlation between the weight of the animal and its diversification of diet.

### Discussion.

The content of the digestive tract showed a strong tendency to herbivory, with indications that the turtles fed mainly on marine macroalgae (N = 42). Only traces of marine grasses were found in some of them (N = 5). This tendency for consumption of macroalgae has been reported in other studies of the Brazilian coast: Ubatuba, São Paulo state (Sazima & Sazima, 1983); Espírito Santo Bay (Santos et al., 2011) southern coast of São Paulo state (Nagaoka, 2012), Ceará state (Ferreira, 1968); Arvoredo Reserve in Santa Catarina state (Ressier et al., 2013), Rio de Janeiro state (Awabdi, et al., 2013) as well as in studies from other countries, such as Mexico (Seminoff et al., 2002; López-Mendilaharsu et al., 2005), Hawaii - USA (Arthur & Balazs, 2009), Australia (Limpus et al., 1994), Arabia (Ross, 1985) and Oman (Ferreira et al., 2006).

The most predominant macroalgae in the digestive tract of the animals in our study area were

*Pterocladiaella beachiae*, *Gelidium lineare* and *Gelidiella acerosa*, all Rhodophytes of the Gelidiales order. In the same way, other studies have also presented red algae as the group most consumed by *C. mydas* (Ferreira, 1968; Sazima & Sazima, 1985; Brand-Gardner et al., 1999; Fuentes et al., 2006; Arthur & Balazs, 2009; Russell; Balazs, 2009; Reisser et al., 2013; Awabdi et al., 2013; Karam-Martínez, et al., 2017) The red algae, especially those of the order *Gelidiales*, the main macroalga consumed in this study, are known to be a group with high protein and energy values (Patterson 1977; Rubenstein & Wikelski, 2003), which suggests that green sea turtles in southern Pernambuco have positive selectivity for these, enabling them to extract greater nutritional value from the available foods.

The genus *Pterocladiaella* has also appeared as one of the main items of the green turtle diet at other feeding sites, such as Hawaii (Arthur & Balazs 2009), Uruguay (López -Mendilaharsu et al., 2006), southeastern Brazil (Santos et al., 2011; Awabadi et al., 2013) and south Brazil (Ressier, et al., 2013). Paiva et al., (2017) reported that one species of the genus *Pterocladiaella* and another of the genus *Gelidium*, both found having high FO levels in this work, are sources of high-quality nutrients as well as bioactive components. In this respect, McDermid et al., (2007), studying the nutritional values of algal species consumed by *C. mydas* in Hawaii, concluded that *P. capillacea* presented the highest values of energy, soluble carbohydrates, proteins, vitamin A and some minerals, in agreement with our findings.

In contrast to Seminoff et al., (2002), López-Mendilaharsu et al., (2005) and Santos et al., (2011), who found possible negative selectivity of green turtles in relation to the brown algae *Sargassum horridum* and *Dictyopteris delicatula*, we found a high frequency of brown algae, with three species surpassing 30%, including *D. delicatula*, which was found in 20 of 44 animals analyzed. It is known that the diet of green turtles can be influenced by palatability (Guebert-Bartholo et al., 2011), quality (Sazima & Sazima, 1983; Bjornda1, 980) and digestibility of the food, since turtles seem to avoid certain algal species, even in places where they are abundant (Santos et al., 2011). However, our evidence shows that for the region studied, green turtles do not avoid brown algae species,

which were the second group of macroalgae most consumed (29.6%), presenting species with considerable presence in the gastrointestinal tracts: *D. delicatula* (N = 20), *Sargassum* sp (N = 17) and *Dictyopteris* sp (N = 14). Although we did not analyze the plant cover (sea grass and macroalgae) in the places where the dead turtles were found, other factors may influence the feeding choice of turtles, according to the peculiarities of the feeding area (food availability, environmental conditions). In addition, observations made on the island of Fernando de Noronha by Fernandes and Moura (2018) reinforce the idea that green turtles feed on the brown macroalgae of the genus *Dictyopteris* in that region.

Like in other studies (Seminoff et al., 2002; Ferreira et al., 2006; Fuentes et al., 2006; López-Mendilaharsu et al., 2008, Carrión et al., 2010), we also noted the incidental consumption of some items that are adhered to algae, appearing at low frequency levels, such as epiphytic algae and animal material. However, it is recognized that analyzing only the FO of some items can generate erroneous interpretations, since in this study, relatively significant amounts of animal items were found in some samples, but with low FO. In one of the samples (FO = 2.27), eight squid beaks were found; in another three (FO = 6.81%), 18 pieces of *Palythoa caribaeorum* were found, while in another two (although it was not possible to count them), we visually identified *Geodia gibberosa* and *Stelletta* sp., occupying large portions of the total volume analyzed. Therefore, visual and interpretative analysis of the stomach contents of each dead turtle is important (Awabdi et al., 2013).

In one of the turtles analyzed in this study (33.5 cm CCL), no macroalgae or foods of plant origin were found, only shells of the pelagic molluscs *Janthina janhtina* and *Spirula spirula*. Hughes (1974), while analyzing a green turtle (25.7 cm SCL) found inside a shark in Africa, found the stomach to be full of *J. janthina*. The mean carapace length (CCL) indicated as marking the change from pelagic to neritic habitat of green turtles is between 20 and 25 cm in the Northwest Atlantic (Musick & Limpus, 1996) and between 30 and 35 cm for Hawaii and Australia (Limpus et al., 1994). It can be inferred that this juvenile animal was still occupying pelagic foraging areas, with

carapace length closer to that found for the United States and Australia. Bolten (2003) confirmed that pelagic juveniles use opportunistic feeding strategies, predated planktonic organisms.

The results presented here are reinforced by the observations of Ressler et al. (2013), in Santa Catarina, who when analyzing the grazing behavior of *C. mydas* found several individuals feeding on the coral *Palythoa caribaeorum*. The authors pointed out that the bite marks on the colonies of these cnidarians were extensive to the point of exposing the rocky portion below them. As far as we know, this is the first report of the consumption of *P. caribaeorum* by a green turtle in northeastern Brazil.

Therefore, the evidence presented here indicates there is deliberate consumption of some items of animal matter, such as sponges, cnidarians and mollusks, corroborating the findings of Seminoff et al., (2002); Amorcho and Reina (2007); Arthur et al. (2009); Lemons et al. (2011); González Carman et al., (2012); Ressler et al., (2013). Similarly, Bugoni et al., (2003) suggested that ingestion of invertebrates by green turtles may be incidental, but there appears to be selectivity in some cases. It is also believed that although some of these items are accidentally consumed as a result of the green turtle's eating habit, they may contribute to their diet by providing vitamins, minerals and essential amino acids (Bjørndal, 1990).

The consumption of squid by green turtles has also been reported (Seminoff et al., 2002; Morais et al., 2012). However, cephalopods should not be considered a common prey for green turtles, because their association with deep waters (Vaske Jr, 2011; Perez, 2014). In this case, Andrades et al., (2019) suggest an opportunistic scavenging behavior to explain this and make correlations with debris ingestion. The majority of floating material on the ocean surface is plastic debris, thus the behavior to forage on floating material can be dangerous (Law et al., 2010; Andrades et al., 2019). This corroborates our findings, once several plastic debris were observed in the stomach where the squid beaks were found.

As also found by Santos et al., (2011) and Awabdi et al., (2013), although we were unable to be absolutely certain where the turtles foraged before dying, our analyses of the digestive content of

beached animals were significant, since more than 85% of the animals collected had recently died, indicating that the contents found represented the local diet. Furthermore, our analysis during all seasons over a two-year period (2017 and 2018) provides information about the feeding habits of green turtles at all times of the year.

In this study, it was not possible to determine a correlation between the maturity or weight of the studied animals with their diets. On the other hand, the frequency of occurrence of the red algae found, mainly of the Gelidiales Order, compared with the visual analyses of the volume of contents, in agreement with the literature, showed a strong tendency of the green turtles to feed selectively on macroalgae.

Differences in diet composition can be related to local availability of food (Sazima & Sazima, 1983; Garnett et al., 1985; López-Mendilaharsu et al., 2008; Carrión-Cortez et al., 2010, Guebert-Bartholo et al., (2011), as well as a certain level of selectivity (Bjorndal, 1980) Brand-Gardner et al., 1999); Seminoff et al., 2002; Fuentes et al., 2006; López-Mendilaharsu. et al., 2005; Russell; Balazs, 2009; Santos et al., 2011; Ressler et al., 2013).

### **Conclusions.**

The survey of the contents of the digestive tracts of 44 green turtles reinforces the high preference for foods of plant origin, predominated by macroalgae of the Rhodophyta division, followed by the Ocrophyta division.

Pearson's correlation tests did not reveal more selective feeding activities. However, our analyses show that for the southern coast of Pernambuco, despite the diversity of macroalgae, there is a preference for a few species as main food items, namely: (1) *Pterocladia beachiae*; (2) *Gelidium lineare*; and (3) *Gelidiella acerosa*, all of the order Gelidiales.

In this sense, it is important to conduct a survey of the marine vegetation in the studied sites, thus allowing a better evaluation of the existence or not of selectivity in the algal intake found in our analysis of *C. mydas* diet. It is also worth noting that knowledge of the feeding sites of this

endangered species is important for the formulation of conservation proposals, focusing mainly on coastal areas with large macroalgae vegetation.

#### Acknowledgements.

We thank the Executive Secretariat of the Environment and Urban Management (Semag) of Jabotão dos Guararapes, in the person of Adriano Artoni, and the ONG Ecoassociados, for support in locating and gathering the dead turtles. We are also grateful to the specialists who helped to identify each item found: Fernanda Duarte Amaral, Ulisses Santos Pinheiro and Teodoro Vaske Júnior.

#### References.

Almeida, A. P., Santos, A. J. B., Thomé, J. C. A., Belini, C., Baptistotte, C., Marcovaldi, M. A., Santos, A. S., & Lopez, M. (2011). Avaliação do estado de conservação da tartaruga marinha *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) no Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 1(1), 12-19. <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/87>.

Amorocho , D.F., & Reina, R.D. (2007). Feeding ecology of the east Pacific green sea turtle *Chelonia mydas agassizii* at gorgona national Park, Colombia. *Endangered species research*, 3(1), 43–51. doi:10.3354/esr003043.

Andrades, R., dos Santos, R.A., Martins, A.S., Teles D., & Santos R.G. (2019). Scavenging as a pathway for plastic ingestion by marine animals. *Environmental Pollution*. 248, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.010>.

Arthur, K. E., McMahan, K. M., Limpus, C. J., & Dennison, W. C. (2009). Feeding ecology of green turtles (*Chelonia mydas*) from Shoalwater Bay, Australia. *Marine Turtle Newsletter*, 123, 6-12. <http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn123/mtn123p6.shtml>.

Arthur, K. E., & Balazs, G. H. (2008). A Comparison of Immature Green Turtle (*Chelonia mydas*) Diets among Seven Sites in the Main Hawaiian Islands. Hawaii. *Pacific Science*, 62(2), 205-218. [https://doi.org/10.2984/1534-6188\(2008\)62\[205:ACOIGT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2984/1534-6188(2008)62[205:ACOIGT]2.0.CO;2).

Awabdi, D. R., Siciliano, S., & Di Benedetto, A. P. M. (2013). First information about the stomach contents of juvenile green turtles, *Chelonia mydas*, in Rio de Janeiro, south-eastern Brazil. *Marine Biodiversity Records*, 6(5), 1-6. doi:10.1017/S1755267212001029.

Bjorndal, K. A. (1980). Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology*, 56(2), 147-154. <https://doi.org/10.1007/BF00397131>

Bjorndal K.A. (1990) Digestibility of the sponge *Chondrilla nucula* in the green turtle *Chelonia mydas*. *Bulletin of Marine Science* 47(2), 567–570. [http://www.seaturtle.org/PDF/BjorndalKA\\_1990\\_BullMarSci.pdf](http://www.seaturtle.org/PDF/BjorndalKA_1990_BullMarSci.pdf)

Bjorndal, K.A. (1997) Foraging Ecology and Nutrition of Sea Turtles. In: Lutz, P.L. and Musick J.A., Eds., *The Biology of Sea Turtles*, CRC Press, Boca Raton, 199-231. [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?Referenc eID=2045883](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?Referenc eID=2045883).

Bolten, A. B. (1999). Techniques for measuring sea turtles. *Research and management techniques for the conservation of sea turtles*, Washington, 4(1). 110-114. <https://mtsg.files.wordpress.com/2010/07/26-measuring-sea-turtle-growth.pdf>.

Bolten, A. B. (2003). Variation in sea turtle life history patterns: neritic vs. oceanic developmental stages. *The biology of sea turtles*, 2(1), 243-257.

Brand-Gardner, S. J., Limpus, C. J., & Lanyon, J. M. (1999). Diet selection by immature green turtles, *Chelonia mydas*, in subtropical Moreton Bay, south-east Queensland. *Australian Journal of Zoology*, 47(2), 181-191. <https://doi.org/10.1071/ZO98065>.

Bugoni L., Krause L., & Petry M.V. (2003). Diet of sea turtles in Southern Brazil. *Chelonian Conserv Biol* 4(3), 685–688 doi: 10.1016/S0025-326X(01)00147-342(12). 1330–1334. doi: 10.1016/S0025-326X(01)00147-3.

Cardona, L., Campos, P., Levy, Y., Demetropoulos, A., & Margaritoulis, D. (2010). Asynchrony between dietary and nutritional shifts during the ontogeny of green turtles (*Chelonia mydas*) in the Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 393(1-2), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.07.004>.

Carman, V. G., Falabella, V., Maxwell, S., Albareda, D., Campagna, C., & Mianzan, H. (2012). Revisiting the ontogenetic shift paradigm: the case of juvenile green turtles in the SW Atlantic. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 429(1), 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.06.007>.

Carrión-Cortez, J. A., Zárate, P., & Seminoff, J. A. (2010). Feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(5), 1005-1013. <https://doi.org/10.1017/S0025315410000226>.

Fernandes, M. L. B., & Moura, G. J. B. (2018). *Chelonia mydas* (green sea turtle) diet. *Herpetological Review*, 49(1), 104.

Ferreira, B., Garcia, M., Jupp, B. P., & Al-Kiyumi, A. (2006). Diet of green turtle (*Chelonia mydas*) at Ras Al Hadd, Sultanate of Oman. *Chelonian Conservation and Biology*, 5(1), 141–146. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2006\)5\[141:DOTGTC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2006)5[141:DOTGTC]2.0.CO;2).

Ferreira, M. M. (1968). Sobre a alimentação da aruanã, *Chelonia mydas* Linnaeus, ao longo da costa do estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, 8(1), 83-86. <http://www.periodicos.ufc.br/arquivosdecienciadomar/article/download/33295/73301>

Forbes, G. A. (1996). The diet and feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in an algal-based coral reef community (*Doctoral dissertation, James Cook University*).

Fuentes, M. M., Lawler, I. R., & Gyuris, E. (2007). Dietary preferences of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) on a tropical reef flat. *Wildlife Research*, 33(8), 671-678. <https://doi.org/10.1071/WR05081>

Gallo, B. M., Macedo, S., Giffoni, B. D. B., Becker, J. H., & Barata, P. C. (2006). Sea turtle conservation in Ubatuba, southeastern Brazil, a feeding area with incidental capture in coastal fisheries. *Chelonian conservation and biology*, 5(1), 93-101. [https://doi.org/10.2744/1071-8443\(2006\)5\[93:STCIUS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2744/1071-8443(2006)5[93:STCIUS]2.0.CO;2).

Garnett, S. T., Price, I. R., & Scott, F. J. (1985). The diet of the green turtle, *Chelonia mydas* (L.), in Torres Strait. *Wildlife Research*, 12(1), 103-112. <https://doi.org/10.1071/WR9850103>.

González Carman, V., Álvarez, K. C., Prosdocimi, L., Inchaurrega, M. C., Dellacasa, R. F., Faiella, A., ... & Campagna, C. (2012). Argentinian coastal waters: A temperate habitat for three species of threatened sea turtles. *Marine Biology Research*, 7(5), 500-508. <https://doi.org/10.1080/17451000.2010.528772>.

Grossman, A., Mendonça, P., Costa, M. R., & Bellini, C. (2007). Morphometrics of the green turtle at the Atol das Rocas Marine Biological Reserve, Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, 118(1), 12-13. <http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn118/mtn118p12.shtml>.

Guebert-Bartholo, F. M., Barletta, M., Costa, M. F., & Monteiro-Filho, E. L. A. (2011). Using gut contents to assess foraging patterns of juvenile green turtles *Chelonia mydas* in the Paranaguá Estuary, Brazil. *Endangered Species Research*, 13(2), 131-143. <https://doi.org/10.3354/esr00320>.

Hughes, G. R. (1974). The sea turtles of South-east Africa. The biology of the Tongaland loggerhead turtle *Caretta caretta* L. with comments on the leatherback turtle *Dermochelys coriacea* L. and the green turtle *Chelonia mydas* L. in the study region. *Invest. Rep. Oceanogr. Res. Inst. Durban*, (36), 96.

Karam-Martínez, S. G., Raymundo-González, I., Montoya-Márquez, J. A., Villegas-Zurita, F., & Becerril-Bobadilla, F. (2017). Characterization of a Green Turtle (*Chelonia mydas*) Foraging Aggregation along the Pacific Coast of Southern Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*, 12(2), 477-487. <https://www.researchgate.net/publication/319435393>.

Lemons, G., Lewison, R., Komoroske, L., Gaos, A., Lai, C. T., Dutton, P., ... & Seminoff, J. A. (2011). Trophic ecology of green sea turtles in a highly urbanized bay: insights from stable isotopes and mixing models. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 405(1-2), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.05.012>.

Limpus, C. J., Couper, P. J., & Read, M. A. (1994). The green turtle, *Chelonia mydas*, in Queensland: population structure in a warm temperature feeding area. *Memoirs of the Queensland Museum. Brisbane*, 35(1), 139-154.

López-Mendilaharsu, M., Gardner, S. C., Seminoff, J. A., & Riosmena-Rodríguez, R. (2005). Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 15(3), 259-269. <https://doi.org/10.1002/aqc.676>.

López Mendilaharsu, M., Calvo Silvera, M. V., Caraccio, M. N., Estrades, A., Carrera, H., Heber, M., & Quirici Valadan, R. V. (2006). *Biología, ecología y etología de las tortugas marinas en la zona costera uruguaya*, 504(4), 899.

López-Mendilaharsu, M., Gardner, S. C., Riosmena-Rodriguez, R., & Seminoff, J. A. (2008). Diet selection by immature green turtles (*Chelonia mydas*) at Bahía Magdalena foraging ground in the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(3), 641-647. <https://doi.org/10.1017/S0025315408001057>.

Márquez, M. R. (1990). An annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date. *FAO Fish*, Rome, 125(1), 1-81. <http://www.fao.org/3/a-t0244e.pdf>.

McDermid, K. J., Stuercke, B., & Balazs, G. H. (2007). Nutritional composition of marine plants in the diet of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Hawaiian Islands. *Bulletin of Marine Science*, 81(1), 55-71. <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2007/00000081/00000001/art00004>.

Morais, R.A., Longo, G.O., Santos, R.A., Yoshida, E.T.E., Stahelin, G.D., & Horta, P.A. (2012). Cephalopod ingestion by juvenile green sea turtles (*Chelonia mydas*): predatory or scavenging behavior? *Herpetological Review*. 43, 47-50.

Law, K.L., Morét-Ferguson, S., Maximenko, N.A., Proskurowski, G., Peacock, E.E., Hafner, J., & Reddy, C.M. (2010). Plastic accumulation in the north atlantic sub-tropical gyre. *Science*, 329, 1185-1188. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>.

Limpus, C. J., & Musick, J. A. (2017). Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. In *The Biology of Sea Turtles*, CRC Press, 1(1), 151-178.

Nagaoka, S. M., Martins, A. S., Dos Santos, R. G., Tognella, M. M. P., de Oliveira Filho, E. C., & Seminoff, J. A. (2012). Diet of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) associating with artisanal fishing traps in a subtropical estuary in Brazil. *Marine Biology*, 159(3), 573-581. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1836-y>.

Paiva, L., Lima, E., Neto, A. I., Marcone, M., & Baptista, J. (2017). Nutritional and functional bioactivity value of selected Azorean macroalgae: *Ulva compressa*, *Ulva rigida*, *Gelidium microdon*, and *Pterocladia capillacea*. *Journal of food science*, 82(7), 1757-1764. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13778>.

Patterson G. W. (1977). Survey of chemical components and energy consideration. In *The Marine Plant Biomass of the Pacific North West Coast*, Krauss RW. Oregon State University Press: Conwallis, 271–287.

Perez, J.A.A., Martins, R.S., & Santos, R.A., (2004). Cefalópodes capturados pela pesca comercial de talude no sudeste e sul do Brasil. *Notas Técnicas da FACIMAR* 8, 65-74. <sup>[1]</sup><sub>[SEP]</sub>

Reisser, J., Proietti, M., Sazima, I., Kinas, P., Horta, P., & Secchi, E. (2013). Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) at rocky reefs in western South Atlantic. *Marine biology*, 160(12), 3169-3179. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2304-7>.

- Rios, E. D. C. (1994). Seashells of Brazil. 2 ed. *Editora da FURG, Rio Grande, Brasil, 550pp.*
- Ross, J. P. (1985). Biology of the green turtle, *Chelonia mydas*, on an Arabian feeding ground. *Journal of Herpetology*, 19(4), 459-468. <https://doi.org/10.2307/1564198>.
- Rubenstein, D. R., & Wikelski, M. (2003). Seasonal changes in food quality: a proximate cue for reproductive timing in marine iguanas. *Ecology*, 84(11), 3013-3023. <https://doi.org/10.1890/02-0354>.
- Russell, D. J., & Balazs, G. H. (2009). Dietary Shifts by Green Turtles (*Chelonia mydas*) in the Kāneʻohe Bay Region of the Hawaiian Islands: A 28-Year Study. *Pacific Science*, 63(2), 181-193. <https://doi.org/10.2984/049.063.0202>.
- Sampson, L., Giraldo, A., Payán, L. F., Amorochó, D. F., Ramos, M. A., & Seminoff, J. A. (2018). Trophic ecology of green turtle *Chelonia mydas* juveniles in the Colombian Pacific. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(7), 1817-1829. <https://doi.org/10.1017/S0025315417001400>.
- Sanches, T. M., & Bellini, C. L. A. U. D. I. O. (1999). Juvenile *Eretmochelys imbricata* and *Chelonia mydas* in the Archipelago of Fernando de Noronha, Brazil. *Chelonian Conservation and Biology*, 3(2), 308-311.
- Santos, R. G., Martins, A. S., da Nobrega Farias, J., Horta, P. A., Pinheiro, H. T., Torezani, E., ... & Work, T. M. (2011). Coastal habitat degradation and green sea turtle diets in Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), 1297-1302. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.03.004>.
- Sazima, I., & Sazima, M. (1983). Aspectos de comportamento alimentar e dieta da tartaruga marinha, *Chelonia mydas* no litoral norte paulista. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 32(2), 199-203. <http://www.scielo.br/pdf/bjoce/v32n2/v32n2a11.pdf>.
- Seminoff, J. A., Resendiz, A., & Nichols, W. J. (2002). Diet of East Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) in the central Gulf of California, Mexico. *Journal of Herpetology*, 36(3), 447-454. [https://doi.org/10.1670/0022-1511\(2002\)036\[0447:DOEPGT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1670/0022-1511(2002)036[0447:DOEPGT]2.0.CO;2).
- Vaske Júnior, T. (2011). Are deep-sea cephalopods really common preys for oceanic seabirds? *Biota Neotropica*, 11(1), 177-180. <https://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032011000100018>

## CAPÍTULO 2

### Uso de isótopos de C e N para investigar a ecologia trófica de tartarugas verdes (*Chelonia mydas*) do Atlântico Sul, Nordeste do Brasil

A ser submetido à revista Marine Biology ISSN: 1432-1793

Midiã S. Rodrigues<sup>1,6</sup>, Janaína L. S.<sup>2</sup>, Plínio Barbosa de Camargo<sup>2</sup>, Cristina Farias da Fonseca<sup>1,3</sup>,  
Múcio Luiz Banja Fernandes<sup>5</sup>, Geraldo Jorge Barbosa de Moura<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós – Graduação em Ciência Animal Tropical (PGCAT), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA), Universidade de São Paulo (USP)

<sup>3</sup> Laboratório de Parasitologia (LAPAR), Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>4</sup> Laboratório de Estudos Ambientais, University de Pernambuco (UPE), Rua Amaro Maltês de Farias, Nazaré da Mata, Pernambuco, Brasil

<sup>5</sup> Programa de Pós Graduação em Ecologia (PPGE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>6</sup> Laboratório de Estudos Herpetológicos e Paleherpetológicos (LEHP), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

*Corresponding autor:*

Email address: [midia\\_r@hotmail.com](mailto:midia_r@hotmail.com) (M. Rodrigues)

#### Resumo

Este estudo investigou a ecologia trófica de 42 tartarugas verdes na costa Sul de Pernambuco, Brasil, determinado as composições isotópicas de C e N de diferentes tecidos (rim, epiderme, músculo peitoral, osso, unhas e fígado) bem como de seus potenciais itens alimentares. Diferença significativa foi encontrada entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos tecidos ( $p < 0.05$ ). Foi calculada a área padrão da elipse (SEA) dos indivíduos ( $\text{SEA}_i$ ) em relação à população ( $\text{SEA}_p$ ), para estimar a especialização alimentar. Os índices alimentares calculados sugeriram que *C. mydas* não apresentam seletividade na escolha de itens alimentares, sendo assim, os indivíduos não são especializados no uso de recursos em relação à população. Diferenças na composição isotópica de gramas marinhas e macroalgas, contribuem para a variação isotópica na população de *C. mydas* residentes. Os resultados do modelo de mistura (MixSIAR) na análise de isótopos estáveis, sugerem que sua dieta é predominantemente composta por macroalgas neríticas. Essas descobertas contribuem com a compreensão da ecologia trófica de *C. mydas* para o Atlântico Sul, região Nordeste do Brasil, auxiliando assim, nas medidas de conservação para a espécie.

**Palavras chave:** dieta; nicho isotópico; especialização alimentar; forrageamento.

## 46 Abstract

47 This study investigated the trophic ecology of 42 green turtles found along the southern coast of  
48 Pernambuco, Brazil, to determine the isotopic compositions of C and N in different tissues (kidney,  
49 epidermis, pectoral muscle, bone, claws and liver) as well as the turtles' food items. Significant  
50 difference was found between the  $\delta^{13}\text{C}$  values of the tissues ( $p < 0.05$ ). The standard ellipse area  
51 (SEA) of individuals ( $\text{SEAI}$ ) in relation to the population ( $\text{SEAp}$ ) was calculated to estimate food  
52 specialization. The calculated food indexes suggested that *C. mydas* is not highly selective in the  
53 choice of food items. Therefore, individuals are not specialized in the use of resources in relation to  
54 the population. Differences in the isotopic composition of seagrass and macroalgae contribute to the  
55 isotopic variation in the population of *C. mydas*. The results of the mixing model for stable isotopes  
56 (MixSIAR) suggest that the species' diet is predominantly composed of neritic macroalgae. These  
57 discoveries contribute to comprehension of the trophic ecology of *C. mydas* in the South Atlantic in  
58 Northeast Brazil, thus helping support conservation measures of the species.

59 Keywords: diet; isotopic niche; food specialization; foraging.

60

61

## 62 INTRODUÇÃO

63

64 A espécie *Chelonia mydas*, conhecida como tartaruga verde, apresenta características  
65 altamente migratórias que forma populações compostas por indivíduos com múltiplas áreas de  
66 forrageamento (Harrison; Bjorndal, 2006). Encontra-se amplamente distribuída pelas regiões  
67 tropicais e subtropicais, apresentando hábitos costeiros, sendo raramente encontrada em águas  
68 temperadas (Márquez, 1990).

69 Nos anos iniciais de vida, apresentam hábitos onívoros/carnívoros, ocupando áreas  
70 oceânicas (Bjorndal, 1997). Ao passo que se tornam grandes o suficiente para nadar longas  
71 distâncias, passam por turnos ontogenéticos e recrutam para áreas costeiras ou neríticas, iniciando  
72 frequentemente mudanças na dieta, com tendências à herbivoria. Os campos de forrageamento  
73 costeiro juvenil e adulto podem ser separados, com áreas que servem de habitat de transição ou de  
74 desenvolvimento para tartarugas menores (Meylan et al. 2011).

75 Embora os estudos, tradicionalmente, tenham comprovado a herbivoria, as tartarugas verdes  
76 apresentam uma plasticidade alimentar ampla, tanto em relação à estratégia de forrageamento  
77 quanto à dieta (Santos et al. 2015). Até que ponto a dieta das tartarugas verdes é determinada pela  
78 seletividade ou pela disponibilidade de alimentos, esta é uma questão que vem sendo bastante  
79 discutida, nos mais variados estudos ao longo do mundo (Bjorndal, 1997).

80 As diferenças na composição da dieta de *C. mydas* podem estar relacionadas à  
81 disponibilidade local de alimentos (Sazima e Sazima, 1983; Garnett et al. 1985; López-

82 Mendilaharsu et al. 2008; Carrión-Cortez et al., 2010, Guebert-Bartholo et al. 2011), como também,  
83 estudos têm demonstrado um certo grau de seletividade (Bjorndal, 1980; Brand-Gardner et al.,  
84 1999; Seminoff et al., 2002; Fuentes et al., 2006; Lopez-Mendilaharsu et al., 2005; Russell e Balazs,  
85 2009; Santos et al. 2011; Ressler et al. 2013).

86 Sabendo das características alimentares desta espécie, a análise de isótopos estáveis (AIE) é  
87 uma ferramenta importante para os estudos da ecologia trófica. O uso de isótopos como carbono e  
88 nitrogênio nos tecidos dos consumidores e de seus itens alimentares, vêm sendo utilizados para  
89 acessar o nível trófico, reconstruir a dieta, conhecer os padrões de migração e utilização de habitat  
90 (Collier E Lyon 1991; Fleming et al. 1993; Goodley et al. 1998; Hatase et al. 2002; Biasatti, 2004;  
91 Revelles et al. 2007; Arthur et al. 2008; Vander Zanden et al. 2013; Ceriani et al. 2014; Carpentier  
92 et al. 2015; Prior et al. 2016).

93 A análise de análise de isótopos estáveis é uma alternativa a outras abordagens, para estudos  
94 de ecologia trófica, como a lavagem esofágica (Santos et al. 2015; Prior et al. 2016), conteúdo  
95 estomacal (Parker et al. 2011, Carman et al. 2014, Santos et al. 2015; RODRIGUES et al. 2019),  
96 conteúdo intestinal (Parker et al. 2011), análise de fezes (Seminoff et al. 2002) e observação direta  
97 (Nagaoka et al. 2012; Ressler et al., 2013), que podem subestimar ou superestimar os dados  
98 encontrados. Essas técnicas convencionais de análise da dieta, revelam apenas os alimentos que  
99 foram consumidos recentemente (Lemmons et al. 2011).

100 A análise de isótopos estáveis se baseia no fato de que a dieta consumida pelos animais, é  
101 incorporada em seus tecidos. Os valores de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio nos tecidos  
102 animais, são um reflexo dos valores de isótopos de C e N da dieta e, conseqüentemente,  
103 representam uma ferramenta poderosa para estudos de ecologia alimentar (Murray e Wolf, 2013).

104 Cada tecido apresenta uma taxa de *turnover* (taxa de reposição dos tecidos biológicos)  
105 distinta, assim, os valores de isótopos estáveis diferem entre os tecidos. Portanto, diferentes tecidos  
106 podem fornecer informações temporais diferentes sobre a dieta. Por meio do metabolismo, os  
107 isótopos de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  da dieta são transferidos aos tecidos animais. Essa transferência inclui  
108 processos bioquímicos que podem enriquecer ou empobrecer esses isótopos, quando comparados à  
109 dieta (Tiezen et al. 1983; Peterson e Fry, 1987; Hobson e Clark, 1992). Isto é o que se conhece  
110 por fracionamento isotópico (Post, 2002).

111 Isótopos estáveis também são usados para estimar a amplitude do nicho isotópico,  
112 possibilitando assim, medir a diversidade de hábitos alimentares dos consumidores (Bearhop et al.  
113 2004; Syväranta et al. 2013). Isótopos estáveis de C e N dos tecidos das espécies estudadas podem  
114 ser organizados de forma a gerar coordenadas em espaços multivariados, denominados  $\delta$ -espaços,  
115 que refletem dimensões análogas às do nicho hutchinsoniano (dimensões biótica e abióticas)

116 (Newsome et al. 2007). Os  $\delta$  espaços podem ser usados como uma indicação do nicho realizado,  
117 uma vez que a composição química dos tecidos dos indivíduos é fortemente influenciada pelo que o  
118 indivíduo consome e pelo habitat que ele ocupa. Com base nisso, Newsome et al. (2007)  
119 propuseram o termo nicho isotópico como uma ferramenta para avaliar as características ecológicas  
120 dos organismos relevantes para o nicho ecológico.

121 O nicho isotópico é método quantitativo para definir o espaço do nicho ecológico, que  
122 utiliza a análise de isótopos estáveis para fornecer informações sobre o uso de recursos (bionímicos)  
123 e habitat (cenopoéticos), sendo tipicamente representada pela mensuração de dois ou mais isótopos  
124 estáveis dos tecidos do consumidor (Newsome et al. 2007). É uma métrica que pode ser usada para  
125 comparar a dieta assimilada e diferenças de habitat entre e/ou populações animais, procurando  
126 oferecer dados mais quantitativos de aplicações desta ferramenta de análise (Layman et al. 2007;  
127 Navarro et al. 2011; Vander Zanden et al., 2013; Murray e Wolf 2013).

128 Assim, investigamos a ecologia trófica de tartarugas verdes na costa Sul de Pernambuco,  
129 Brasil, determinado a composição isotópica de C e N de diferentes tecidos, bem como dos seus  
130 potenciais itens alimentares. Os tecidos utilizados foram epiderme, músculo peitoral, unha, rim,  
131 fígado e área óssea do casco. Os objetivos deste trabalho foram (1) conhecer a composição isotópica  
132 de C e N em diferentes tecidos de *C. mydas*, bem como dos potenciais itens alimentares; (2)  
133 caracterizar a dieta destes animais e (3) registrar a especialização da dieta de *C. mydas* e seu  
134 enquadramento trófico-isotópico nas teias alimentares. Desta forma, ao explorar a variabilidade  
135 trófica e a importância dos itens alimentares, este estudo ajudará a refinar esforços os de  
136 conservação e manejo de tartarugas verdes, bem como ajudar a esclarecer a biologia destas em  
137 habitats similares ao longo da costa do Atlântico Sul.

## 138 139 MATERIAL E MÉTODOS

### 140 141 **ÁREA DE ESTUDO**

142  
143 As áreas de estudo foi realizado em 8 praias do litoral sul do Estado de Pernambuco, região  
144 Nordeste do Brasil, (-8.078341 / -4.875720 e -8.606433 / -35.046698), compreendendo os  
145 municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (Figura 1).

146 O litoral pernambucano apresenta 187 km de extensão caracterizado por abrigar a flora  
147 marinha mais diversificada do Brasil, com representantes típicos de regiões tropicais,  
148 principalmente estabelecida sobre recifes de arenito incrustados por algas calcárias e corais,  
149 favoráveis ao crescimento de outras algas bentônicas (Soares e Mutu 2012).

150 Possui clima tropical quente e úmido do tipo As' (Andrade e Lins 1971), com médias anuais  
151 de temperatura de 26°C, com um período seco entre setembro e fevereiro e um período chuvoso de

152 março a agosto (Kempf 1967/69). Os ventos predominantes são de sudeste (Rollnic et al. 2011) e as  
 153 marés são semidiurnas, com amplitude máxima de 3,1 m e mínima de -0,2 m (Rollnic e Medeiros  
 154 2006).

155 A região litoral onde os animais foram coletados, caracteriza-se por possuir uma plataforma  
 156 continental estreita e rasa, composta por depósitos carbonáticos e diversas formações recifais,  
 157 constituídos por embasamentos areníticos e arenítico ferruginoso (Dominguez et al. 1990). As  
 158 tartarugas foram encontradas mortas nas várias formações de praias arenosas ao longo do litoral sul  
 159 do Estado de Pernambuco (Figura 1).

160



161

162 **FIGURA 2** - Localização das áreas de amostragem de tartarugas verdes, Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

## 163 METODOLOGIA AMOSTRAL

164

165 Entre os meses de novembro de 2016 novembro a novembro de 2018 novembro, foram  
 166 analisados 42 espécimes de *Chelonia mydas*. As carcaças frescas foram transportadas para o  
 167 Laboratório de Estudos Herpetológicos e Paleoherpetológicos da Universidade Federal Rural de  
 168 Pernambuco, onde foram necropsiadas. No momento da necropsia, o sexo dos animais foi  
 169 determinado a partir da análise visual das gônadas (Wibbels et al. 2000; Wyneken et al. 2007).  
 170 Foram realizadas aferições das medidas biométricas, como o comprimento curvilinear (CCC) e  
 171 largura curvilinear da carapaça (LCC), com auxílio de fita métrica, a fim de averiguar o estágio de  
 172 desenvolvimento das tartarugas encontradas (Bolten 1999).

173 Este projeto está autorizado sob licença Sisbio de número 56195-2. Salienta-se que este  
174 estudo está em conformidade com a Instrução Normativa 154/2007 do Ibama, que em seu artigo 26,  
175 afirma que o recolhimento e o transporte de animais encontrados mortos, para aproveitamento  
176 científico ou didático, podem ser feitos por qualquer cidadão, desde que os animais sejam  
177 destinados à instituição científica.

178 Dos 42 animais enalhados mortos, foram coletados os seguintes tecidos: epiderme, músculo  
179 peitoral, fígado, unhas das nadadeiras anteriores e área óssea do casco (foram coletadas duas placas  
180 de escudo marginais na altura da maior largura de carapaça e o material obtido foi retirado da parte  
181 óssea destes escudos). Estes tecidos foram escolhidos porque possuem diferentes taxas de *turnover*  
182 relacionadas ao seu metabolismo. Foram analisados isotopicamente, um total de 432 amostras, de  
183 42 animais. Destas 432 amostras, 250 foram tecidos animais e 182 de possíveis itens alimentares.

184 As amostras de tecidos foram lavados com água deionizada, secados em estufa durante 72  
185 horas a 50°C. Após a secagem, as amostras de cada tecido foram homogeneizadas com o auxílio de  
186 almofariz e pistilo e armazenados em microtubos até a realização das análises isotópicas.

187 No tocante à análise isotópica da composição alimentar, foram coletadas fontes alimentares  
188 potenciais de *C. mydas*, baseado (1) na cobertura vegetal de substratos nos locais de amostragem;  
189 (2) nos alimentos que foram encontrados durante as análises de conteúdo estomacal (Rodrigues et  
190 al., 2019); (3) nos itens alimentares já relatados na literatura, para *C. mydas*.

191 As amostras frescas de vegetais e de origem animal, foram lavadas com água destilada, para  
192 a retirada de outros materiais que estavam aderidos nestas e posteriormente, foram identificadas.  
193 Todos os possíveis itens alimentares foram secados em estufa, por aproximadamente 24 horas a  
194 50°C. Após a secagem, as amostras de cada item alimentar, foram homogeneizadas com o auxílio  
195 de almofariz e pistilo e armazenadas em microtubos até a realização das análises isotópicas.

196 Para análises isotópicas, todos os materiais (itens alimentares e tecidos animais) foram então  
197 colocados em cápsulas de estanho e pesados em balança analítica. As composições isotópicas de C  
198 e N foram determinadas por combustão da amostra por espectrometria de massa de razões  
199 isotópicas de fluxo contínuo (CF-IRMS) em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110)  
200 acoplado ao espectrômetro de massas Delta Plus. Esse procedimento ocorreu no Laboratório de  
201 Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo -  
202 CENA/USP. As composições isotópicas do carbono e do nitrogênio, são expressas através do  
203 cálculo da seguinte equação:

204

205

$$\delta X = ((R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1) \times 1000$$

206

207           na qual,  $R$  é a razão molar  $C^{13}/C^{12}$  ou  $N^{15}/N^{14}$  na amostra e no padrão, sendo os resultados  
208 representados em delta ( $\delta$ ) por mil (‰). Os padrões internacionais utilizados foram *Peedee*  
209 *Belemnite* (PDB) para o C e ar atmosférico (AIR) para o N. O erro analítico das medidas isotópicas  
210 foi estimado em 0,3 ‰ para o  $\delta^{13}C$  e 0,5 ‰ para o  $\delta^{15}N$  por meio de medidas repetidas do padrão  
211 interno (sugarcane).

212

## 213 METODOLOGIA ANALÍTICA

214

215           As amostras com relação  $C/N > 3,5$  tiveram seus valores de  $\delta^{13}C$  corrigidos  
216 matematicamente conforme Post et al. (2007), visando eliminar a influência dos lipídios nas  
217 composições isotópicas, já que os lipídios não previamente removidos das amostras de tecidos e  
218 itens.

219

220           Para avaliar a especialização da dieta, foi utilizada a métrica Bayesiana de Elipse Padrão  
(SEA), porém, utilizou-se uma adaptação da abordagem proposta por Murray e Wolf (2013).  
221 Calculamos a SEA dos indivíduos ( $SEA_i$ ) em relação à SEA da população ( $SEA_p$ ), para estimar a  
222 especialização alimentar ( $SEA_i/SEA_p$ ), utilizando o pacote SIBER (Stable Isotope Bayesian  
223 Ellipses in R) (Jackson. et al., 2011).

224

225           O SIBER calcula a área padrão da elipse, usando dados dos isótopos estáveis dos diferentes  
226 tecidos amostrados. A área da elipse padrão engloba aproximadamente 40% da variabilidade dos  
227 dados e foi escolhida por ser robusta em relação à variação no tamanho amostral, permitindo  
228 comparações entre os tecidos coletados, independentemente do número de componentes (Jackson et  
229 al., 2011). Um valor igual a 1 indica que todos os indivíduos usam todos os recursos disponíveis (ou  
230 seja, generalista), e um valor igual a 0, descreve uma população de especialistas, cada um usando  
um único tipo de recurso (Bolnick et al., 2002; Murray e Wolf 2013).

231

232           Para verificar se havia correlação entre os índices de especialização da dieta com as variáveis  
233 deste estudo (sexo, local de enalhe e classes de tamanho), foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis,  
haja vista a não normalidade dos dados testadas pelo teste de Shapiro-Wilk.

234

235           Para estimar as contribuições das diferentes categorias de itens alimentares, foi aplicado um  
236 modelo de mistura MixSIAR, em R (v3.4.3) (Stock e Semmens 2016). Esse modelo estima a  
237 contribuição de  $n$  fontes (itens) para uma mistura (consumidor), incorporando a incerteza nas  
238 assinaturas isotópicas de consumidores, fontes e fatores de discriminação isotópica (Parnell et al.  
2010). Fatores de discriminação isotópicos específicos para *C. mydas* foram incorporados ao

239 modelo ( $\Delta^{13}\text{C}$ :  $0,17 \pm 0,03\%$ /  $\Delta^{15}\text{N}$ :  $2,8 \pm 0,1\%$  para  $\delta^{15}\text{N}$  (Seminoff et al. 2006). Não foram  
240 encontrados na literatura, trabalhos publicados com os valores de discriminação isotópica para  
241 fígado, músculo, rim e área óssea do casco.

242 Quando os fatores de discriminação específicos da espécie e do tecido utilizado não estão  
243 disponíveis, devido a dificuldade em gerar esses dados, muitos pesquisadores utilizam um fator  
244 baseado em espécies similares àquela estudada (Bond e Diamond 2011). A utilização de fatores  
245 substitutos, ou seja, aqueles publicados para outras espécies ou tecidos, entretanto, pode não ser  
246 apropriada e acabar gerando resultados não confiáveis (Dalerum e Angerbjorn, 2005; Caut et al.,  
247 2009). Ainda que as amostras de fígado, músculo, rim, unha e tecido ósseo do casco tenham sido  
248 coletadas, levando em consideração que os fatores de discriminação devem ser específicos para a  
249 espécie e para o tecido analisado, apenas a epiderme foi utilizada na análise da dieta pelo MIXSIAR.  
250 Além disso, por ser um tecido facilmente acessado e não letal, com maior rapidez na movimentação  
251 de proteínas e isótopos, a epiderme tem sido amplamente utilizada em estudos análise de isótopos  
252 estáveis em quelônios (Seminoff et al, 2002; Seminoff et al. 2007; Reich et al., 2008; Vander  
253 Zanden et al. 2010; Vander Zanden et al. 2012; Turner Tomaszewicz et al. 2017).

254 Os itens alimentares foram agrupados em categorias com base em semelhanças das  
255 composições isotópicas (Lemons et al. 2011), bem como no que é encontrado na literatura para a  
256 espécie e nos itens que foram encontrados no conteúdo estomacal desta mesma população  
257 (Rodrigues et al. 2019).

258 Sabendo da sensibilidade do modelo de mistura para o uso das diferentes fontes alimentares  
259 (Sampson et al. 2018; Fry, 2006; Cardona et al. 2009), escolhemos os itens mais prováveis de  
260 consumo para estas *C mydas*, para que assim, o modelo resultasse em soluções viáveis. Desta  
261 forma, os itens foram agrupados em (1) macroalgas; (2) fanerógamas marinhas (3) peixes e (4)  
262 cnidários. Destaca-se que os únicos invertebrados encontrados em larga escala nos conteúdos  
263 estomacais (Rodrigues et al., 2019), foi o cnidário antozoário, *Palythoa caribaeorum*. Este  
264 zooantídeo é abundante no litoral pernambucano, ocupando vastas áreas sobre os recifes (Soares et  
265 al. 2006), sendo uma das espécies que melhor representa os *beach-rocks* de Pernambuco (fernandes,  
266 2000). Assim, os critérios para incluir itens dietéticos no modelo foram: (1) àqueles observados no  
267 conteúdo estomacal para a região no Brasil (Rodrigues et al. 2019) e (2) são espécies comuns na  
268 costa estudada.

269 Para verificar a existência de diferenças nas composições isotópicas entre os tecidos, foi  
270 realizado uma análise de variância (ANOVA). Após isto, o teste de Tukey post-hoc foi utilizado  
271 para verificar as diferenças isotópicas entre os tecidos analisados. Quando os dados utilizados não  
272 atendiam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade, os testes não paramétricos de

273 Kruskal-Wallis foram utilizados. Regressões lineares foram aplicadas para verificar as possíveis  
274 relações entre a composição isotópica de cada tecido ( $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ ) e o CCC .

275  
276 RESULTADOS

277

278 A média de tamanho de carapaça foi de 36,80 cm ( $\pm 16.60$ ), variando entre 32 e 111 cm. A  
279 maioria dos animais (32 indivíduos) possuía comprimento de carapaça entre 32 e 49 cm, os demais  
280 mediam de 50 a 111 cm. Dos 42 animais encontrados, sete eram machos e 35 fêmeas. Foram  
281 considerados juvenis os indivíduos de *C. mydas* que apresentaram até 95 cm de CCC, com base no  
282 tamanho mínimo de fêmeas em reprodução nas praias brasileiras (Grossman et al. 2007), desta  
283 forma, apenas um animal foi considerado adulto.

284 O índice de especialização da dieta, baseado na proporção da área de elipse padrão da  
285 população (SEAp), mostrou não haver relação ( $p > 0,05$ ) com nenhuma das variáveis analisadas  
286 (sexo, local de enalhe, CCC, LCC e peso dos animais). Apenas 4 (quatro) dos 42 animais tiveram  
287 índices acima de 0.6, 1 (um) deles, acima de 0.7, enquanto todos os outros animais, apresentaram  
288 valores abaixo de 0.5 (Tabela 5).

289 As médias de valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  foram distintas entre os tipos de tecidos. A maior  
290 variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  ocorreu na epiderme, e a menor variação foi observada no tecido  
291 ósseo. Para os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , a maior variação observada foi no tecido ósseo, enquanto a menor  
292 foi registrada para o tecido muscular (Tabela 1).

293 Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das possíveis fontes alimentares em potencial tiveram maior variação  
294 para as macroalgas e menor para a grama marinha. Em relação à  $\delta^{15}\text{N}$ , as maiores variações  
295 ocorreram nos peixes e as menores, nas fanerógamas marinhas (Tabela 2).

296

297 **TABELA 1** - Média e desvio padrão dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  nos diferentes tecidos dos animais enalhados mortos no litoral sul de  
298 Pernambuco. As letras a, b, c, mostram as diferenças nas composições de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre os tecidos. Letras diferentes significam  
299 que os tecidos apresentaram diferenças significativas entre si.

300

Epiderme (a)		Fígado (c)		Rim (b,c)	
$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
11.68 $\pm$ 8.7	-15.85 $\pm$ 1.17	10.1 $\pm$ 2.69	-18.42 $\pm$ 1.7	10.17 $\pm$ 2.55	-17.51 $\pm$ 1.5
Músculo (b)		Unha (b)		Osso (c)	
$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
10 $\pm$ 2.34	-17.31 $\pm$ 1.4	9.93 $\pm$ 3.15	-17.04 $\pm$ 1.5	10.55 $\pm$ 2.07	-17.29 $\pm$ 1.72

301

302 Não foi observada diferença significativa entre os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre os tecidos analisados  
 303 ( $p=0,739$ ), entretanto, diferença significativa foi encontrada entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos tecidos  
 304 ( $p<0.05$ ). O teste de comparações múltiplas, Tukey, mostrou que referente ao  $\delta^{13}\text{C}$ , a epiderme  
 305 diferencia-se de todos os demais tecidos, enquanto unha, osso, músculo e rim, estão enquadrados no  
 306 mesmo grupo. Fígado e rim não apresentaram diferenças significativas entre si, porém o fígado  
 307 apresentou diferença em relação aos demais tecidos analisados (Tabela 1). A regressão entre o  
 308 comprimento da carapaça e as composições isotópicas, mostrou haver significância para  $\delta^{15}\text{N}$  e o  
 309 CCC dos espécimes analisados ( $p<0.05$ ).

310

311 TABELA 2 - Média e desvio padrão dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  nos diferentes potenciais itens alimentares coletados ao longo da costa  
 312 sul de Pernambuco. A dieta total refere-se aos valores de todos os itens alimentares analisados.

Itens alimentares	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Macroalgas	8.56±2.18	-17.27±2.36
Fanerógama marinha	3.13±0.24	-11.03±0.34
Cnidários	10.4±1.82	-13.58±2.34
Peixes	9.95±2.35	-15.23±0.58
Dieta total	9.53±2.81	-16.60±2.81

313

314 A estimativa da dieta assimilada pelo modelo MixSIAR para a epiderme, mostrou certa  
 315 homogeneidade em relação à assimilação de material vegetal e animal, caracterizando uma dieta  
 316 composta, principalmente, de algas, seguida de peixes (Figura 1, Tabela 3). Os itens menos  
 317 assimilados foram os cnidários, seguido pela fanerógama marinha (*Halodule wrightii*).

318 TABELA 3. Proporções dos itens alimentares assimilados na epiderme dos indivíduos de *Chelonia mydas*. A soma dos itens é igual a 1  
 319 (um), representando 100% dos itens assimilados na epiderme dos animais.

Animal	Macroalgas	Fanerógama	Cnidário	Peixe
1	0.62	0.08	0.03	0.22
2	0.49	0.05	0.02	0.29
3	0.75	0.05	0.02	0.08
4	0.76	0.03	0.02	0.10
5	0.55	0.10	0.02	0.15
6	0.66	0.06	0.02	0.14
7	0.47	0.06	0.03	0.29
8	0.62	0.10	0.02	0.10
9	0.45	0.19	0.03	0.19
10	0.48	0.15	0.02	0.16
11	0.48	0.05	0.03	0.29
12	0.64	0.05	0.02	0.17
13	0.61	0.05	0.02	0.19
14	0.43	0.13	0.03	0.23
15	0.65	0.06	0.02	0.14

16	0.68	0.06	0.02	0.13
17	0.52	0.09	0.03	0.21
18	0.50	0.06	0.03	0.27
19	0.49	0.07	0.03	0.25
20	0.54	0.08	0.03	0.20
21	0.83	0.04	0.01	0.07
22	0.65	0.06	0.02	0.15
23	0.80	0.04	0.02	0.08
24	0.40	0.06	0.03	0.34
25	0.57	0.06	0.03	0.21
26	0.43	0.11	0.03	0.25
27	0.59	0.08	0.02	0.15
28	0.42	0.09	0.03	0.29
29	0.42	0.04	0.02	0.35
30	0.42	0.08	0.03	0.31
31	0.48	0.10	0.03	0.22
32	0.44	0.06	0.03	0.31
33	0.50	0.04	0.03	0.29
34	0.62	0.07	0.02	0.14
35	0.57	0.06	0.03	0.21
36	0.57	0.08	0.02	0.17
37	0.79	0.04	0.02	0.08
38	0.58	0.06	0.03	0.19
39	0.54	0.07	0.03	0.21
40	0.41	0.06	0.03	0.34
41	0.41	0.20	0.03	0.20
42	0.42	0.10	0.03	0.28

320

321

322

323

**TABELA 4.** Índices de especialização alimentar, ( $SEA_i/SEA_p$ ), das 42 *Chelonia mydas* analisadas. As métricas foram calculadas com base nas áreas de elipse padrão.  $SEA_i$  - média da área da elipse de uma tartaruga individual;  $SEA_p$  - área total da área de elipse da população;  $SEA_i/SEA_p$  - média da especialização alimentar baseada na proporção da área da elipse padrão da população.

Animal	Sexo	CCC (cm)	$SEA_i$	$SEA_p$	$SEA_i/SEA_p$
1	Fêmea	38	2.1	16	0.13
2	Fêmea	55	4.9	16	0.31
3	Fêmea	64.5	1	16	0.06
4	Fêmea	48	10.1	16	0.63
5	Fêmea	62	9.7	16	0.61
6	Fêmea	36	5	16	0.31
7	Fêmea	42	0,3	16	0.02
8	Fêmea	37	2.6	16	0.16
9	Fêmea	32	1.7	16	0.11
10	Fêmea	34	2.1	16	0.13
11	Fêmea	33.5	0.9	16	0.06
12	Fêmea	38	0.1	16	0.01
13	Fêmea	39	0.5	16	0.03
14	Fêmea	51	3.9	16	0.24

15	Macho	33	2.3	16	0.14
16	Fêmea	48	1.1	16	0.07
17	Macho	66	2,1	16	0.13
18	Macho	33	2	16	0.13
19	Fêmea	34.5	1.7	16	0.11
20	Fêmea	37	0.7	16	0.04
21	Fêmea	67	2	16	0.13
22	Fêmea	56	0.7	16	0.04
23	Fêmea	47.5	1.1	16	0.07
24	Macho	57	1.5	16	0.09
25	Fêmea	50	1.6	16	0.1
26	Macho	35.5	6.9	16	0.43
27	Fêmea	40	1.9	16	0.12
28	Fêmea	49	4.7	16	0.29
29	Macho	35	1.3	16	0.08
30	Fêmea	111	3.2	16	0.2
31	Fêmea	37	7.9	16	0.49
32	Fêmea	42	11.3	16	0.71
33	Fêmea	42.7	2.3	16	0.14
34	Fêmea	39	1.7	16	0.11
35	Fêmea	50	1.6	16	0.1
36	Macho	40	11.1	16	0.69
37	Fêmea	54	0.9	16	0.06
38	Fêmea	46.5	3.1	16	0.19
39	Fêmea	42	5.2	16	0.33
40	Fêmea	43	2	16	0.13
41	Fêmea	42.5	6.4	16	0.4
42	Fêmea	43	1	16	0.06

324

325

326

## 327 DISCUSSÃO

328

329

330

331

332

333

334

335

336

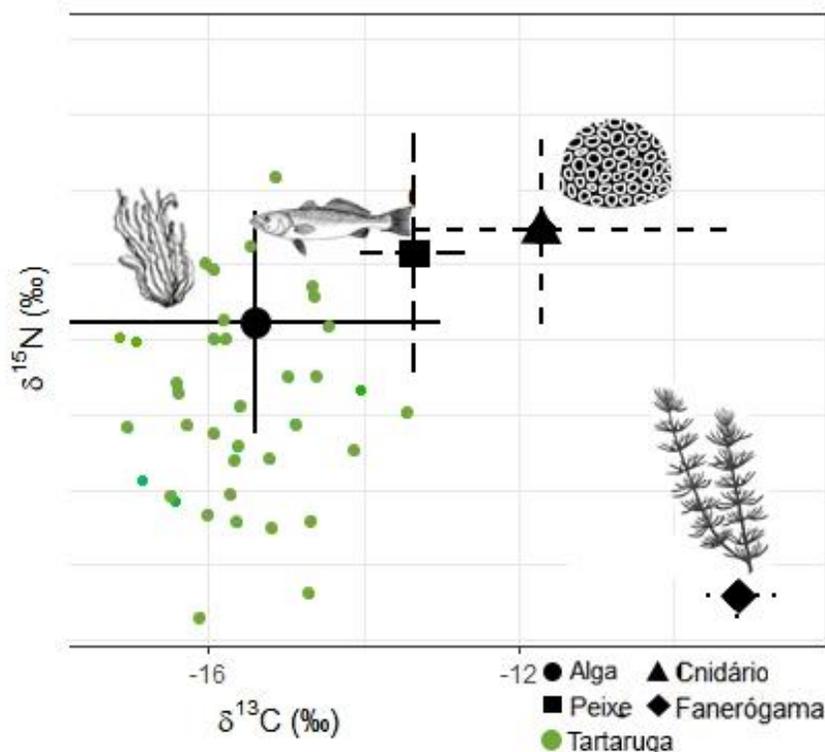
337

A falta de correlação dos índices de especialização da dieta com as variáveis aqui examinadas (sexo, local de enalhe, CCC, LCC e peso) reforça o que vem sendo reportado em outros trabalhos. *Chelonia mydas* apresenta hábitos oportunistas, com alta plasticidade de alimentação, tanto para itens alimentares, que varia de acordo com a disponibilidade de alimento em cada ambiente (*e.g.* bentônico e pelágico) quanto para habitats de forrageamento (*e.g.* recifes, estuários, substrato não consolidado) (Santos et al. 2015).

A variabilidade da dieta pode ocorrer até mesmo entre indivíduos que habitam locais semelhantes (Nagaoka et al. 2012). Embora a espécie seja conhecida por ser a única tartaruga marinha herbívora, uma diversidade de estudos vem apontando a presença relevante de itens de

338 origem animal na sua dieta, como cnidários, moluscos, crustáceos e poríferos (Seminoff et al. 2002,  
 339 2006, López Mendilaharsu et al. 2005, Santos et al. 2015, Vélez-Rubio et al. 2016; Rodrigues et al.,  
 340 2019). Até mesmo o “scavenging behavior” oportunista (Andrades et al. 2019; Cadorna et al. 2009),  
 341 vem sendo discutido e levantado para a espécie.

342



343

344 **FIGURA 2** - Resultados do modelo de mistura Bayesiano (fator de discriminação  $0.17 \pm 0.03\text{‰}$  for  $\delta^{13}\text{C}$  e  $2.8 \pm 0.1\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ )  
 345 mostrando o espaço de mistura trófica ocupado pelos potenciais itens alimentares. Cada ponto verde representa um valor de  $\delta^{13}\text{C}$  e  
 346  $\delta^{15}\text{N}$  associado a uma tartaruga individualmente. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  das presas foram ajustados para a discriminação entre  
 347 dieta e tecidos. Todas as 42 tartarugas foram incluídas nestas figuras para ajudar a comparação visual dos seus valores  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$   
 348 com os seus potenciais itens alimentares.

349 Esta plasticidade é refletida no comportamento da espécie, que pode ser adaptado por  
 350 condições locais do ambiente como, por exemplo, qualidade e disponibilidade de alimento  
 351 (Makowski et al. 2006), batimetria, correntes marinhas, temperatura (Mendonça 1983, HAYS et al.  
 352 2002) e pela presença de predadores (Heithaus et al 2005). Quando recursos suficientes estão  
 353 disponíveis, os indivíduos desenvolvem afinidades com áreas específicas para suas atividades,  
 354 como alimentação e descanso (Bjorndal 1980, Ogden 1983, Mendonça 1983, Hays et al. 2002a,  
 355 Fuentes et al. 2006, Makowski et al. 2006, Seminoff; Jones 2006, Mendonça 2009). Até mesmo  
 356 itens de origem vegetal terrestre, já foram reportados para *C. mydas* (Amorocho e Reina, 2007;  
 357 Nagaoka, et al. 2012), o que pode ser reflexo do hábito oportunista e costeiro.

358 Em geral, indivíduos especialistas dentro de uma população, devem ser mais prováveis se  
 359 (1) os recursos forem escassos, (2) os indivíduos puderem forragear eficientemente apenas um

360 subconjunto de recursos, (3) as restrições cognitivas limitarem o uso de conjuntos de recursos  
361 diversos, (4) as especializações de forrageamento são transmitidas culturalmente (Rendell e  
362 Whitehead 2001, Svanback; Persson 2004, Araújo; Gonzaga 2007, Darimont et al. 2009, Matich et  
363 al. 2011, Burkholder et al. 2011). Vander Zanden et al. (2010) revelaram que as populações de  
364 tartarugas verdes podem procurar grupos de recursos diversos, o que pode resultar em  
365 especialização individual, entretanto, os resultados aqui apresentados, sugerem que estas tartarugas  
366 do litoral Sul de Pernambuco, apresentam características mais generalistas.

367 A relação significativa entre o CCC e  $\delta^{15}\text{N}$ , apresentou um  $r^2$  pequeno, mostrando que uma  
368 variável, explica pouco a outra. Entretanto, vale ressaltar que Barreto (2018) encontrou forte relação  
369 entre o  $\delta^{15}\text{N}$  de CCC de fêmeas e de suas ninhadas, validando a hipótese de que fêmeas de níveis  
370 tróficos mais elevados tendem a ser maiores e a produzirem mais ovos. Sabe-se que o  $\delta^{15}\text{N}$  deve ser  
371 enriquecido de acordo com a quantidade de proteínas disponíveis na dieta dos indivíduos, ou seja,  
372 possivelmente as tartarugas maiores, estavam se alimentando de itens de origem animal, o que pode  
373 ocorrer de maneira ocasional, aderidos às algas e gramas marinhas, por exemplo (Seminoff et al.  
374 2002; Ferreira et al. 2006; Fuentes et al., 2006; López-Mendilaharsu et al. 2008, Carrión et al. 2010;  
375 Santos et al. 2015; Rodrigues et al. 2019) ou de modo proposital (Amarocho and Reina 2007;  
376 Arthur et al. 2009; Lemons et al. 2011; González carman et al. 2012; Ressler et al. 2013, Rodrigues  
377 et al 2019). De uma forma ou de outra, esses itens de origem animal, irão refletir nos valores  
378 isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$  e de  $\delta^{13}\text{C}$  de seus consumidores.

379 Neste estudo, os organismos produtores da cadeia trófica, chamados de organismos de linha  
380 de base (*baseline*), apresentaram valores muito distintos de  $\delta^{15}\text{N}$ . Segundo Michener e Lajtha  
381 (2007), se em determinado local são encontrados valores distintos de  $\delta^{15}\text{N}$  para os produtores, por  
382 consequência, também serão encontrados valores diversificados isotopicamente, para os  
383 consumidores, uma vez que a  $\delta^{15}\text{N}$  é alterada durante o metabolismo, visto que o  $^{15}\text{N}$  é  
384 preferencialmente retido no organismo durante o processo de excreção (Arthur et al. 2008) o que  
385 causa um enriquecimento de cerca de 3 a 4‰ da  $\delta^{15}\text{N}$  em relação à sua dieta (Deniro e Epstein,  
386 1981; Minagawa e Wad 1984; Peterson e Fry 1987; Hatase et al. 2002; Post, 2002).

387 Os valores de  $r^2$  ajustados das regressões lineares ( $\delta^{15}\text{N}$  : 0,31) também indicam que outros  
388 fatores afetam a variação nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  entre os tecidos, o que justifica uma investigação  
389 mais aprofundada. Entretanto, a análise do conteúdo estomacal não revelou o consumo de presas  
390 animais à medida que as tartarugas aumentavam de CCC (Rodrigues et al., 2019), descartando  
391 assim, a hipótese de que o aumento dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  na epiderme de tartarugas maiores se deve  
392 a um nível trófico mais alto. Assim, a relação positiva entre CCC e  $\delta^{15}\text{N}$  pode ser melhor explicada

393 pela diferença entre os organismos de *baseline* (macroalgas), que seriam mais enriquecidas em  $^{15}\text{N}$   
394 (Vales et al, 2014; Vélez-Rubio et al., 2016).

395 As tartarugas verdes são conhecidas pelas mudanças ontogenéticas na alimentação, tanto de  
396 itens alimentares consumidos, quanto de áreas de forrageamento (Meylan et al. 2011; Santos et al.  
397 2015). Ao atingirem entre 30 e 40 cm de CCC, migram dos habitats epipelágicos para bênticos,  
398 deixando de lado sua dieta onívora baseada nos itens disponíveis na superfície oceânica (Carr,  
399 1987), iniciando sua fase preferencialmente herbívora, que depende da alimentação que advém do  
400 bentos, o chamado estágio nerítico dos juvenis (Bjorndal, 1985; Bolten 2003).

401 A  $\delta^{13}\text{C}$  apenas sofre um enriquecimento de cerca de 1‰ por nível trófico, o que significa  
402 que permanece quase inalterada conforme o carbono se movimenta ao longo da cadeia trófica  
403 (Rounick e Winterbourn 1986; France e Peters 1997; Hatase et al. 2002; Post 2002). Desta maneira,  
404  $\delta^{13}\text{C}$  pode ser utilizada para determinar as fontes de carbono de um consumidor quando as  
405 assinaturas isotópicas das fontes são diferentes (Post, 2002). Além disso, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em  
406 sistemas marinhos são tipicamente enriquecidos em áreas próximas à costa (bentônicas) em relação  
407 às áreas pelágicas oceânicas (Hobson et al. 1994; France, 1995; Clementz e Koch 2001), ressaltando  
408 sua utilidade na diferenciação entre estratégias de forrageamento bêntica e pelágica.

409 Sabendo disso e que os tecidos coletados apresentam taxas de *turnover* distintas, ou seja,  
410 fornecem informações dietéticas sob diferentes escalas de tempo, pode-se fazer inferências acerca  
411 do habitat em que as *C. mydas* do litoral pernambucano, vinham se alimentando. Tecidos de  
412 metabolismo relativamente lentos, como músculos (Hesslein et al. 1993; Macavoy et al. 2001)  
413 integram informações sobre o comportamento trófico em escalas de meses, enquanto o fígado, que  
414 mostra uma taxa de metabolismo mais rápida (Guelinckx et al. 2007; Suzuki et al. 2005), podem  
415 fornecer informações em menor escala de tempo (semanas).

416 Neste trabalho foram utilizados fígado, rim, músculo, unha, epiderme e tecido ósseo do  
417 casco. Fígado e rim apresentam um alto metabolismo, assim, são capazes de oferecer dados de uma  
418 dieta adquirida mais recentemente, enquanto unha, epiderme e músculo, que apresentam taxas  
419 metabólicas mais intermediárias, podem revelar dados sobre uma dieta mais antiga. Quanto ao  
420 tecido ósseo, sabe-se que dados de AIE de tecidos com crescimento constante, como otólitos, dentes  
421 e ossos, podem reconstruir a dieta e o uso do habitat dos indivíduos, a longo prazo (Walker et al.  
422 1999; Alves-Stanley e Worthy 2009; Newsome et al. 2010; Vander Zanden et al. 2010; Carlisle et  
423 al., 2014; Turner Tomaszewicz et al, 2017). Porém, poucos trabalhos têm reportado os valores de  
424  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para esse tecido (Turner Tomaszewicz et al. 2017).

425 Tendo em vista que rim e fígado apresentaram semelhanças significativas em relação ao  
426  $\delta^{13}\text{C}$ , pode-se inferir que estes estão agrupados, pois apresentam taxas parecidas de formações de  
427 seus tecidos. Músculo, unha e casco, também estão agrupados em semelhanças quanto à  $\delta^{13}\text{C}$ .  
428 Estas relações apontam que o tecido ósseo apresenta valores isotópicos próximos àqueles dos  
429 tecidos que possuem metabolismo mais lento. A epiderme, assim como nos trabalhos de Leite  
430 (2018) e Barreto (2018), mostrou-se diferente de todos os demais tecidos analisados, apresentando  
431 um valor mais empobrecido de  $\delta^{13}\text{C}$  em relação aos demais.

432 A taxa de *turnover* para epiderme de *C. mydas* é desconhecida. Reich et al., (2008)  
433 encontraram que o tempo médio de permanência dos isótopos estáveis em carbono e nitrogênio na  
434 epiderme de *Caretta caretta* (tartaruga cabeçuda) juvenis, é de 45 e 46 dias, respectivamente. É  
435 esperado que o tempo de permanência destes isótopos aumentem com o aumento da massa corporal  
436 e a diminuição das taxas de crescimento (Martínez del Rio et al. (2009); Vander Zanden et al.  
437 2014).

438 Assim, ao que parece, a epiderme provavelmente representa um período da ordem de vários  
439 meses de informações dietéticas (Vander Zanden et al 2014; Prior et al. 2016) baseados nas  
440 equações preditivas de períodos de meia-vida de isótopos estáveis propostas por Vander Zanden  
441 (2015), concluíram que o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  tecido epidérmico de *C. mydas* reflete uma dieta entre 9 e  
442 18 meses.

443 Os resultados obtidos mostram assinaturas isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ) mais próximas a ambientes  
444 pelágicos (mais empobrecidas), o que pode ser indicativo de uma estratégia de alimentação  
445 oceânica e carnívora (Reich et al. 2007, Pajuelo et al. 2010), entretanto, o modelo de mistura  
446 MiXsiar revelou que as tartarugas aqui analisadas, estão forrageando em ambientes neríticos com  
447 alimentação herbívora. Esta afirmação pode ser explicada, por três razões: (I) devem ser  
448 consideradas as variações individuais entre os organismos analisados; (II) existem diferenças de  
449 habitat e dieta nos anos iniciais da vida destas tartarugas; (III) a matéria animal encontrada nos  
450 conteúdos estomacais não foram relevantes (Rodrigues et al. 2019). Outro aspecto a ser levado em  
451 consideração é que, neste estudo, assim como destacado por Burkholder et al. (2011); McMillan et  
452 al. (1980), as composições isotópicas das macroalgas ( $\delta^{13}\text{C}$ ), mostraram uma grande variação (-  
453 27.51 ‰ a -8.75‰), porém, todas elas foram coletadas em locais tipicamente costeiros.

454 Quanto à *C. mydas*, Turner Tomaszewicz et al. (2017) determinaram fatores de  
455 discriminação isotópica de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  para o tecido ósseo cortical (úmero) e fizeram comparações  
456 entre os  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  deste tecido com o tecido epidérmico. Neste trabalho, foi utilizado apenas  
457 fatores de discriminação da epiderme para nosso modelo de estimativa de itens assimilados pelas

458 tartarugas (MixSiar), uma vez que até entre tecidos iguais dos mesmos animais mantidos sob a dieta  
459 idêntica em ambiente controlado, não foram encontradas uniformidades entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  
460  $\delta^{15}\text{N}$  (Turner Tomaszewicz et al. 2017) justificando assim, o uso de fatores de discriminação que  
461 levem em consideração o maior grau de similaridade entre os tecidos e animais analisados. Os  
462 modelos de mistura bayesianos, como o MixSiar, apresentam alta sensibilidade às mudanças nos  
463 fatores de discriminação utilizados, desta forma, dependendo disto, as estimativas da dieta podem  
464 ser muito diferentes (Bond; Diamond, 2011).

465 Apresentamos esses resultados de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para tecido ósseo de tartarugas  
466 como um ponto de partida útil, dada a dificuldade de acessar tartarugas encalhadas mortas, sob uma  
467 dieta conhecida e a falta de outros dados publicados que possam ser encontrados para futuras  
468 correlações. Os dados de outros tecidos, como rim, também são poucos explorados e assim,  
469 apresentá-los, podem ajudar outros autores a encontrar informações e interpretações sobre dados  
470 isotópicos de tecidos de tartarugas marinhas. Os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , para o tecido  
471 ósseo (casco) aproximam-se dos valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para o tecido ósseo cortical  
472 (úmero), apresentados para *C. mydas*, apresentados por Turner Tomaszewicz et al. (2017).

473 Apesar de alguns trabalhos recentes abordarem o tema (Seminoff et al. 2002; Vander  
474 Zanden et al. 2012; Vander Zanden et al. 2013; Turner Tomaszewicz et al., 2017), existe uma  
475 lacuna acerca de dados sobre fatores de discriminação e taxas de *turnover* de isótopos estáveis em  
476 *C. mydas*. Vander Zanden et al. (2013) encontraram que a queratina da carapaça posterior de fêmeas  
477 adultas de *C. mydas* fornece informações de 2,4 a 6,5 anos (Vander Zanden et al. 2013).

478 As análises do conteúdo gastrointestinal de *C. mydas*, revelaram uma dieta marcada pela  
479 presença de macroalgas, principalmente por representantes das algas vermelhas (Rodophyta), em  
480 detrimento de matéria de origem animal (Rodrigues et al., 2019). Estes dados estão de acordo com  
481 as estimativas de assimilação de itens alimentares apontadas pelo modelo MixSiar no presente  
482 estudo, em que o tecido epidérmico assimilou em quase a totalidade dos animais estudados, 60% de  
483 macroalgas.

484 As diferenças de  $\delta^{13}\text{C}$  entre os organismos de *baseline* deste estudo (gramas marinhas e  
485 macroalgas), são grandes, sendo assim, a  $\delta^{13}\text{C}$  dos tecidos de tartarugas próximos do extremo de  
486 ervas marinhas, devem estar se alimentando predominantemente destas, da mesma forma, tartarugas  
487 com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de tecido próximos às extremidades das macroalgas bentônicas, devem estar  
488 se alimentado predominantemente de macroalgas (Prior et al. 2016; Turner Tomaszewicz et al.  
489 2018).

490 As macroalgas e demais itens alimentares coletados, habitam locais costeiros, bentônicos e  
491 de fácil acesso do litoral sul de Pernambuco, às quais as tartarugas que forrageando exclusivamente  
492 em alto mar nas águas pelágicas da plataforma, não têm acesso. Portanto, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das  
493 macroalgas analisadas e dos tecidos aqui analisados, principalmente os metabolicamente ativos,  
494 reverberam os achados de Rodrigues et al. (2019), revelando que as tartarugas juvenis da costa sul  
495 pernambucana, estão forrageando áreas neríticas de alimentação, próximas à costa, apresentando  
496 uma dieta predominantemente composta por macroalgas.

497

## 498 CONCLUSÃO

499

500 A população de *Chelonia mydas* do litoral Sul de Pernambuco, mostra tendência a um padrão  
501 de dieta, preferencialmente herbívora, com grande importância para as macroalgas. Os resultados  
502 combinados sugerem que diferenças na composição isotópica de gramíneas marinhas e macroalgas na  
503 base da cadeia alimentar, ao invés de diferenças na estratégia de forrageamento das tartarugas,  
504 contribuem para a variação isotópica na população de *C. mydas* residentes. Este estudo contribuiu  
505 para melhorar a compreensão da ecologia trófica de uma espécie em perigo, auxiliando assim, nas  
506 medidas de conservação da espécie, entretanto, estudos focados na determinação das taxas de  
507 *turnover* e de fatores de discriminação, melhorariam a nossa capacidade de avaliar e conectar o uso  
508 de habitat da população de *C. mydas* do litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

## REFERÊNCIAS

- Alves-Stanley, C. D.; Worthy, G. A. J., 2009. Carbon and nitrogen stable isotope turnover rates and diet-tissue discrimination in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *The Journal of Experimental Biology*, v. 212, p. 2349- 2355.
- Amorocho, D. F.; Reina, R. D., 2007. Feeding ecology of the east Pacific green sea turtle *Chelonia mydas agassizii* at gorgona national Park, Colombia. *Endangered species research*, v. 3, n. 1, p. 43–51.
- Andrade, G. O. & Lins, R. C., 1971. Os climas do Nordeste. In: Vasconcelos Sobrinho, J. ed. *As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização*. Recife, CONDEPE. p.95-138.
- Andrades, R., Dos Santos, R.A., Martins, A.S., Teles D., & Santos R.G., 2019. Scavenging as a pathway for plastic ingestion by marine animals. *Environmental Pollution*. 248, 159-165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.010>.
- Araújo M. S. Gonzaga M.O., 2007. Individual specialization in the hunting wasp *Trypoxylon* (*Trypargilum*) *albonigrum* (Hymenoptera, Crabronidae). *Behav Ecol Sociobiol*, 61: 1855–1863
- Arthur, K. E., & Balazs, G. H., 2008. A Comparison of Immature Green Turtle (*Chelonia mydas*) Diets among Seven Sites in the Main Hawaiian Islands. Hawaii. *Pacific Science*, 62(2), 205-218.
- Arthur, K. E., McMahon, K. M., Limpus, C. J., & Dennison, W. C., 2009. Feeding ecology of green turtles (*Chelonia mydas*) from Shoalwater Bay, Australia. *Marine Turtle Newsletter*, 123, 6-12. <http://www.seaturtle.org/mtn/archives/mtn123/mtn123p6.shtml>.
- Barreto, C.R., 2018. *Alometria reprodutiva e isotópica de tartaruga-verde Chelonia mydas (Linnaeus, 1758): relações entre tamanho corporal, dieta e investimento reprodutivo*. Dissertação (Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo), SP.
- Bearhop, S., Adams, C.E., Waldron, S., Fuller, R.A., Macleod, H., 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *J. Anim. Ecol.* 73, 1007–1012.
- Biasatti, D. M., 2004. Stable carbon isotopic profiles for sea turtle humeri: implications for ecology and physiology. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, v. 206, p. 203–216.
- Bjorndal K. A., 1980. Nutrition and Grazing Behavior of the Green Turtle *Chelonia mydas*. *Mar Biol.* 56: 147-154.
- Bjorndal, K. A., 1980. Nutrition and grazing behavior of the green turtle, *Chelonia mydas*. *Marine Biology*, v. 56, n. 2, p. 147-154.
- Bjorndal, K. A., 1985. *Nutritional ecology of sea turtles*. *Copeia* 3: 736-751.
- Bjorndal, K.A., 1997. Foraging Ecology and Nutrition of Sea Turtles. In: Lutz, P.L. and Musick J.A., Eds., *The Biology of Sea Turtles*, CRC Press, Boca Raton, 199-231.
- Bolnick D. I, Yang L. H, Fordyce J. A, Davis J. M, Svanback R., 2002. Measuring individual-level resource specialization. *Ecology* 83: 2936–2941

- Bolten, A. B., 1999. Techniques for measuring sea turtles. *In: IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group. Research and management techniques for the conservation of the sea turtles.* Prepared by IUNCN/SSC Marine Turtle Specialist Group, edited by Karen L. Eckert et al. [Pennsylvania]: Blanchard, p. 110-114.
- Bolten, A. B., 2003. Variation in sea turtle life history patterns: neritic versus oceanic developmental stages. *In: Iutz Pl, Musick Ja, Wyneken J (eds, The biology of sea turtles.* CrC Press, Boca raton, pp 243–257
- BOND, A. L.; DIAMOND, A. W., 2011. Recent Bayesian stable-isotope mixing models are highly sensitive to variation in discrimination factors. *Ecological Applications*, Tempe, v. 21, n. 4, p. 1017-1023.
- Cardona L., Aguilar A. And Pazos L., 2009. Delayed ontogenic dietary shift and high levels of omnivory in green turtles (*Chelonia mydas*) from the NW coast of Africa. *Marine Biology*, v. 156, 1487–1495.
- Carlisle, A.B., Goldman, K.J., Litvin, S.Y., Madigan, D.J., Bigman, J.S., Swithenbank, A.M., Kline, T.C. & Block, B.A., 2014. Stable isotope analysis of vertebrae reveals ontogenetic changes in habitat in an endothermic pelagic shark. *Proceedings of the Royal Society*, B282, 20141446.
- Carman, V. G. et al., 2012. Revising the ontogenetic shift paradigm: the case of juvenile green turtles in the SW Atlantic. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 429, n. 1, p. 64–72.
- Carpentier, A. S. et al., 2015. Stable isotope relationships between mothers, eggs and hatchlings in loggerhead sea turtles *Caretta caretta*. *Marine Biology*, v. 162, n. 4, p. 783–797.
- Carr, A., 1987. New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. *Conserv Biol* 1:103–121. doi:10.1111/j.1523-1739.1987.tb00020.x
- Carrión-Cortez, J. A., Zárate, P., & Seminoff, J. A., 2010. Feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(5), 1005-1013. <https://doi.org/10.1017/S0025315410000226>.
- Carrión-Cortez, J. A. et al., 2010. Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 90, n. 5, p. 1005–1013, 2010.
- Caut, S., E. Angulo, And F. Courchamp., 2009. Variation in discrimination factors (D 15 N and D 13 C): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology* 46:443–453.
- Ceriani, S. A. et al., 2014. Developing a common currency for stable isotope analyses of nesting marine turtles. *Marine Biology*, v. 161, n. 10, p. 2257–2268.
- Clementz, M. & Koch, P.L., 2001. Monitoring habitat and foraging ecology in aquatic mammal with stable isotopes in the tooth enamel. *Oecologia*, 129: 461-472, <http://dx.DOI 10.1007/s004420100745>
- Collier K. J, Lyon G. L.,1991. Trophic pathways and diet of blue duck (*Hymenolaimus malacorhynchos*) on Manganuiateao River: a stable isotope study. *N Z J Mar Freshw Res* 25:181-186
- Dalerum, F., Angerbjörn, A., 2005.Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, v. 144, n. 4, p. 647–658.

- Darimont C. T, Paquet P. C, Reimchen T. E., 2009. Landscape heterogeneity and marine subsidy generate extensive intrapopulation niche diversity in a large terrestrial vertebrate. *J Anim Ecol* 78:126–133
- Deniro, M.J.; Epstein, S.,1981.Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et cosmochimica acta*, v.45, n.3, p.341-351, 1981.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P.; Leão, Z.M.A.N. & Azevedo, A.E.G.,1990. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências* 20: 208-215.
- Fernandes, M. L. B., 2000. *Avaliação de dois ambientes recifais do litoral de Pernambuco, através das suas macro e megafaunas incrustantes e sedentárias*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo: 179 p.
- Ferreira, B. et al., 2006. Diet of green turtle (*Chelonia mydas*) at Ra's Al Hadd, Sultanate of Oman. *Chelonian Conservation and Biology*, v. 5, n. 1, p. 141–146.
- Fleming T.H, Nunex R.A, Da Silveira Lobo Sternberg L., 1993. Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectarivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecologia*, 94:72-75
- France, R.L.,1995a. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Marine Ecology Progress Series* 124, 307–312.
- France, R. L.; Peters, R. H.,1997. Ecosystem differences in the trophic enrichment of  $^{13}\text{C}$  in aquatic food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 54, n. 6, p. 1255–1258.
- FRY, B.,2006. *Stable isotope ecology*. New York: Springer Science & Business Media.
- Fuentes, M. P. B. et al., 2006. Dietary preferences of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) on a tropical reef flat. *Wildlife Research*, v. 33, n. 8, p. 671–678.
- Garnett, S. T. et al.,1985. The diet of the green turtle. *Chelonia mydas* (Linnaeus.) in Torres Strait. *Wildlife Research*, v. 12, n. 1, p. 103–112.
- González Carman, V., Álvarez, K. C., Prosdocimi, L., Inchaurreaga, M. C., Dellacasa, R. F., Faiella, A., & Campagna, C., 2012. Argentinian coastal waters: A temperate habitat for three species of threatened sea turtles. *Marine Biology Research*, 7(5), 500-508. <https://doi.org/10.1080/17451000.2010.528772>.
- Goodley, B. J. et al.,1998. The trophic status of marine turtles as determined by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, v. 166, p. 277–284.
- Grossman, A. et al., 2007. Morphometrics of the green turtle at the Atol das Rocas Marine Biological Reserve, Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, v. 118, p. 12-13.
- Grossman, A.; Mendonça, P.; Costa; M. R.; Bellini, C., 2007. Morphometrics of the green turtle at the Atol das Rocas Marine Biological Reserve, Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, v. 118, p. 12-13.
- Guebert-Bartholo, F. M., Barletta, M., Costa, M. F., & Monteiro-Filho, E. L. A., 2011. Using gut contents to assess foraging patterns of juvenile green turtles *Chelonia mydas* in the Paranaguá Estuary, Brazil. *Endangered Species Research*, 13(2), 131-143. <https://doi.org/10.3354/esr00320>.
- Guelinckx, J.; Maes, J.; Van Den Driessche, P.; Geysen, B.; Dehairs, F. & Ollevier, F., 2007. Changes in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in different tissues of juvenile sand goby *Pomatoschistus minutus*: a laboratory diet switch

experiment. *Marine Ecology Progress Series*, 341: 205-215.

Harrison A. L, Bjorndal K. A., 2006. Connectivity and wide- ranging species in the ocean. Crooks KR, Sanjayan MA. (eds) Connectivity conservation. Cambridge University Press, *Cambridge*, p 213–232.

Hatase, H. et al., 2002. Size-related differences in feeding habitat use of adult female loggerhead turtles *Caretta caretta* around Japan determined by stable isotope analyses and satellite telemetry. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, v. 233, p. 273–281.

Hays G. C, Glen F., Broderick A. C, Godley B. J et al., 2002a. Behavioural plasticity in a large marine herbivore: contrasting patterns of depth utilization between 2 green turtle (*Chelonia mydas*) populations. *Mar Biol*, 141: 985-990.

Hesslein, R.H.; Hallard, K.A.; Ramlal, P., 1993. Replacement of sulfur, carbon, and nitrogen in tissue of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by  $d^{34}S$ ,  $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{15}N$ . *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, v.50, p.2071-2076.

Hobson, K. A.; Clark, R. G., 1992. Assessing avian diets using stable isotopes I: Turnover of carbon-13 in tissues. *The Condor*, v. 94, p. 181- 188.

Hobson, K.A., Piatt, J.F., Pitocchelli, J., 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology* 63, 786–798.

HOBSON, K. A., 1999. Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia*, v. 120, n. 3, p. 314-326.

Jackson A. I, Inger Ri, Parnell A. C, Bearshop S., 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER – Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *J Anim Ecol.*;80:595–602.

Kempf, M., 1967/69. *A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo*. Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco 9/11: 111-124.

Layman C. A, Arrington D. A, Montana C. G, Post D. M., 2007. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? *Ecology* 88:42–48

Lemons, G., Lewison R., Komoroske L, Gaos A. et al., 2011. Trophic ecology of green sea turtles in a highlyurbanized bay: insights from stable isotopes and mixingmodels. *J Exp Mar Biol Ecol* 405: 25–32, 2011.

López-Mendilaharsu, M., Gardner, S. C., Seminoff, J. A., & Riosmena-Rodriguez, R., 2005. Identifying critical foraging habitats of the green turtle (*Chelonia mydas*) along the Pacific coast of the Baja California peninsula, Mexico. *Aquatic conservation: Marine and freshwater ecosystems*, 15(3), 259-269.

López-Mendilaharsu, M. et al., 2008. Diet selection by immature green turtles (*Chelonia mydas*) at a coastal foraging ground along the Pacific Coast of the Baja California Peninsula, México. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 88, n. 3, p. 641–647.

Macavoy, S. E.; Macko, S. A.; Garman, G. C., 2001. Isotopic turnover in aquatic predators: quantifying the exploitation of migratory prey. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.58, p.923-932.

- Makowski C, Seminoff J. A, Salmon M., 2006. Home range and habitat use of juvenile Atlantic green turtles (*Chelonia mydas* L.) on shallow reef habitats in Palm Beach Florida USA. *Mar Biol* 148: 1167-1179p.
- Márquez, R. M.,1990. Sea turtles of the world: an annotated and illustrated catalogue of sea turtle species known to date. *FAO Fish. Synop*, vol. 11, p. 111-181.
- Martinez Del Rio C, Wolf N, Carleton SA, Gannes L. Z., 2009. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biol Rev Camb Philos Soc* 84:91–111
- McMillan C.; Parker P.L.; Fry, B., 1980.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in sea-grasses. *Aquatic Botanic*, Amsterdam, v. 9, p. 237-249.
- Mendonça M. T.,1983. Movements and Feeding Ecology of Immature Green Turtles (*Chelonia mydas*) in a Florida Lagoon. *Copeia* 3(4): 1013-1025.
- Mendonça P., 2009. Análise comportamental de juvenis de tartarugas marinhas (*Chelonia mydas* e *Eretmochelys imbricata*) em um ambiente recifal de águas rasas do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha-Pernambuco. Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande-RS.
- Meylan P.A, Meylan A.B, Gray J.A., 2011. The ecology and migrations of sea turtles. 8, Tests of the developmental habitat hypothesis. *B Am Mus Nat Hist* 357:1–70
- Michener, R.; Lajtha, K.,2007. Stable isotopes in ecology and environmental science (second edition). Ecological Methods and Concepts Series. Malden, MA: Wiley/ Blackwell. 592 pp. £33.99 paper. ISBN: 978 1 4051 2680 9
- Minagawa, M., Wada, E.,1984. Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, n. 5, p. 1135-1140.
- Murray, I.W, Wolf, B.O., 2013. Desert tortoise (*Gopherus agassizii*) dietary specialization decreases across precipitation gradient. *PLoS One* 8, e66505.
- Nagaoka, S. M., Martins, A. S., Dos Santos, R. G., Tognella, M. M. P., De Oliveira Filho, E. C., & Seminoff, J. A., 2012. Diet of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) associating with artisanal fishing traps in a subtropical estuary in Brazil. *Marine Biology*, 159(3), 573-581. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1836-y>.
- Navarro, J.; Coll, M.; Louzao, M; Palomera, I.; Delgado, A. Forero, M.G., 2011. Comparison of ecosystem modelling and isotopic approach as ecological tools to investigate food webs in the NW Mediterranean Sea, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 401, n. 1–2, p. 97-104,
- Newsome Sd, Del Rio Cm, Bearhop S, Phillips D. L., 2007. A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 429–436.
- Newsome, S.D., Clementz, M.T. & Koch, P.L., 2010. Using stable isotope biogeochemistry to study marine mammal ecology. *Marine Mammal Science*, 26, 509–572.
- Ogden Jc, Robinson L, Whitlock K, Daganhardt H. et al., 1983. Diel Foraging Patterns in Juvenile Green Turtles (*Chelonia mydas* L.) in St. Croix United States Virgin Islands. *J Exp Mar Biol Ecol* 66: 199-205.

- Pajuelo M, Bjorndal Ka, Alfaro-Shigueto J, Seminov J. A, Mangel J. C, Bolten A. B., 2010. Stable isotope variation in loggerhead turtles reveals Pacific-Atlantic oceanographic differences. *Mar Ecol Prog Ser* 417:277–285.
- Parker, D. M., Dutton, P. H., & Balazs, G. H., 2011. Oceanic diet and distribution of haplotypes for the green turtle, *Chelonia mydas*, in the Central North Pacific. *Pacific Science*, 65(4), 419- 431.
- Parnell, A.C., Inger, R., Bearhop, S., Jackson, A.L., 2010. Source partitioning using stable isotopes: coping with too much variation. *PLoS One* 5, e9672.
- Peterson, B. J.; Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 18, n. 1, p. 293–320.
- Post, D. M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3), 703-718.
- Prior, B. et al., 2016. Investigating diet and diet switching in green turtles (*Chelonia mydas*). *Australian Journal of Zoology*, v. 63, p. 365–375.
- Reich, K.J., Bjorndal, K.A., Bolten, A.B., 2007. The ‘lost years’ of green turtles: using stable isotopes to study cryptic lifestages. *Biol. Lett.* 3: 712–714.
- Reich, K. J. Et Al., 2008. Effects of growth and tissue type on the kinetics of <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N incorporation in an rapidly growing ectotherm. *Oecologia*, v. 155, n. 4, p. 651-663.
- Reisser, J. et. al., 2013. Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) at rocky reefs in western South Atlantic. *Marine Biology*, v. 160, n. 12, p. 3169–3179.
- Reisser, J., Proietti, M., Sazima, I., Kinan, P., Horta, P., & Secchi, E., 2013. Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) at rocky reefs in western South Atlantic. *Marine biology*, 160(12), 3169-3179. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2304-7>.
- Rendell L, Whitehead H. 2001. Culture in whales and dolphins. *Behav Brain Sci* 24:309–324
- Revelles, M. et al., 2007. Stable C and N isotope concentration in several tissues of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* from the western Mediterranean and dietary implications. *Scientia Marina*, v. 71, n. 1, p. 87–93.
- Rodrigues, et al., 2019. Contribution to the study of the green turtle (*Chelonia mydas*) diet in the South Atlantic, Northeast Brazil. *International Journal of Development Research*. v.9.
- Rollnic, M. & Medeiros, C., 2006. Circulation of the coastal waters off Boa Viagem, Piedade and Candeias beaches, Pernambuco, Brazil. *Journal of Coastal Research* 39: 648-650.
- Rollnic, M.; Medeiros, C. & Freitas, I., 2011. Coastal circulation along the southern metropolitan region of Recife, Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research* 64: 135-138.
- Rounick, J. S. Winterbourn, M. J., 1986. Stable Carbon Isotopes and Carbon Flow in Ecosystems. *BioScience*, v. 36, n. 3, p. 171–177.
- Russell, D. J.; Balazs, G. H., 2009. Dietary Shifts by Green Turtles (*Chelonia mydas*) in the Kāneʻohe Bay Region of the Hawaiian Islands: A 28-Year Study. *Pacific Science*, v. 63, n. 2, p. 181–192.

- Sampson, L.; Giraldo, A.; Paya, L.F.; Amorocho, D.F.; Ramos, M.A, Seminoff, J.A., 2018. Trophic ecology of green turtle *Chelonia mydas* juveniles in the Colombian Pacific. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* V.98, n 7. P.1817-1829.
- Santos, R. G. et al., 2011. Coastal habitat degradation and green sea turtle diets in Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 6, p. 1297-1302.
- Santos, R. G., Martins, A. S., Batista, M. B., & Horta, P. A., 2015. Regional and local factors determining green turtle *Chelonia mydas* foraging relationships with the environment. *Marine Ecology Progress Series*, 529, 265-277
- Sazima, I.; Sazima, M.,1983. Aspectos de comportamento alimentar e dieta da tartaruga marinha, *Chelonia mydas*, no litoral norte Paulista. *Bol. Inst. Oceanogr.*, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 199–203.
- Seminoff, J. A. et al., 2002. Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the Gulf of California. Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, v. 242, p. 253-265.
- Seminoff, J. A., T. T. Jones, T. Eguchi, D. R. Jones, And P. H. Dutton., 2006. Stable isotope discrimination ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) between soft tissues of the green sea turtle *Chelonia mydas* and its diet. *Marine Ecology Progress Series* 308:271–278.
- Seminoff, J. et al., 2006. Stable isotope discrimination ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) between soft tissues of the green sea turtle *Chelonia mydas* and its diet. *Marine Ecology Progress Series*, v. 308, p. 271–278.
- Seminoff, J. A., K. A. Bjorndal, And A. B. Bolten., 2007. Stable carbon and nitrogen isotope discrimination and turnover in pond sliders *Trachemys scripta*: insights for trophic study of freshwater turtles. *Copeia* 2007:534–542.
- Soares, C. L. S. et al.,2006. Avaliação da atividade antiinflamatória e analgésica do extrato bruto hidroalcoólico do zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing & Michelotti, 1860). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 16, n. 4, p. 463-468.
- Soares, L. P; Fujii, M. T. (2012) Novas ocorrências de macroalgas marinhas bentônicas no estado de Pernambuco, Brasil. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro , v. 63, n. 3, p. 557-570, Sept.
- Souza, J.L.,2019. *Caracterização da dieta e ingestão de resíduos antropogênicos pela tartaruga-verde (Chelonia mydas) em Ubatuba-SP e Florianópolis-SC*. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências), SP.
- Stock, B.C., Semmens, B.X., 2016. *MixSIAR GUI User Manual*. Version 3.1.
- Suzuki Kw, Kasai A, Nakayama K, Tanaka M., 2005. Differential isotopic enrichment and half-life among tissues in Japanese temperate bass (*Lateolabrax japonicus*) juveniles: implications for analyzing migration. *Can J Fish Aquat Sci* 62:671– 678
- Svanbäck R, Persson L., 2004. Individual diet specialization, niche width, and population dynamics: implications for trophic polymorphisms. *J Anim Ecol* 73:973–982
- Syväranta, J., Lensu, A., Marjomäki, T.J., Oksanen, S., Jones, R.I., 2013. An empirical evaluation of the utility of convex hull and standard ellipse areas for assessing population niche widths from stable isotope data. *PLoS One* 8, e56094.

- Tieszen, L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl, And N. A. Slade.,1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal- Tissues—Implications for d 13 C analysis of diet. *Oecologia* 57:32–37.
- Turner Tomaszewicz C, Seminoff J, Avens L, Goshe L, Rguez-Baron J, Peckham S, Kurle C., 2017. Expanding the coastal forager paradigm: long-term pelagic habitat use by green turtles (*Chelonia mydas*) in the eastern Pacific Ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 587:217–234.
- Turner Tomaszewicz, C. N.; Seminoff, J. A.; Price, M.; Kurle, C. M., 2017. Stable isotope discrimination factors and between-tissue isotope comparisons for bone and skin from captive and wild green sea turtles (*Chelonia mydas*). *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, London, v. 31, n. 22, p. 1903-1914.
- Turner Tomaszewicz C, Seminoff J, Avens L, Goshe L, Rguez-Baron J, Peckham S, Kurle C., 2018. Expanding the coastal forager paradigm: long-term pelagic habitat use by green turtles (*Chelonia mydas*) in the eastern Pacific Ocean. *Mar Ecol Prog Ser* 587:217–234.
- Vales Dg, Saporiti F, Cardona L, De Oliveira L. R. Et Al., 2014. Intensive fishing has not forced dietary change in the South American fur seal *Arctophoca* (= *Arctocephalus*) *australis* off Río de la Plata and adjoining areas. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst* 24:745–759
- Vander Zanden, H. B. et al., 2012. Inherent variation in stable isotope values and discrimination factors in two life stages of greenturtles. *Physiological and Biochemical Zoology*, v. 85, n. 5, 431–441.
- Vander Zanden, H. et al., 2013. Foraging areas differentially affect reproductive output and interpretation of trends in abundance of loggerhead turtles. *Marine Biology*, v. 161, n. 3, p. 585–598.
- Vander Zanden Hb, Tucker Ad, Bolten Ab, Reich Kj And Bjorndal Ka.,2014. Stable isotopes comparison between loggerhead sea turtle tissues. *Rapid Commun. Mass Spectrom* 28: 2059-2064.
- Vander Zanden, M. J., Clayton, M. K., Moody, E. K., And Solomon, C. T., 2015. Stable isotope turnover and half-life in animal tissues: a literature synthesis. *PLoS One* 10, e0116182. doi:10.1371/journal.pone.0116182
- Vélez-Rubio, G. M.; Cardona, L.; López-Mendilaharsu, M.; Souza, G. M.; Carranza, A.; González-Paredes, D.; Tomás, J., 2016. Ontogenetic dietary changes of green turtles (*Chelonia mydas*) in the temperate southwestern Atlantic. *Marine Biology*, Berlin, v. 163, n. 3, p. 57.
- Walker, J.; Potter, C. & Mack, S., 1999. The diets of modern and historic bottlenose dolphin populations reflect through stable isotopes. *Marine Mammal Science*, 15: 335-350, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-7692.1999.tb00805.x>
- Wibbels, T. R.; Owens, D. W.; Limpus, C. J., 2000. Sexing juvenile sea turtles: is there an accurate and practical method? *Chelonian Conservation and Biology*, Lunenburg, v. 3 p. 756–761.
- Wyneken, J.; Witherington, D., 2001. *The anatomy of sea turtles*. Washington, DC: Southeast Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, NOAA, US Department of Commerce.

## CAPÍTULO 3

### **Determinação da composição mineral de elementos essenciais e tóxicos em tecidos de *Chelonia mydas* (tartarugas verdes) do Atlântico Sul, Nordeste do Brasil**

Submetido à Marine Pollution Bulletin ISSN: 0025-326X

Midiã S. Rodrigues<sup>1,6</sup>, Iago J.S. da Silva<sup>2</sup>, Cristina F. da Fonseca<sup>3</sup>, Pierre C. Soares<sup>4</sup>, Múcio L.B. Fernandes, Geraldo J. B. de Moura<sup>1,5,6</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós – Graduação em Ciência Animal Tropical (PGCAT), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Química, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>3</sup> Laboratório de Parasitologia (LAPAR), Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>4</sup> Departamento de Medicina Veterinária, ), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>5</sup> Programa de Pós Graduação em Ecologia (PPGE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>6</sup> Laboratório de Estudos Herpetológicos e Paleherpetológicos (LEHP), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-9000, Dois Irmãos, Recife- Pernambuco, Brasil

<sup>7</sup> Laboratório de Estudos Ambientais, University de Pernambuco (UPE), Rua Amaro Maltês de Farias, Nazaré da Mata, Pernambuco, Brasil

*Corresponding autor:*

Email address: [midia\\_r@hotmail.com](mailto:midia_r@hotmail.com) (M. Rodrigues)

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração e distribuição de elementos essenciais e não essenciais (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) usando amostras de osso periférico do casco, músculo, rim e fígado de *C. mydas* da costa sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Os elementos foram quantificados utilizando ICP-OES. A concentração dos elementos, variou de acordo com o tipo de amostra. O padrão de acumulação dos elementos, seguiu a seguinte ordem: rim > fígado > casco > músculo. As concentrações de Al, Fe e Zn foram mais elevadas, enquanto Pb, Co e Mn, foram as menores. Pb esteve acima dos limites de quantificação, apenas no tecido muscular. Animais com fibropapilomatose apresentaram significativa relação com Cu, para o casco. A determinação multielementar, pode ser um instrumento de vigilância no acompanhamento contínuo das condições dos ecossistemas marinhos, detectando impactos na saúde das tartarugas marinhas.

Palavras chave: metais. tartarugas marinhas. forrageamento. toxicidade. alimentação. Nordeste do Brasil

## Abstract

The objective of this work was to determine the concentration and distribution of essential and non-essential elements (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) using samples of peripheral bone from the shell, muscle, kidney and liver of *C. mydas* inhabiting the south coast of Pernambuco, Northeast Brazil. The elements were quantified using ICP-OES. The concentrations of the elements varied according to the type of sample. The pattern of accumulation of the elements had the following order: kidney > liver > shell > muscle. The concentrations of Al, Fe and Zn were the highest, while Pb, Co and Mn were the lowest. Pb was above the limits of quantification in muscle tissue. Fibropapillomatosis had a significant relationship with Cu content in the shell. Multi-element determination can be a surveillance tool for the ongoing monitoring of the conditions of marine ecosystems, to detect impacts on the health of sea turtles.

Keywords: metals. sea turtles. foraging. toxicity. food. Northeast Brazil

## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas marinhos estão expostos à contaminação pelos mais variados poluentes, decorrentes de fontes naturais, bem como do seu uso antrópico, como a agricultura e a indústria (Cortés-Gómez, et al., 2017). A poluição química no ambiente marinho é generalizada devido ao uso comum de produtos químicos e metais em todo o mundo, e à tendência de transporte e persistência de muitos desses compostos a longo prazo (Sinaei e Bolouki, 2010; D'Ilio et al., 2011).

Ainda que alguns desses elementos essenciais sejam componentes naturais das rochas e do solo, presentes no ambiente marinho decorrentes do clima e da erosão (Garrett, 2000; Grillitsch; Schiesari, 2010) devido às intensas atividades industriais, quantidades não naturais desses elementos estão sendo liberadas nestes ecossistemas, alterando o seu equilíbrio biológico natural (Haynes e Johnson, 2000).

Alguns destes contaminantes podem permanecer por um período extenso no ambiente marinho, afetando assim, a saúde de muitos organismos, levando a mudanças na estrutura da teia alimentar e influenciando a bioacumulação nos tecidos de plantas e animais, incluindo as tartarugas marinhas e a bioacumulação (Hylland, 2006; Ley-Quinonez et al., 2011). Estes testudines despontam como potenciais bioacumuladores de elementos poluentes, uma vez que são animais com ampla distribuição, maturidade sexual tardia, longo ciclo de vida, hábitos migratórios, estando expostos comumente a uma variedade de habitats de forrageamento durante seu desenvolvimento (Maffucci et al. 2005; Jerez et al. 2010; Finlayson et al. 2016). Desta forma, as tartarugas marinhas estão fortemente expostas à poluição causada pela descarga de resíduos no ambiente marinho (James, et al. 2006).

Estudos vêm identificando os contaminantes orgânicos e inorgânicos no sangue, tecido e ovos de

tartarugas marinhas ao redor do mundo (Aguirre et al. 1994; Anan et al. 2002; Garcia-Fernandez et al. 2009; Franzellitti et al. 2004; Gardner et al. 2006; Sakai, et al. 2000b; Pugh e Becker, 2001; D'Ilio et al. 2011; Keller, 2013; Ley-Quiñónez; 2013; Cortés-Gómez, et al. 2017; Villa et al. 2017; Villa et al. 2019). Porém, ainda se sabe pouco sobre os efeitos toxicológicos de contaminantes químicos antropogênicos em tartarugas marinhas ou sobre como eles podem afetar a saúde destes animais (Finlayson, et al. 2016).

A espécie *Chelonia mydas* em especial, apresenta características que a colocam em situações de risco quanto a estes poluentes, principalmente em águas brasileiras. *C mydas* é a espécie mais costeira dentre as espécies que ocorrem no Brasil (Márquez, 1990) apresenta uma alta plasticidade alimentar, com mudanças ontogenéticas em seu hábito alimentar e, ao atingir entre 30 e 40 cm de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC), torna-se preferencialmente herbívora, se alimentando principalmente de gramas marinhas e algas bentônicas (Santos et al. 2015; Bolten et al. 2003; Bjorndal, 1997) Em áreas poluídas, os elementos tóxicos são tipicamente enriquecidos nas águas e nos sedimentos circundantes, bem como nas ervas marinhas e algas (Talavera-Saenz, 2017).

Além disso, estudos demonstram que doenças como a fibropapilomatose são mais frequentes em tartarugas verdes de regiões costeiras, rasas e poluídas (Adnyana et al. 1997; Van Houtan et al. 2010) ao passo que evidências sugerem possíveis etiologias sinérgicas de desenvolvimento da fibropilomatose e a presença de metais tóxicos (Aguirre et al. 1994; Day et al. 2007; Silva et al. 2016; Grillitsch; Schiesari, 2010).

Portanto, este trabalho objetivou avaliar a concentração e distribuição de elementos essenciais e não essenciais (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) usando amostras de fígado, rim, músculo e osso de *Chelonia mydas* (tartarugas verdes) da costa sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Essas informações são importantes, pois podem ser usadas para monitorar quaisquer alterações na biodisponibilidade desses microminerais essenciais e tóxicos, no habitat dessas tartarugas marinhas, fornecendo dados de linha de base para futuros estudos de monitoramento dessas espécies e para determinar se esses elementos estão presentes nos tecidos em concentrações que possam ter impacto na saúde da população.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO E COLETA DAS AMOSTRAS

Os locais de estudo corresponderam a oito praias do litoral sul do Estado de Pernambuco (-8.078341 / -4.875720 e -8.606433 / -35.046698) Nordeste do Brasil, compreendendo os municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca. (Figura 1). Este estudo foi realizado de novembro de 2016 a novembro de 2018, sendo analisadas 43 espécimes de *Chelonia mydas* encalhadas.



## ANÁLISE DOS ELEMENTOS ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS

### **Limpeza do material**

Toda a vidraria e instrumentos utilizados foram descontaminados por imersão em banho de ácido nítrico 10% (v/v) por pelo menos 24 h. Em seguida, o material foi lavado com água destilada-deionizada com resistividade específica de 18,2 M $\Omega$  cm (Milli-Q, Millipore, EUA), e deixado secar a temperatura ambiente.

A limpeza dos frascos de digestão foi realizada com 5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado no forno de micro-ondas, de acordo com o seguinte programa de aquecimento: Anton Paar – (a) 10 min até 100 C; (b) 2 min em 100° C; (c) 5 min até 140° C; (d) 20 min em 140° C; (e) 5 min até 30°C e 30 min finais para o resfriamento dos frascos disgestores). Provecto Analítica - (i) 800 W por 5 minutos, (ii) 0 W por 5 minutos e (iii) 800 W por 5 minutos.

### **Preparo de tecidos**

As amostras de músculo, fígado, rim e osso foram descongeladas sob refrigeração, acondicionadas em placas de Petri identificadas e secas em estufa com temperatura controlada entre 55°C e 60°C por aproximadamente 24 horas ou até a secagem completa. Posteriormente, o material foi triturado com o auxílio de almofariz e pistilo para a obtenção de um pó fino e homogêneo. Com o objetivo de evitar contaminação cruzada, os tecidos foram secos em estufa separadamente e agrupados por tipo (músculo, fígado, rim e casco).

### **Avaliação da eficiência de digestão**

Antes da definição do método de digestão, testes foram realizados com uma amostra de cada tipo de tecido para avaliar a eficiência do procedimento de decomposição. Esta avaliação foi realizada por meio da quantificação do teor de carbono residual (do inglês *Residual Carbon Content* – RCC). Foram realizadas alterações no método de digestão (massa de amostra, tempo e temperatura de digestão) até que valores adequados de RCC fossem obtidos.

O RCC é definido como a porcentagem (em massa) de carbono remanescente na amostra após o processo de decomposição, em relação ao conteúdo de carbono original na amostra antes da digestão (Gouveia et al. 2001; Krushevska et al.1992). A quantificação dos teores de carbono originais e remanescentes foi realizada com espectrofotômetro de absorção molecular UV-visível (DR/2010, Hach, EUA) com uma célula de 13,5 mm de caminho óptico, monitorando o comprimento de onda de 620 nm.

A determinação do teor de carbono residual foi realizada por meio de uma adaptação do método empregado por Krushevska et al. (1992), na qual uma alíquota de 1 mL (solução ou suspensão) ou 6 mg de amostra (sólida) foi transferida diretamente para tubos de ensaio com rosca (Hach, EUA). Foram então adicionados 1,5 mL de  $K_2Cr_2O_7$  ( $50 \text{ g L}^{-1}$ ) e 2,5 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Os tubos foram fechados e homogeneizados em agitador de tubos (tipo vortex) (Q-220B2, Quimis, Brasil) e depois levados para um bloco digestor (Spectroquant TR 420, Merck, Alemanha) a  $150^\circ\text{C}$  por 2 h. Com a amostra em temperatura ambiente, a absorvância foi medida no comprimento de onda de 620 nm usando o próprio tubo como uma cubeta. A concentração de carbono foi estimada usando uma curva analítica previamente preparada. Quando o teor de carbono era muito alto, a amostra era diluída (solução ou suspensão) ou utilizada em massas inferiores a 6 mg (sólido).

### **Digestão ácida das amostras**

Antes da quantificação dos minerais, as amostras foram inicialmente tratadas com ácido, passando por digestão ácida assistida por radiação micro-ondas. As soluções de branco analítico foram realizadas em triplicata e passaram por todas as etapas de preparo de amostra descritas detalhadamente abaixo, na ausência de tecidos.

### **Músculo**

Pesou-se uma massa de aproximadamente 500 mg de músculo peitoral em balança digital de precisão analítica, e transferiu-se este material juntamente com 5 mL de ácido nítrico concentrado ( $14 \text{ mol L}^{-1}$ , 65% m/m) (Química Moderna, Brasil) para frascos digestores de perfluoroalcoxi (PFA). A digestão foi realizada através do forno de micro-ondas Multiwave 3000, da Anton Paar<sup>®</sup>, com processamento durante 37 minutos, seguindo as seguintes etapas: (i) 10 minutos até  $100^\circ\text{C}$ ; (ii) 2 minutos em  $100^\circ\text{C}$ ; (iii) 5 minutos até  $140^\circ\text{C}$ ; (iv) 20 minutos em  $140^\circ\text{C}$ , seguidos de 30 minutos para o resfriamento dos frascos digestores. O conteúdo foi transferido para um tubo cônico de polietileno, completando-se o volume para 15 mL com água destilada-deionizada.

### **Fígado e Rim**

Pesou-se uma massa de aproximadamente 500 mg de fígado e rim (lavados, secos e cortados) no frasco de politetrafluoroetileno modificado (TFM), adicionando-se em seguida 5 mL de ácido nítrico concentrado ( $14 \text{ mol L}^{-1}$ , 65% m/m) (Química Moderna, Brasil). Os vasos foram fechados e levados ao forno de micro-ondas (DGT 100 Plus, Provecto Analítica, Brasil) com o seguinte programa de aquecimento: (i) 330 W por 5 min, (ii) 660 W por 5 minutos, (iii) 900 W por 4 minutos e (iv) 0 W por 7

minutos. Em seguida, o conteúdo foi transferido para um tubo cônico de polietileno, completando-se o volume para 15 mL com água destilada-deionizada. O forno de micro-ondas empregado opera com programação de aquecimento por potência de radiação micro-ondas em vez de temperatura. Neste trabalho, cada rodada de digestão foi realizada usando sempre seis frascos.

## Casco

Pesou-se uma massa de aproximadamente 200 mg de casco (lavado, seco e cortado) no frasco de politetrafluoroetileno modificado (TFM), adicionando-se em seguida 5 mL de ácido nítrico concentrado ( $14 \text{ mol L}^{-1}$ , 65% m/m) (Química Moderna, Brasil) e mais 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $18 \text{ mol L}^{-1}$ , 96% w/w) (Química Moderna, Brazil). Os vasos foram fechados e levados ao forno de micro-ondas (DGT 100 Plus, Provecto Analítica, Brasil) com o seguinte programa de aquecimento: (i) 330 W por 5 min, (ii) 600 W por 5 min, (iii) 800 W por 3 min and (iv) 0 W por 6 min. O conteúdo foi transferido para um tubo cônico de polietileno, completando-se o volume para 15 mL com água destilada-deionizada.

## Determinação do Limite de Quantificação (LQ) e de Detecção (LD)

Para a determinação dos limites de quantificação (LQ) e de detecção (LD) do método, foram preparados 10 brancos analíticos seguindo o procedimento de digestão estabelecido para cada tecido. O limite de detecção é definido como  $3 \times DP_{\text{Branco}}/a$  e o limite de quantificação como  $10 \times DP_{\text{Branco}}/a$ , sendo “ $DP_{\text{Branco}}$ ” o desvio-padrão do sinal analítico do branco ( $n = 10$ ) e “ $a$ ” o coeficiente angular da curva analítica para cada mineral estudado (Analytical Methods Committee, 1987). Neste trabalho, apenas foram expressos e discutidos, os valores de concentração que ficaram acima do limite de quantificação.

## Leitura das amostras digeridas

A determinação de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb e Zn foi realizada em um espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES) (Modelo 5100, Agilent Technologies, EUA). As seguintes condições operacionais foram utilizadas: potência de radiofrequência de 1200 W, vazão de gás do plasma de  $12 \text{ L min}^{-1}$ , vazão de gás auxiliar de  $1,0 \text{ L min}^{-1}$ , vazão de gás de nebulização de  $0,7 \text{ L min}^{-1}$ , vazão de amostra de  $1,0 \text{ mL min}^{-1}$ , tempo de lavagem (*flush time*) de 10 s, tempo de atraso de registro de sinal (*delay time*) de 15 s, nebulizador concêntrico e câmara de nebulização ciclônica.

Foram monitoradas as seguintes linhas de emissão (nm), no modo axial do plasma: Al I 396,152, Cd II 214,439, Co II 228,615, Cr II 267,716, Cu I 327,395, Fe II 238,204, Mn II 257,610, Mo II 202,032, Ni II 231,604, Pb II 220,353 e Zn I 213,857. Foi utilizado argônio com pureza mínima de 99,999% (Messer Gases, Brasil) no ICP OES para a geração do plasma, nebulização e como gás auxiliar.

Uma solução-mãe de ftalato ácido de potássio (Merck, Alemanha) contendo 10000 mg L<sup>-1</sup> de carbono foi preparada e, a partir dela, soluções padrão de calibração foram feitas na faixa de 50 - 3200 mg L<sup>-1</sup> de carbono. A curva analítica multielementar foi preparada a partir de soluções monoelementares dos analitos Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn (Specsol, Brasil), Co, Mo, (SCP Science, Canadá) e Ni (Inorganic Ventures, EUA) na concentração de 1000 mg L<sup>-1</sup>. As seguintes concentrações dos padrões foram aplicadas na preparação das curvas analíticas: 0,5, 10, 20, 30, 40 e 50 mg L<sup>-1</sup> (Al, Fe); 0,05, 1, 2, 3, 4 e 5 mg L<sup>-1</sup> (Cu, Mn, Zn); 0,005, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 mg L<sup>-1</sup> (Cr, Ni, Pb); 0,001, 0,02, 0,04, 0,06, 0,08 e 0,1 mg L<sup>-1</sup> (Cd, Co, Mo). As soluções foram preparadas em meio de HNO<sub>3</sub> a 5% (v/v) para aumentar sua estabilidade, evitando a precipitação e adsorção dos analitos nos recipientes.

### **Análise Estatística**

Os dados são apresentados com valores de min – máx e média (mg/kg peso seco) (Tabela 3 e 4). Foram calculados a média e desvio padrão dos dados obtidos. Os dados foram testados, inicialmente, quanto à sua distribuição normal, utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Aqueles que não atenderam às premissas de normalidade e homogeneidade de variância, foram submetidos à transformação com base logarítmica (LogX+1) ou radical (x+1). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F) que separou, como causas de variação, os efeitos de grupos. Quando houve significância no teste F, as médias foram comparadas pela diferença mínima significativa (d.m.s.) do teste de Student Newman Keuls. As análises foram realizadas no programa Statistical Analysis System (SAS), utilizando-se o procedimento General Linear Model (GLM) do SAS. Valores de p menores que 0,05 (5%) foram considerados estatisticamente significantes.

### **Resultados**

Foram analisadas 43 tartarugas encalhadas mortas ao longo da costa sul de Pernambuco. Dentre estas, 11 apresentavam fibropapilomas. A média de tamanho de carapaça foi de 46,58 ±14.82cm, variando entre 32 e 111 cm. A maioria dos animais (32 indivíduos) possuía comprimento de carapaça entre 32 e 49 cm, os demais mediam de 50 a 111 cm. Dos 43 animais encontrados, 7 eram machos e 36 fêmeas. Foram considerados juvenis os indivíduos de *C. mydas* que apresentaram até 95 cm de comprimento curvilíneo de carapaça (CCC), com base no tamanho mínimo de fêmeas em reprodução nas praias brasileiras (Grossman et al., 2007), deste modo, apenas um indivíduo foi considerado adulto.

Uma amostra de cada material foi selecionada aleatoriamente (códigos: casco CM1 22.01.18; fígado – CM2 22.01.18; músculo – CM1 22.01.18; e rim – CM2 22.01.18) para a determinação do RCC. Uma vez que no cálculo do RCC é empregado o valor do teor de carbono original (do inglês *Original Carbon*

*Content* - OCC) da amostra, estes resultados também são exibidos na Tabela 1, juntamente com os valores de RCC.

Os resultados apresentados na Tabela 1, são aceitáveis quando comparados aos valores de RCC obtidos para outros materiais semelhantes, como carne magra (25 - 30%) e fígado bovino (24 - 32%) (Barin et al. 2019), o que indica a eficiência dos métodos de digestão empregados. O valor do carbono residual para o casco, neste estudo, ficou em (34,9%), bem próximo dos valores encontrados para pelo de capivara (Yang et al. 2020).

Além disso, os valores de OCC alcançados (Tabela 1) foram comparados com dados disponíveis na literatura para o teor de carbono original em diferentes amostras, como carne magra (50%), fígado bovino (51%), rim de porco (49%) e músculo bovino (41%) (Barin et al., 2019). Os resultados foram semelhantes apesar de se tratarem de tecidos de animais completamente distintos.

**TABELA 1.** Resultados de teor de carbono residual nos tipos de amostras biológicas de *Chelonia mydas* digeridas.

<b>Amostra</b>	<b>OCC<sup>a</sup> (% m/m)</b>	<b>RCC<sup>a</sup> (% m/m)</b>
Casco	37 ± 0,08	34,9 ± 0,1
Fígado	46 ± 0,5	22 ± 2
Músculo	43 ± 0,7	21,9 ± 0,05
Rim	47 ± 2	20,4 ± 0,2

OCC - *Original Carbon Content* (teor de carbono original); RCC - *Residual Carbon Content* (teor de carbono residual); <sup>a</sup>Média ± desvio-padrão (n = 3).

A obtenção de baixos valores de RCC é fundamental para o desempenho adequado da quantificação mineral, considerando que a introdução de grandes quantidades de matéria orgânica não decomposta compostos podem causar entupimento do sistema, instabilidade e intensificação do plasma emissão de segundo plano quando são utilizadas técnicas baseadas em ICP (Grindlay et al. 2013; Wiltsche, Winkler e Tirk, 2015).

Os limites de quantificação do método para cada elemento analisado encontram-se na tabela 2 e foram utilizados como valores mínimos lidos com precisão e exatidão. Desta forma, valores abaixo do LQ foram expressados com asteriscos nas tabelas 3, 4 e 5.

**TABELA 2.** Limite de quantificação do método de acordo com o tipo de amostras e os elementos determinados

<b>Amostra</b> (mg Kg <sup>-1</sup> )	<b>Al</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Casco	7,9	0,14	0,33	0,20	0,47	2,3	0,042	0,61	2,2	9,0	11
Fígado	4,0	0,05	0,19	0,11	0,35	3,3	0,055	0,28	2,2	6,1	12
Músculo	1,7	0,053	0,18	0,13	0,21	3,1	0,099	0,28	0,46	1,4	1,7

Rim	6,6	0,084	0,31	0,19	0,58	5,5	0,091	0,47	3,7	10	20
-----	-----	-------	------	------	------	-----	-------	------	-----	----	----

A maioria dos elementos esteve presente em concentrações quantificáveis nos tecidos amostrados (Tabela 3), com exceção do Pb, que esteve acima do limite de quantificação, apenas no músculo. Ficou claro o organotropismo de alguns elementos; concentrações de Al, Cr e Fe foram maiores no casco, rim e fígado, enquanto Cd teve maiores valores no rim e fígado. Para o Co, a maior concentração foi encontrada no rim, apresentando baixas concentrações nos outros tecidos; Mn apresentou baixas concentrações no músculo, porém no casco, fígado e rim, as concentrações foram mais elevadas; para o Ni, as maiores concentrações foram casco e músculo, seguidas por rim e fígado; Zn mostrou uma padrão de altas concentrações em todos os tecidos analisados, porém, não foi encontrado nenhum padrão de distribuição; O músculo apresentou as menores concentrações de todos os elementos, exceto para o Ni. O padrão de acumulação dos elementos nos tecidos, seguiu a seguinte ordem: rim > fígado > casco > músculo.

Tabela 3. Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em mg kg<sup>-1</sup> de massa seca) no casco e músculo de *Chelonia mydas* do Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Samples	Elemento (mg kg <sup>-1</sup> ), média e variação de concentração em parênteses										
	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>Casco</b>											
Male	<b>1407.2</b> (321.-1779.9)	<b>0.15</b> (<0.14- 1.79)	<b>0.49</b> (<0.33 - 0.70)	<b>52.62</b> (35.3-62.2)	<b>3.14</b> ( 1.73- 4.23)	<b>333.07</b> (293.72 -371.77)	<b>12.67</b> (6.58 - 41.34)	<b>1.75</b> (0.65-2.22)	<b>17.87</b> (2.35 - 23.92)	*	<b>124.5</b> (213 - 383)
Female	<b>998.5</b> (147.81865.08)	<b>0.14</b> (0.14-019)	<b>0.43</b> (0.33-0.81)	<b>42.3</b> (5.84-149.7)	<b>2.646</b> (0.59 - 17.8)	<b>279.92</b> (57.4-1242.8)	<b>65.2</b> (1.4-1695.01)	<b>1.45</b> (<0.61 -2.8)	<b>12.12</b> (<2.2 - 26.5)	*	<b>83.44</b> (83.4 - 421.5)
<b>Músculo</b>											
Male	*	<b>0.18</b> (0.11 - 0.30)	*	*	<b>0.61</b> (<0.21 - 1.27)	<b>8.1</b> (<3.1 - 24.4)	*	*	<b>16.98</b> (<0.46 - 29)	<b>4.43</b> (1.4-6.89)	<b>74.03</b> (27.28 - 116.1)
Female	<b>19.35</b> (<1.7-672.39)	<b>0.31</b> (0.053-4.5)	<b>0.19</b> (<0.18-0.61)	<b>0.74</b> (<0.13-23.56)	<b>1.62</b> (<0.21 - 34.8)	<b>30.93</b> (<3.1 - 948.4)	<b>0.38</b> (<0.099 - 5.62)	<b>0.29</b> (<0.28-1.01)	<b>15.92</b> (<0.46 - 31.16)	<b>4.05</b> (<14-7.42)	<b>73.52</b> (17.9 - 225.04)

\* Valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do método.

**Tabela 4.** Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em mg kg<sup>-1</sup> de massa seca) no fígado e rim de *Chelonia mydas* do Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

Samples	Elemento (mg kg <sup>-1</sup> ), média e variação de concentração em parênteses										
	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>Fígado</b>											
Male	<b>371.4</b> (<4 – 817.5)	<b>9.6</b> (5.39– 14.514)	<b>0.59</b> (0.50 – 0.91)	<b>12.29</b> (<0.11 – 29.2)	<b>70.23</b> (14.62 – 171.21)	<b>1625.5</b> (970.8 –2630.3)	<b>6.86</b> (2.06– 14.2)	<b>0.73</b> (<0.28 – 1.46)	<b>4.2</b> (<2.2 –8.6)	*	<b>80.26</b> (30.59 – 115)
Female	<b>455.7</b> (<4 – 927.9)	<b>12.8</b> (3.48 – 44.2)	<b>0.82</b> (0.29 – 3.13)	<b>15.05</b> (<0.11 – 32)	<b>63.46</b> (<0.21 – 8.17)	<b>75.98</b> (6.3 –212.2)	<b>7.08</b> (0.4 – 16.96)	<b>0.92</b> (<0.28 – 3.06)	<b>4.45</b> (<2.2 10.5)	*	<b>82.19</b> (32.62 – 193.36)
<b>Rim</b>											
Male	<b>651.8</b> (551.2– 772.2)	<b>42.7</b> (18.2 – 67.05)	<b>5.05</b> (1.5 – 10.3)	<b>22.29</b> (18.75 –26.28)	<b>6.62</b> (4.69 – 10.02)	<b>569.7</b> (369.76-725.23)	<b>5.29</b> (3.59 – 92)	<b>0.86</b> (0.71 –1.04)	<b>6.2</b> (4.2 –8.05)	*	<b>81.32</b> (50.66 – 98.5)
Famale	<b>642,8</b> (247.89 –807.9)	<b>48.95</b> (5– 117.4)	<b>9.56</b> (0.7– 211.1)	<b>22.01</b> (7.53 – 29.79)	<b>8.75</b> (3.24 – 38.02)	<b>477</b> (147 – 939.1)	<b>5.63</b> (2.92 – 11.89)	<b>0.89</b> (0.28 – 2.28)	<b>5.77</b> (2.2 – 8.07)	*	<b>87.747</b> (43.1 – 188.9)

\* Valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do método.

TABELA 5. Concentrações de elementos essenciais e não essenciais (média e variação em mg kg<sup>-1</sup> de massa seca) no casco, músculo, fígado e rim de *Chelonia mydas* com fibropapilomatose, no Litoral Sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil.

<b>Casco</b>	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Média	1331.025	0.14	0.47	57.59	3.43	380.18	26.46	1.83	17.36	*	288.08
Variação de concentração	39,96 - 1737,37	<0,14 - 0,167	<0,33- 0,58	14,52 - 83,93	1,7 - 4,3	115,71- 760,39	2,71 - 144,80	<0,61 - 2,26	3,16- 24,04	*	153,62- 421,54
<b>Músculo</b>	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Média	*	0.18	*	*	0.83	8	0.66	*	16.89	4.1	70.8
Variação de concentração	*	<0,053-0,381	*	*	0,023 - 1,53	<3,1 - 26,1	<0,09 - 4,38	*	<0,46 - 30,15	<1,4 - 7,42	34,16- 95,42
<b>Fígado</b>	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Média	208.6	12.87	68	6.18	53.77	2705.7	7.67	427.9	2.7	*	93
Variação de concentração	<4,0 - 635,20	5,39 - 37,76	0,33 - 1,51	< 0, 11 - 19,11	14,62 - 106,28	1183,96 - 5359,178	1,49 - 16,96	<0,28 - 1,88	<2,2 - 9,4	*	30,59 - 193,35
<b>Rim</b>	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Média	595, 15	29.41	33.26	20.52	11.47	447.73	5.88	0.98	5.27	*	86.59
Variação de concentração	247,89 - 751,46	5,00 - 48,22	1,50 - 211, 17	7,53 - 29,79	3,41 - 38, 02	147,00 - 822, 27	3,66 - 8,92	0,283 - 2,28	2,20 - 8,01	*	43,11 - 188,94

Valores médios e variação de concentração máxima e mínima de *Chelonia mydas* com fibropapilomatose. \* Valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) do método.

Os resultados obtidos nos testes paramétricos ANOVA e Student-Newman-Keuls *post hoc* para estudar possíveis correlações dos elementos analisados de acordo com as medidas biométricas, (CCC, LCC e peso) que indicam a fase de desenvolvimento de cada indivíduo, não mostraram diferença estatisticamente significativa. Também não foi encontrada diferença entre os sexos. Foi encontrada diferença significativa entre a presença de fibropapilomas e o CCC dos animais ( $p=0,01$ ). No casco, houve diferença significativa entre o Cu e a presença de fibropapilomas ( $p=0,02$ ).

## DISCUSSÃO

Grande variedade de estudos vêm avaliando as concentrações de elementos essenciais e não essenciais em tecidos de *C. mydas* ao redor do mundo (Aguirre et al. 1994; Sakai et al. 2000b; Anan et al. 2002; Komoroske et al. 2011; Andreani et al. 2008; Talavera-Saenz et al. 2007; Bezerra et al. 2012; Ley-Quíñonez et al., 2013; Ikonopoulou et al., 2013; Silva et al. 2014; Camacho et al.; 2014; Silva et al.; 2016; Sinaei et al. 2017; Villa et al. 2017; Yiepell et al. 2017; Souza et al. 2018; Macêdo et al. 2015; Barraza et al. 2019; Villa et al. 2019). Entretanto, poucos trabalhos são direcionados para as relações existentes entre os efeitos biológicos adversos e as concentrações destes elementos nos tecidos das tartarugas, principalmente, direcionados para a região Nordeste do Brasil (Bezerra et al., 2012; Macêdo et al., 2015).

Assim como no presente estudo, outros trabalhos também têm demonstrado que não há correlação entre as concentrações dos elementos e as medidas biométricas (CCC, LCC e peso) dos animais. Mesmo sabendo que o tamanho/idade podem ser um importante fator de influência nas concentrações de elementos nos tecidos (Andreani et al. 2008), outros trabalhos também têm demonstrado resultados congruentes com os nossos (Maffucci et al. 2005; Andreani et al. 2008; Silva et al., 2016; Jerez et al., 2010; Bezerra et al. 2015; Barraza et al. 2019).

Maffucci et al. (2005) destacam que esta falta de correlação é observada de maneira constante quando se analisa animais selvagens, visto que (1) não existe uma distribuição igual de indivíduos com o mesmo tamanho; (2) há ausência de espécimes muito jovens ou muito adultos e (3) há uma grande variação de hábitos alimentares. Silva et al. (2016), Bezerra et al. (2015) e Jerez et al. (2010) complementam que além dos indivíduos estarem no mesmo nível de desenvolvimento, provavelmente o número limitado de amostras disponíveis e a distribuição desigual na classificação corporal, também podem ser um dos motivos para esta falta de correlação.

Apesar das concentrações de Cu encontradas neste trabalho, terem sido distribuídas diferencialmente entre os tecidos, os maiores valores foram encontrados no fígado, seguidos pelos rins. Essa tendência vêm sendo relatada em outros trabalhos (Lam et al. 2004; Gardner et al. 2006; Talavera-

Saenz et al. 2007; Andreani et al. 2008; Barbieri, 2009; Silva et al. 2014; D'Ilio et al. 2011; Yipel et al. 2017).

Yipel et al. (2017) e Andreani et al (2008), ao analisarem metais em *C mydas* e *Carreta carreta* (tartaruga cabeçuda), revelaram o Cu como um dos poucos metais, surpreendentemente, com maiores concentrações em tartarugas verdes que em *C. carreta*. Os autores discutem que o motivo seria o hábito alimentar herbívoro da espécie, uma vez que os tecidos com maiores taxas de Cu, sangue e fígado, são tecidos que refletem uma exposição de tempo recente aos elementos (Sakai et al., 2000b; Talavera-Saenz et al., 2007; Grillitsch e Schiesari, 2010). Assim, as macroalgas e ervas marinhas, acumulariam esse e outros elementos tóxicos (Carpenè et al.1995; Roberts et al. 2008), sendo assim, o hábito alimentar seria a principal hipótese para o acúmulo de Cu nos tecidos de *C. mydas* (Caurant et al. 1999; Sakai et al. 2000a; Franzellitti et al. 2004; Andreani et al. 2008).

Quanto ao Cd, os tecidos com maiores concentrações foram rim e fígado. Nos vertebrados, os elementos de modo geral, apresentam afinidade específica por determinados órgãos (organotropismo) que tendem a server como pontos específicos para acúmulo dos minerais (Meyers-Schone e Walton, 1994). Durante a exposição prolongada, o Cd se acumula no rim, e não no fígado, devido à afinidade pela proteína metalotioneína, ao ser transportado como um complexo desta (Nordberg, 1972; Andreani et al. 2008; Yipel et al. 2017). A metalotioneína é uma proteína de ligação de metal de baixo peso molecular, implicada na desintoxicação de metais tóxicos e na homeostase de elementos essenciais (Andreani et al., 2008), porém, com capacidade de indução maior em tecidos envolvidos na captação, armazenamento e excreção de metais, como intestino, fígado e rim (Sakai et al., 2000b). Isto indica uma exposição prolongada ao Cd, da população de *C. mydas* do litoral Sul de Pernambuco.

Em estudos realizados por Tan et al. (2010), células do fígado de tartarugas verdes juvenis, mostraram-se mais resistentes ao Cd e a outros elementos (Cr e Zn), em contraposição à células humanas e de peixe, revelando que as tartarugas verdes podem ser mais resistentes a este elemento. Tan et al. (2010) destacam que por esse motivo, essas células menos sensíveis às ações tóxicas, podem servir como ferramentas biológicas úteis para medir a contaminação de minerais mistos e avaliar os riscos potenciais à saúde do meio ambiente, da vida selvagem, bem como da saúde humana.

Talavera-Saenz et al. (2007) destacam que as tartarugas marinhas apresentam concentrações excepcionalmente altas de Cd, o que vêm sendo reportado em vários locais ao redor do mundo, como Japão (Sakai et al., 2000; Anan et al., 2001), China (Lam et al., 2004); Austrália (Gordon et al. 1998), México (Gardner et al. 2006; Talavera-Saenz et al. (2017); Paez-Osuna et al. (2010)), França (Caurant et al. 1999; Mar Mediterrâneo (Yipel et al. 2017), Costa Rica (Andreani, et al. 2008); Brasil (Silva et al. 2014), Mar Árábico (Bicho et al. 2006).

As concentrações de Cd apresentadas neste estudo são consistentes com os dados reportados para a espécie, porém, destaca-se que para o Brasil, as concentrações são extremamente superiores as encontradas por Barbieri et al (2009) para o estuário da Cananéia em São Paulo (0.957  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o fígado  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e

2.18 para o rim) e superiores as encontradas por Silva et al. (2014) para o Rio Grande do Sul (0.4  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para músculo, 9  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o fígado e 28.3  $\mu\text{g.g}^{-1}$  para o rim) porém, foram inferiores as reportadas por de Macedo et al. (2015) para o Norte da Bahia (54.5  $\text{mg/g}^{-1}$  massa seca para o rim e 18.8 $\text{mg/g}^{-1}$  para o fígado).

Barbieri (2007, 2009) aponta a toxicidade do Cd para a vida selvagem em geral. Fujiste et al. (1988) sinalizam que para os mamíferos marinhos, concentrações de 20  $\mu\text{g g}^{-1}$  (massa úmida) já são o suficiente para o aparecimento de danos renais. Neste estudo, as concentrações foram estimadas em massa seca e a taxa de umidade das amostras não foram disponibilizadas por Fujiste et al. (1988), assim, não temos como estimar este valor em peso seco, porém, hipotetizamos serem concentrações danosas para a população de *C. mydas*, visto o que Cd apresenta baixa taxa de excreção e consequente efeito acumulativo, sendo assim, considerado um dos metais de maior toxicidade para o organismo animal (Hueza et al., 2008).

Os resultados deste trabalho indicam que as concentrações de Al para as tartarugas encalhadas do litoral Sul de Pernambuco, são mais elevadas que as reportadas em estudos com tartarugas marinhas em outras regiões (Torrent et al., 2004; Aguirre et al., 1994; Homer et al., 2000; Barraza et al., 2019). Análises prévias mostraram que as diferenças de concentração de Al nas tartarugas verdes na Califórnia, EUA, refletiram os padrões de sedimentos encontrados em seus respectivos locais, hipotetizando que o Al estaria se bioacumulando nas fontes alimentares destes animais (Bazarra et al., 2019).

Até onde se sabe, não existem dados sobre a concentração de elementos essenciais ou não essenciais em itens alimentares de tartarugas verdes para a área analisada. Brito et al. (2012) determinaram as concentrações de alguns minerais em espécies de macroalgas na Bahia e reportaram altos níveis de As, Cd, Co, Mn, Ni, Pb and Zn. Portanto, as altas concentrações de Al encontradas para a região estudada, podem ser derivadas da perturbação de sedimentos contaminados por este elemento, que pode remobilizar contaminantes ligados aos sedimentos na coluna de água, onde eles potencialmente impactam uma ampla gama de espécies e são incorporados nas redes tróficas (Burton e Johnston, 2010). Komoroske et al. (2012) mostraram que diferentes tipos de algas apresentam diferenças significativas nos padrões de absorção e bioacumulação de elementos, assim, sugere-se que para a região analisada, as macroalgas, principais componentes da dieta de *C. mydas* (Rodrigues et al. 2019), devem estar acumulando altos níveis de Al.

Alguns elementos como Co, Mo, Mn e Ni, apesar de apresentarem inúmeras fontes e potencial risco para os organismos (Villa et al. 2019), são raramente utilizados em estudos de biomonitoramento. Ley-Quinonez et al. (2013) enfatizam que o Ni é pouco estudado nos trabalhos com tartarugas marinhas, destacando que os níveis gerais relatados, estão abaixo dos limites de detecção (Sakai et al. 2000; Gardner et al., 2006). Em nosso estudo, as concentrações de Ni são maiores dos que as relatadas para trabalhos anteriores (Sakai et al. 2000; Gardner et al., 2006; Barbieri et al., 2009; Macêdo et al., 2015). Para animais com e sem fibropapilomas, Silva et al. (2016) encontraram na população de Ubatuba, SP, concentrações

maiores de Ni que as reportadas neste estudo.

Labrada Martagon et al. (2011) em Punta Abreojos, encontraram altas concentrações de Ni no sangue de tartarugas verdes, refletindo assim uma exposição ambiental recente a esse elemento essencial e, conseqüentemente, um stress oxidativo, também recente. Os dados aqui relatados, demonstram que em todos os tecidos analisados, o Ni manteve uma média acima de  $4.0 \text{ mg g}^{-1}$  (massa seca), apresentando valores maiores no músculo (média de  $16,03 \text{ mg g}^{-1}$ ) e no casco (média de  $13,06 \text{ mg g}^{-1}$ ), o que demonstra uma exposição tardia a esse elemento (Grillitsch e Schiesari, 2010). A toxicidade do Ni nos organismos, depende da concentração deste no ambiente, da água e da fisiologia do organismo (Pyle e Couture, 2012). Assim, apesar de demonstrar pouca afinidade e baixas concentrações em vertebrados marinhos (Goye e Clarkson 2001; Baker et al. 2000; Ley Ley-Quinonez et al. (2013), pesquisas mais aprofundadas são necessárias para investigar o papel do Ni nestes organismos, dado sua toxicidade imunossupressora em animais (Sharma, 2007) e a precariedade de estudos envolvendo este elemento e as espécies marinhas tropicais (Gissi et al. 2016).

O casco apresentou as maiores concentrações de Mn, seguido pelo rim. Nossos valores de concentrações para Mn são muito superiores aos de Sakai et al. (2000a) e aos de Talavera et al. (2007), porém estão de acordo com as concentrações reportadas para *C. mydas* por Andreani et al. (2006) e para a espécie *Caretta caretta* (tartaruga cabeçuda) por Franzellitti et al. (2004). Andreani et al. (2006) apontam a falta de estudos que referenciem as concentrações deste metal em tartarugas, enquanto Ley-Quinonez et al. (2013) argumentam que os dados disponíveis estão apenas refletindo à baixa exposição das tartarugas marinhas a este elemento ou a eliminação mais rápida de Mn pelos tratos respiratório ou digestivo. Em contraste, Villa et al (2017) e Gauss et al. (2018) encontraram correlação de Mn com indicadores clínicos de comprometimento da saúde das tartarugas.

Faltam estudos sobre os parâmetros de toxicidade, como concentração efetiva e letal, bem como valores crônicos, de Co em organismos marinhos (Karthikeyan et al., 2019). Neste estudo, as concentrações de Co foram baixas para todos os tecidos, sendo em concentrações ligeiramente mais elevadas, apenas no rim. Sua toxicidade não é bem compreendida para os vertebrados, entretanto, a exposição elevada a este elemento, está associada ao estresse oxidativo, a marcadores clínicos e hematológicos de estresse (disfunções renais) e a respostas inflamatórias em *C. mydas* (Gauss et al., 2018; Villa et al., 2017).

Foi observada uma baixa afinidade de *C. mydas* pelo Mo, o que aparentemente, indica que este metal não tem impacto na saúde desta população em estudo. Villa et al., (2019) destacaram que não existem informações toxicocinéticas disponíveis para Mo em tartarugas verdes. Este metal ajuda na regulação de outros metais, como Cu e Hg e faz parte da composição de várias enzimas necessárias para os mais diversos estágios do metabolismo (Eisler, 2000). Porém, apresenta usos antropogênicos e, em altas concentrações, pode ser tóxico ou resultar em problemas renais (Eisler, 2000; Niemuth et al., 2014).

Quanto ao Pb, foram encontrados níveis abaixo do limite de quantificação, ou em concentrações

pouco significativas, em todos os tecidos analisados, corroborando com outros estudos (Lam et al., 2004; Godley et al., 1999; Silva et al., 2014; Gardner et al., 2006; Talavera-Saenz et al., (2007); Andreani et al., 2008; Macêdo et al., 2015).

Os resultados apresentados, contrastam com os de Sakai et al. (2000b), porque ao contrário do que foi reportado por estes, o tecido ósseo das tartarugas analisadas no Sul de Pernambuco não foi importante no acúmulo de Pb, ao invés disso, o único tecido que teve resultados acima do limite de quantificação para este elemento foi o músculo. As concentrações de Pb no tecido muscular, podem ser particularmente altas, após exposição prolongada em nível alto (Sakai et al., 2000b). Neste estudo, as concentrações musculares não se mostraram tão altas, o que pode sugerir a não existência de exposição prolongada a este metal de preocupação prioritária (Pb).

Apesar de não existir, na legislação brasileira, um limite máximo de referência para determinar a partir de qual concentração os elementos seriam tóxicos para as tartarugas marinhas, a título de comparação, pode-se usar as normas para alimentos, utilizando a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) N° 42/2013 que, dispõe sobre os limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos, tendo como base, o peixe (Cd  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ , Pb  $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Desta forma, para o Cd, todos os valores deste trabalho ultrapassaram marcadamente os limites permitidos e para o Pb, as concentrações musculares, também ultrapassaram o limite máximo permitido.

Silva et al. (2016), em estudos com animais com e sem fibropapilomatose (FP), encontraram altas concentrações de Pb, Fe e Cu no sangue de *C. mydas* gravemente afetadas pela doença. Os autores indicam que a concentração reduzida de colesterol sérico observada em tartarugas marinhas afetadas por FP, está associada a uma inibição da atividade de enzimas importantes que atuam na produção do colesterol (HMG-CoA redutase), induzida por maiores concentrações de Cu e Pb. Os autores também sugerem que o estresse oxidativo induzido por concentrações elevadas de Fe e Pb pode estar envolvido na etiologia e no desenvolvimento da doença.

Neste trabalho, foi encontrada correlações significativa entre o Cu e a presença de FP, entretanto, o tecido no qual ocorreu correlação foi o casco. Embora o Cu e o Fe sejam elementos essenciais para as tartarugas verdes, quantidades elevadas desses metais podem levar a efeitos biológicos adversos (Silva et al., 2016). Desta forma, sabendo das altas concentrações de Cu e Fe reportadas neste trabalho e suas indicações de estreita relação com a etiologia e desenvolvimento da FP (Silva et al., 2016), sugere-se que estes metais podem estar afetando a saúde da população de *C. mydas* da costa Nordeste do Brasil.

O Zn apresenta um papel importante na regulação de processos homeostáticos, sendo considerado essencial em pequenas concentrações (Maffucci et al. 2005; Jakimiska et al., 2011). Macedo et al. (2015) ao estudarem a população de *C. mydas* do Norte da Bahia, reportaram concentrações maiores que a deste estudo, ( $132 \text{ mg kg}^{-1}$  fígado;  $151 \text{ mg kg}^{-1}$  rim) e sugeriram que estas, não são suficientes para causar efeito tóxico nas tartarugas marinhas analisadas. As altas concentrações de Zn nestes estudos, podem ser resultado das áreas de forrageamentos de *C. mydas*, uma vez que o Zn vêm sendo reportado como

adquirido por meio da cadeia alimentar (Bustamante et al. 1998; Storelli e Marcotrigiano 2003; Talavera - Saenz et al. 2007; Ley-Quinonez, et al. 2013). Jakimiska (2011), sugere que esse metal está associado à síntese de metaloproteínas, atuando na proteção contra os efeitos tóxicos de elementos não essenciais.

As potenciais diferenças no comportamento de forrageamento, bem como as assinaturas variáveis da exposição durante a fase pelágica, podem explicar a variabilidade frequentemente maior de elementos tóxicos encontrados em tartarugas verdes juvenis (Villa et al. 2017)

O tamanho e idade são fontes significativas de variação de concentrações teciduais de elementos tóxicos, mesmo para indivíduos da mesma espécie. A idade deve ser particularmente forte para metais com tempo de meia-vida biológico alto e em espécies de vida longa, desde que os indivíduos consigam sobreviver a exposições de longo prazo e de baixo nível. Desta forma, é possível prever níveis mais altos de Cd, Pb e Zn em espécies de vida longa, como tartarugas marinhas (Grillitsch e Schiesari, 2010).

## CONCLUSÃO

Os níveis de minerais essenciais e não essenciais em casco, músculo, fígado e rim de *C. mydas* para o Nordeste do Brasil (litoral sul de Pernambuco) foi reportado pela primeira vez, neste estudo. No geral, apesar de não existir um padrão que responda quais concentrações causam efeitos negativos em tartarugas marinhas, os resultados corroboram com a ideia de que a exposição elevada de *C. mydas* a elementos potencialmente tóxicos em áreas costeiras da região do Atlântico Sul, Nordeste do Brasil, pode representar riscos à saúde das populações residentes. Como os resultados do presente estudo foram obtidos a partir de análises de amostras de variedade tecidual, eles refletem uma exposição ambiental com ampla gama de variação temporal, portanto, evidencia tanto respostas recentes quanto tardias ao estresse oxidativo pelo qual as populações de *C. mydas* estão passando.

É particularmente relevante o biomonitoramento em áreas com fontes diversas de elementos tóxicos e pouco caracterizadas, e em espécies como tartarugas marinhas, para as quais ainda são praticamente desconhecidos os possíveis impactos da exposição elevada à maioria dos elementos. Sabendo da importância da alimentação como fonte de contaminantes para estes animais, são necessários estudos adicionais quanto à contaminação e bioacumulação destes nas áreas de forrageamento de *C. mydas* analisadas.

Também se faz necessário estudos que revelem os efeitos tóxicos dos contaminantes nas mudanças fisiológicas ou comportamentais, bem como nos efeitos imunes e reprodutivos de *C. mydas* no nível de indivíduos de uma população (de acordo com os efeitos nos sistemas, tecidos e órgãos-alvo), na direção de se definir quais são as concentrações aceitáveis a serem adotadas para definir os limites máximos de toxicidade permitido para as tartarugas marinhas.

Os resultados provenientes desses estudos podem ser empregados como instrumento de vigilância no acompanhamento contínuo das condições ambientais dos ecossistemas marinhos, de maneira a detectar

impactos na saúde não só das tartarugas marinhas, mas da biota marinha e do meio ambiente como um todo, adotando um caráter de benefícios mútuos na perspectiva da Medicina da Conservação e da Saúde Única.

## REFERÊNCIAS

- Adnyana, W., Ladds, P. W., Blair, D., 1997. Observations of fibropapillomatosis in green turtles (*Chelonia mydas*) in Indonesia. Australian Veterinary Journal, v. 75, n. 10, p. 737-742, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.107>.
- Aguirre, A.A., Balazs G.H., Zimmerman B., Spraker T.R., 1994. Evaluation of hawaiian green turtle (*Chelonia mydas*) for potential pathogens associated with fibropapillomas. J Wildl Dis 30(1):8–15. DOI: [10.7589/0090-3558-30.1.8](https://doi.org/10.7589/0090-3558-30.1.8).
- Anan Y., Kunito T., Sakai H., Tanabe S., 2002. Subcellular distribution of trace elements in the liver of sea turtles. Mar Pollut Bull 45(1–12):224–229, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00106-6).
- Andreani, G., Santoro, M., Cottignoli, S., Fabbri, M., Carpenè, E., Isani, G., 2017. Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. Sci. Total Environ. 390, 287–294. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 69, pp. 3-12, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.014>.
- Anvisa, 2013. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC N. 42, de 29 de agosto de 2013 Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. Atomic Spectrometry, 30(10), 2223–2234. <https://doi.org/10.1039/c5ja00237k>
- Baker, A.J.M., Mcgrath S.P., Reeves R.D., Smith J.A.C., 2000. Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biochemical resource for phytoremediation of metalpolluted soils. In: Terry N, Banuelos G, Vangronsveld J (eds) Phytoremediation of contaminated soil and water. FL, Boca Raton, pp 85–107, 2000. DOI: [10.3923/jest.2011.118.138](https://doi.org/10.3923/jest.2011.118.138).
- Barbieri, E., 2007. Use of oxygen consumption and ammonium excretion to evaluate the sublethal toxicity of cadmium and zinc on *Litopenaeus schmitti* (Burkenroad, 1936, Crustacea). Wat. Environ. Res., v. 79, n. 5, p. 123-129, DOI: [10.2175/106143006x136775](https://doi.org/10.2175/106143006x136775)
- Barbieri, E., 2009. Effects of zinc and cadmium on oxygen consumption and ammonium excretion in pink shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*, Pérez-Farfante, 1967, Crustacea). Ecotoxicology, v. 18, n. 3, p.312-318, doi: [10.1007/s10646-008-0285-y](https://doi.org/10.1007/s10646-008-0285-y).
- Barraza, A.D., Komoroske, L.M., Allen, C., Eguchi, T., Gossett, R., Holland, E., Lawson, D.D., Leroux, R.A., Long, A., Seminoff, J.A., Lowe., C.G., 2019. Trace metals in green sea turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two southern California coastal estuaries. Chemosphere, 223, pp. 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.107>.
- Bezerra, M. F.; Lacerda, L. D.; Costa, B. G. B., Lima, E. H.S.M., 2012. Mercury in the sea turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1958) from Ceará coast, NE Brazil. An. Acad. Bras. Ciênc. [online]. 2012, vol.84, n.1, pp.123-128. Epub Feb 09, ISSN 0001-3765 DOI: [10.1590/s0001-37652012000100012](https://doi.org/10.1590/s0001-37652012000100012)
- Bicho, R., Joaquim, N., Mendoncam V., Al Kiyumi, A., Mahmoud, Iy., Al Kindi A., 2006. Levels of heavy metals and antioxidant enzymes in green turtle (*Chelonia mydas*) in the Arabian Sea, Sultanate of Oman. Twenty sixth annual symposium on sea turtle biology and conservation. Athens, Greece: International Sea Turtle Society;. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592009000300007>

Bjorndal, K. A.; Bolten, A. B.; Lagueux, C. J.; Jackson, D. R. Dietary overlap in three sympatric congeneric freshwater turtles (*Pseudemys*) in Florida. *Chelonian Conservation and Biology*, Lunenburg, v. 2, p. 430-433, 1997

Bolten, A. B. 1999. Techniques for measuring sea turtles. In: IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group. Research and management techniques for the conservation of the sea turtles. Prepared by IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group, edited by Karen L. Eckert et al. [Pennsylvania]: Blanchard, p 110, <https://static1.squarespace.com/static/5e4c290978d00820618e0944/t/5e5035685e3d79540993c628/1582314856525/26-measuring-sea-turtle-growth.pdf> Accessed 12 November 2019.

Bolten, A. B., 2003. Variation in sea turtle life history patterns: neritic vs. oceanic development stages. In: Lutz, P. L.; Musick, J. A.; Wyneken, J. (Eds.) *The biology of sea turtles*, vol. 2. Washington: CRC Press, p. 243–258.

Brito, G.B., Souza, T.L., Bressy, F.C., Moura, C.W.N., Korn, M.G.A., 2012. Levels and spatial distribution of trace elements in macroalgae species from the Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 2238–2244. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.022>

Burton, G., Johnston, E., 2010. Assessing contaminated sediments in the context of multiple stressors. *Environ Toxicol Chem*, 29, p. 2625, <https://doi.org/10.1002/etc.332>

Camacho, M., Boada, L.D., Orós, J., López, P., Zumbado, M., Almeida-González, M., Luzardo, O.P., 2014. Monitoring organic and inorganic pollutants in juvenile live sea turtles: results from a study of *Chelonia mydas* and *Eretmochelys imbricata* in Cape Verde. *Sci. Total Environ.*, 481: 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.051>

Carpenè, E., Serra, R., Isani, G., 1995. Effects of heavy metals on algae. In: Cheremisinoff PN, editor. *Encyclopedia of environmental control technology*. Houston, Texas: Gulf Publishing Company; p. 707–59.

Caurant, F., Bustamante, P., Bordes, M., Miramand, P., 1999. Bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in some tissues of the three species of marine turtles stranded along the French Atlantic coasts. *Mar Pollut Bull*, 38:1085–91, [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00109-5)

Cortés-Gómez, A.A.; D. Romero, D.; Girondot, M., 2017. The current situation of inorganic elements in marine turtles: a general review and meta-analysis. *Environ. Pollut.*, 229, pp. 567-585, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.077>

D'ilio, S., Mattei, D., Blasi, M.F., Alimonti, A., Bogianni, S., 2011. The occurrence of chemical elements and POPs in loggerhead turtles (*Caretta caretta*): an overview. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 1606–1615. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.022>

Da Silva, C.C., Klein, R.D., Barcarolli, I.F., Bianchini, A., 2006. Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles (*Chelonia mydas*) sea turtles from the southern Atlantic Ocean. *Aquat. Toxicol.* 170, 42e51, DOI: [10.1016/j.aquatox.2015.11.007](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.11.007)

Day, R.D., Segars, A.L., Arendt, M.D., Lee A.M., Peden-Adams, M.M., 2007. Relationship Of Blood Mercury Levels to Health Parameters in the Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*). *Environmental Health Perspectives*. V.115, N. 10, 2007, doi: [10.1289/ehp.9918](https://doi.org/10.1289/ehp.9918)

Eisler, R., 2000. *Handbook of chemical risk assessment*. Boca Raton: Lewis Publishers 1903 pp. <https://catalog.lib.ncsu.edu/record/NCSU1384995>. Accessed 20 November 2019.

Finlayson, K. A. et al., 2016. The current state and future directions of marine turtle toxicology research. *Environment International*, v. 94, p. 113-123, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.013>

- Franzellitti, S., Locatelli, C., Gerosa, G., Vallini, C., Fabbri, E., 2004 .Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic Sea. *Comp Biochem Physiol C Toxicol* 2004, 138:187–194. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2004.07.008>
- Fujiste, Y., Honda, K., Tatsukawa, R., Mishima, S., 1988. Tissue distribution of heavy metals in Dall's porpoise in the northwestern Pacific. *Mar. Pollut. Bull.* 19, 226230, [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90236-6](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90236-6)
- Garcia-Fernandez A.J., Gomez-Ramirez P., Martinez-Lopez E., Hernandez-Garcia A., Maria-Mojica P., Romero, D., Jimenez P., Castillo J.J., Bellido, J.J., 2009. Heavy metals in tissues from loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the southwestern Mediterranean (Spain). *Ecotoxicol Environ Saf* 72(2):557–563, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.05.003>
- Gardner, S.C., Fitzgerald, S.L., Vargas, B.A., Rodriguez, L.M, 2006. Heavy metal accumulation in four species of sea turtles from the Baja California peninsula, Mexico. *Biometals* 19(1):91–99, 2006, DOI: [10.1007/s10534-005-8660-0](https://doi.org/10.1007/s10534-005-8660-0)
- Garrett, R.G. Natural source of metals of the environment.,2000. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 6, 945–963,
- Gaus, C., Villa, C., Gülsah, D., Heffernan, A., Vijayasathy, S., Chun-Yin, L., Flint, M., Hof, C., Bell, I.,2018. Evaluating internal exposure of sea turtles as model species for identifying regional chemical threats in nearshore habitats of the Great Barrier Reef. *Science of The Total Environment.* 658. [10.1016/j.scitotenv.2018.10.257](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.257), 2018, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.257>
- Gissi, F., Stauber, J.L., Binet, M.T., Golding, L.A., Adams, M.S., Schlekat, C.E., Garman, E.R., Jolley, D.F., 2016. A review of nickel toxicity to marine and estuarine tropical biota with particular reference to the South East Asian and Melanesian region. *Environ. Pollut.*, 128, pp. 1308-1323, DOI: [10.1016/j.envpol.2016.08.089](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.089)
- Godley, B.J., Thomson, D.R., Furness, R.W., 1999. Do heavy metal concentrations pose threat to marine turtle from Mediterranean Sea? *Mar Pollut Bull* 38:497–502, [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00184-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00184-2).
- Gordon, A.N., Pople, A.R., Ng, J., 1998 Trace metal concentrations in livers and kidneys of sea turtles from south-eastern Queensland, Australia. *Marine and Freshwater Research* 49, 409–414, 1998, <https://doi.org/10.1071/MF97266>.
- Gouveia, S. T., Silva, F. V., Costa, L. M., Nogueira, A. R. A., Nóbrega, J. A., 2001. Determination of residual carbon by inductively-coupled plasma optical emission spectrometry with axial and radial view configurations. *Analytica Chimica Acta*, 445(2), 269–275, [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)01255-7](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)01255-7)
- Goye, R.A., Clarkson, T.W., 2001. Toxic effects of metals. In: Klaassen CD (ed) Casarett and Doull's toxicology, 6th edn. McGraw-Hill, Kansas City, KS, pp 811–867.
- Grillitsch, B., Schiesari, L., Chp. 12 the ecotoxicology of metals in reptiles. In: Sparling, D.W., Linder, G., Bishop, C.A., Krest, S.K.. (Eds.), 2010. *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*, second ed. CRC Press, pp. 337e448. <http://dx.doi.org/10.1201/EBK1420064162-c12>.
- Grindlay, G., Mora, J., De Loos-Vollebregt, M., Vanhaecke, F., 2013. A systematic study on the influence of carbon on the behavior of hard-to-ionize elements in inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B*, 86, 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2013.05.002>
- Grossman, A., Mendonça, P., Costa, M. R., Bellini, C., 2007. Morphometrics of the green turtle at the Atol das Rocas Marine Biological Reserve, Brazil. *Marine Turtle Newsletter*, v. 118, p. 12-13.
- Haynes, D., Johnson, J.E., 2000. Organochlorine heavy metal and polyaromatic hydrocarbon pollutant concentrations in the Great Barrier Reef (Australia): a review. *Mar. Pollut. Bull.* 41, 267–278, DOI:

[10.1016/S0025-326X\(00\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00134-X).

Homer, B.L., Foley, A., Fick, K.J., Lores, M.C., Redlow, A.E., Jacobson, E.R., 2000. Lesions, pathogens and toxins identified in 13 stranded marine turtles in Florida. In: Proceedings of the 18th International Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Mazatlan, Sinaloa, Mexico. NOAA Technical Memorandum, NMFS-SEFSC-436, pp. 117–118.

Hueza M.I, Sant'ana M.G.; Palermo-Neto J., 2008. Toxicologia do chumbo, mercúrio, arsênio e de outros metais. In: Toxicologia aplicada a Medicina Veterinária. 1ed, São Paulo: Manole, p. 641- 661.

Hylland, K., 2006. Biological effects in the management of chemicals in the marine environment. Mar. Pollut. Bull. 53, 614e619, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.010>

Ikonomopoulou, M.P., Olszowy, H., Francis, Rod, Ibrahim, K., Whittier, J., 2013. Accumulation of trace metals in the embryos and hatchlings of *Chelonia mydas* from Peninsular Malaysia incubated at different temperatures. Science of the Total Environment 301–306, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.031>.

James, M.C., Sherrill-Mix, S., Martin, K., Myers, R., 2006. Canadian waters provide critical foraging habitat for leatherback sea turtles, Biol. Conserv. 133, 347–357, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.06.012>

Jerez, S. et al. 2010. Accumulation and tissue distribution of heavy metals and essential elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Spanish Mediterranean coastline of Murcia. Chemosphere, v. 78, n. 3, p. 256–264, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.10.062>.

Karthikeyan, P., Rudragouda, S. A. N., Marigoudar, Sharma, V. K., 2019. Toxicity assessment of cobalt and selenium on marine diatoms and copepods. Environmental Chemistry and Ecotoxicology, v.1, 36-42, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.06.001>

Keller, J.M., 2013. Exposure to and Effects of Persistent Organic Pollutants. CRC Press, The Biology of Sea Turtles Volume III.

Komoroske, L. M., Lewison, R. L., Seminoff, J. A., Deustchman, D. D., Deheyn, D.D., 2012. Trace metals in an urbanized estuarine sea turtle food web in San Diego Bay, CA. Sure of Coastal Populations. Environ. Pol. 220, 1465e1476, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.018>

Krushevska, A., Barnes, R. M., Amarasiriwaradena, C. J., Foner, H., Martines, L., 1992. Determination of the residual carbon content by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after decomposition of biological samples. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 7, 845–850, 1992. <https://doi.org/10.1039/JA9920700845>

Labrada-Martagon, V., Rodriguez, P.A., Mendez-Rodriguez, L.C., Zenteno-Savin, T., 2011. Oxidative stress indicators and chemical contaminants in East Pacific green turtles (*Chelonia mydas*) inhabiting two foraging coastal lagoons in the Baja California peninsula. Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol. 154 (2), 65e75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.02.006>.

Lam, J.C.W., Tanabe, S., Chan S.KF., Yuen E.K.W, Lam, M.H.W., Lam P.K.S., 2004. Trace element residues in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) from South China waters. Mar Pollut Bull, 48:164–92, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2003.09.003](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.09.003)

Ley-Quinónez, A.A., Zavala-Norzagaray, J.G., Réndon-Maldonado, T.L., Espinosa-Carreón, A., Canizales-Román, D.C., Escobedo-Urías, M.L., Leal-Acosta, C.E. Hart, A.A., Aguirre., 2013. Selected heavy metals and selenium in the blood of black sea turtle (*Chelonia mydas agassizii*) from Sonora, Mexico. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 91, pp. 645-651, DOI: [10.1007/s00128-013-1114-4](https://doi.org/10.1007/s00128-013-1114-4).

- Ley-Quinonez, C., Zavala-Norzagaray, A.A., Espinosa-Carreón, T.L., Peckham, H., Marquez-Herrera, C., Campos-Villegas, L., Aguirre, A. A., 2011. Baseline heavy metals and metalloid values in blood of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from Baja California Sur, Mexico. *Mar Pollut Bull* 62(9):1979–1983, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2011.06.022](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.022)
- Macedo, G.R., Tarantino, T.B., Barbosa, I.S., Pires, T.T., Rostan, G., Goldberg, D.W., Pinto, L.F.B., Korn, M.G., Franke, C.R., 2015. Trace elements distribution in hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) and green turtle (*Chelonia mydas*) tissues on the northern coast of Bahia, Brazil, *Marine Pollution Bulletin*, 94, 284–855 289, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2015.02.033](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.02.033)
- Maffucci, F., Caurant, F., Bustamante, P., Bentivegna, F., 2005. Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). *Chemosphere* 58, 535–542, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.032>.
- Márquez, R. M. Sea turtles of the world. Rome: FAO, 1990. (FAO Fisheries Synopsis, 125).
- Meyers-Schöne, L.; Walton, B.T., 1994. Turtles as monitors of chemical contaminants in the environment. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology*, v. 135, p. 93153, [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2634-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2634-5_3)
- Niemuth, J. N., Sanders, C. W., Mooney, C. B., Olfenbuttel, C., Deperno, C. S., & Stoskopf, M. K., 2014. Nephrolithiasis in free-ranging North American river otter (*Lontra canadensis*) in North Carolina, USA. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 45, 110–117, DOI: [10.1638/2013-0135R2.1](https://doi.org/10.1638/2013-0135R2.1).
- Nordberg, G., 1972. Cadmium metabolism and toxicity. *Environ. Physiol. Biochem.* 2, 7–36.
- Páez-Osuna, F., M.F., Calderón-Campuzano, M.F., Soto-Jiménez., J.R. Ruelas-Inzunza., 2010. Lead in blood and eggs of the sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from the Eastern Pacific: concentration, isotopic composition and maternal transfer. *Mar. Pollut. Bull.*, 60(3): 433-439, doi: [10.1016/j.marpolbul.2009.10.004](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.10.004).
- Pugh, R.S., Becker, P.R., 2001. Sea Turtle Contaminants: A Review with Annotated Bibliography. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- Pyle, G. G., Couture, P., 2012. Homeostasis and toxicology of essential metals. In: C.M. Wood, A.P. Farrell, C.J. Brauner (Eds.), *Fish Physiology*, 31A, Elsevier Inc, pp. 253-289
- Roberts, D., Johnston, E., Poore, A., 2008. Biomonitors and the assessment of ecological impacts: distribution of herbivorous epifauna in contaminated macroalgal beds. *Environ Pollut*, 156 (2008), pp. 489-503, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.012/>
- Rodrigues, M.S. et al., 2019. Contribution to the study of the green turtle (*Chelonia mydas*) diet in the South Atlantic, Northeast Brazil. *International Journal of Development Research*. v.9.
- Sakai, H., Saeki, K., Hichihashi, H., Suganuma, H., Tanabe, S., Tatsukawa R., 2000a. Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan. *Archiv Environ Contam Toxicol* 39: 378-385, <https://doi.org/10.1007/s002440010118>.
- Sakai, H., Saeki, K., Hichihashi, H., Suganuma, H., Tanabe, S., Tatsukawa R., 2000b. Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters. *Mar Pollut Bull* 40: 701-709, [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00008-4)
- Sharma, R.P. Immunotoxicity. C. Gupta (Ed.), 2007. *Veterinary Toxicology. Veterinary Toxicology, Basic and Clinical Principles*, Academic Press, New York. pp. 289-301

- Silva, C.C., Varela Jr. A.S., Barcarolli, I.F., Bianchini, A., 2014. Concentrations and distributions of metals in tissues of stranded green sea turtles (*Chelonia mydas*) from the southern Atlantic coast of Brazil. *Sci. Total Environ.* 466–467, 109–118, DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.06.094](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.094).
- Sinaei, M. Mehdi, B.K., 2017. Metals in Blood and Eggs of Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) from Nesting Colonies of the Northern Coast of the Sea of Oman. *Archives of environmental contamination and toxicology.* 73. *Arch Environ Contam Toxicol*, Nov;73(4):552-561. DOI: [10.1007/s00244-017-0421-x](https://doi.org/10.1007/s00244-017-0421-x)
- Souza, N.L.N., Carneiro, M.T.W.D., Pimentel, E.F., 2018. Frossard, A.; Borini, J. Freire, D.C.E., Ferreira Júnior, P.D. Trace elements influence the hatching success and emergence of *Caretta caretta* and *Chelonia mydas*, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Volume 50, <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.06.007>.
- Storelli, M. M., Marcotrigiano, G. O., 2003. Heavy metal residues in tissues of marine turtles. *Mar Pollut Bull* 46(4):397–400, [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00230-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00230-8).
- Talavera-Saenz, A., Gardner, S.C., Riosmena Rodriguez, R., Acosta Vargas, B., 2007. Metal profiles used as environmental markers of green turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources. *Sci. Total Environ.* 373 (1), 94e102, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.10.012>.
- Tan, F., Wang, M., Wang, W., Aguire, A.A., Lu, Y., 2010. Validation of an in vitro cytotoxicity test for four heavy metals using cell lines derived from a green sea turtle (*Chelonia mydas*). *Cell Biol. Toxicol.* 26, 255–263, DOI: [10.1007/s10565-009-9130-1](https://doi.org/10.1007/s10565-009-9130-1).
- Torrent, A. González-Díaz, O.M., Monagas, P., Orós, J., 2004. Tissue distribution of metals in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) stranded in the Canary Islands, Spain. *Mar. Pollut. Bull.* 49, 854–860, DOI: [10.1016/j.marpolbul.2004.08.022](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.08.022).
- Van Houtan, K.S., Hargrove, S.K., Balazs, G.H., 2010. Land use, macroalgae, and a tumor-forming disease in marine turtles. *PLoS One* 5 (9), e12900, doi: [10.1371/journal.pone.0012900](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012900).
- Villa, A.C. et al., 2019. Elucidating temporal trends in trace element exposure of green turtles (*Chelonia mydas*) using the toxicokinetic differences of blood and scute samples. *Sci. Total Environ.* 651 (2), 2450–2459, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.092>.
- Villa, C.A. et al., 2017. Trace element reference intervals in the blood of healthy green sea turtles to evaluate exposure of coastal populations. *Environ. Pollut.* 220, 1465–1476, □ DOI: 10.1016/j.envpol.2016.10.085 .
- Wibbels, T. R., Owens, D. W., Limpus, C. J., 2000. Sexing juvenile sea turtles: is there an accurate and practical method? *Chelonian Conservation and Biology*, Lunenburg, v. 3 p. 756–761.
- Wiltsche, H., Winkler, M., Tirk, P., 2015. Matrix effects of carbon and bromine in carbon and bromine in inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 30(10), 2223–2234, <https://doi.org/10.1039/c5ja00237k>
- Wyneken, J.; Witherington, D., 2001. *The anatomy of sea turtles*. Washington, DC: Southeast Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, NOAA, US Department of Commerce.
- Yang, S.G.N.S., Silva, I.J.S., Souza, D.S., Fonseca, C.F., Santiago, A.C.S., Soares, P.C., Oliveira, J.B., 2020. Multi- elemental exposure assessment through concentration in hair of free-ranging capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*, Linnaeus, 1766) in the Atlantic Forest remnants, Northeast of Brazil. *Chemosphere*, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127800>.

Yipel, M., Tekeli, İ.O., İşler, C.T., Altuğ, M.E., 2017. Heavy metal distribution in blood, liver and kidneys of Loggerhead (*Caretta Caretta*) and Green (*Chelonia mydas*) sea turtles from the Northeast Mediterranean Sea, Mar. Pollut. Bull. 125 (1–2), 487–491, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.011>.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das duas metodologias distintas e complementares, análise do conteúdo esofágico e estomacal e análise de isótopos estáveis, para avaliação da dieta de *C. mydas*, mostraram que a população residente é preferencialmente herbívora, mas que ainda existe ingestão de matéria animal por esses organismos, principalmente de cnidários da espécie *Palythoa caribaeroum*. A ingestão de material animal pode estar relacionada a diversos fatores como oportunismo, à necessidade de vitaminas e minerais, facilidade de encontro do item, “*scavenging behavior*”, ou até a ingestão acidental.

O baixo grau de especialização individual na dieta, revela que os esforços de conservação devem levar em conta, não apenas a importância potencial de fontes alimentares bentônicas para as populações de tartarugas verdes, mas também a possibilidade de que subconjuntos da população possam desempenhar diferentes papéis ecológicos diferencialmente vulneráveis a impactos antropogênicos.

A análise dos isótopos estáveis de C e N demonstraram que para a melhor interpretação de alguns dados, estudos futuros poderiam envolver a utilização de indivíduos em cativeiro, para determinação de taxas de *turnover* e de fatores de discriminação para diferentes tecidos, bem como a coleta de itens alimentares de ambientes pelágicos e neríticos, para que as inferências sobre a utilização dos indivíduos nos habitats seja melhor fundamentada. Ao apresentar os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para tecidos pouco explorados na literatura, como tecido ósseo e rim, o presente estudo pode balizar outros a encontrar informações e interpretações sobre dados isotópicos para tartarugas marinhas, ainda pouco compreendidos.

A determinação dos níveis dos elementos minerais em tecidos de *C. mydas* demonstrou diferentes concentrações orientadas pelo organotropismo de cada elemento, sendo mais relevantes no rim e no fígado. Altas concentrações desses elementos nas amostras são paralelas à contaminação dos ecossistemas marinhos, uma vez que apresentaram em valores tóxicos até para os elementos essenciais, demonstrando assim, a exposição que a biota está sofrendo nestes ambientes contaminados.

A informação sobre os locais de forragemanto de *C. mydas* no litoral Sul de Pernambuco, é essencial para avaliar o risco de encontrar ameaças antropogênicas, como a exposição a elementos tóxicos. Este é o primeiro relato detalhado de elementos tóxicos e não tóxicos selecionados nos tecidos de tartarugas marinhas para a região. Os resultados obtidos mostram certas diferenças significativas em termos de níveis de contaminação entre as tartarugas do litoral deste estudo e as tartarugas estudadas em outros locais, bem como reforçam a associação de Cu à presença de doenças, como a fibropapilomatose. Isso destaca a importância do entendimento do tempo gasto em áreas de forrageamento e do nível de contaminação desses locais, reforçando a importância de estudos que abordem estes aspectos, além da quantificação dos microminerais nos potenciais itens alimentares destes animais.

Este estudo reforçou a importância destes indivíduos como sentinelas acerca do nível de contaminação dos ecossistemas marinhos, já que apresentam alta expectativa de vida, possibilitando assim a bioacumulação de microminerais no decorrer do seu desenvolvimento. Por existirem estudos

quantificando concentrações em tecidos de *C. mydas* ao redor do mundo, os dados aqui apresentados permitem fazer inferências e comparações para que sejam tomadas medidas de conservação, não só das tartarugas marinhas, mas dos ecossistemas marinhos como um todo, utilizando informações de fontes locais como ponto de partida para extrapolar as ações na direção da Medicina da Conservação e da Saúde Única.

Este estudo ainda inclui dados a serem trabalhados quanto: (1) aos macrominerais que foram determinados, (2) à quimiometria de todos os elementos quantificados e (3) à sanidade dos 44 animais necropsiados, demonstrando assim, que a amplitude dos resultados é mais completa em todos os aspectos aqui analisados.