Fator de condição K e teste de micronúcleo como indicadores de saúde animal

Manuela Jucá Correia[1], Victor Silva Vasconcelos[1], Nilciane Almeida do Monte[1], Maria Janaína Silva[1], Matheus Nascimento Oliveira[1]*, Isabelle Caroline Silva Dutra[1], Maria Síngela Freitas dos Santos[1], Tiago Lucena da Silva[1], Maria Isabel Afonso da Silva[1]

1 Laboratório de Biologia Animal, Centro Multidisciplinar - CMULTI, Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil
*Autor para correspondência: oliveiramatheus.bio@gmail.com

Recebido em 24 de julho de 2024.
Aceito em 13 de setembro de 2025.
Publicado em 30 de dezembro de 2025.

Resumo

Com 357 espécies reconhecidas atualmente, os quelônios são um dos grupos em situação mais crítica de conservação. O jabuti *Chelonoidis denticulatus* (Linnaeus, 1766), conhecido como jabuti-tinga ou jabuti de patas amarelas, é a espécie de quelônio mais consumida na região do alto Juruá, o que torna preocupante seu status. Estudos fisiológicos são de fundamental importância para obtenção de informações sobre o estado de saúde dos animais, porém há escassez desses dados para a maioria dos quelônios em seu ambiente natural. Dessa forma, este trabalho teve como avaliar a qualidade do ambiente por meio da técnica de micronúcleo e fator de condição k de espécimes da região do extremo ocidente da Amazônia brasileira. Para isso, foram coletadas amostras sanguíneas de 30 jabutis, 15 machos e 15 fêmeas, os quais também tiveram suas medidas corpóreas mensuradas, e amostras de sangue submetidas a método citoquímico de análise (Teste do Micronúcleo por coloração de Feulgen). Não foram observados micronúcleos nos eritrócitos analisados, o que indica que não houve lesão genotóxica e mutagênica nas células vermelhas dos organismos, sugerindo que o ambiente no qual os animais foram capturados não está sob influência de agentes químicos e físicos capazes de causar toxicidade a nível cromossômico. As fêmeas apresentaram índice de condição K significativamente maior que os machos, possivelmente por aumento do peso corpóreo, refletindo estoque de lipídios para produção e manutenção dos ovos. Dessa forma, os dados avaliados confirmam o status de área conservada, de modo que os valores de normalidade estabelecidos para machos e fêmeas de vida livre desta população sirvam de referencial para outros espécimes de *C. denticulatus*, com implicações práticas para clínica e conservação da espécie.

Palavras-chave: Quelônios. Micronúcleo. Vida livre. Amazônia.

Condition factor K and micronucleus test as animal health indicators

Abstract

With 357 species currently recognized, turtles are one of the groups in the most critical conservation situation. The yellow-footed tortoise *Chelonoidis denticulatus* (Linnaeus, 1766), is the most consumed turtle species in the Alto Juruá region, which makes its status worrisome. Physiological studies are of fundamental importance for obtaining information on the health status of animals, but there is a lack of such data for most turtles in their natural environment. Thus, this study aimed to assess the quality of the environment through the micronucleus technique and condition factor k of specimens from the far west region of the Brazilian Amazon. For this, blood samples were collected from 30 turtles, 15 males and 15 females, which also had their body measurements measured, and blood samples submitted to cytochemical analysis method (Micronucleus Test by Feulgen staining). No micronuclei were observed in the analyzed erythrocytes, which indicates that there was no genotoxic and mutagenic injury in the red cells of the organisms, suggesting that the environment in which the animals were captured is not under the influence of chemical and physical agents capable of causing toxicity at the chromosomal level. Females had a significantly higher K condition index than males, possibly due to increased body weight, reflecting lipid storage for egg production and maintenance. Thus, the evaluated data confirm the status of a conserved area, so that the normality values established for free-living males and females of this population serve as a reference for other specimens of *C. denticulatus*, with practical implications for the clinic and conservation of the species.

Keywords: Turtles. Micronucleus. Free-living. Amazon.

Factor de condición K y prueba de micronúcleos como indicadores de salud animal

Resumen

Con 357 especies reconocidas actualmente, los quelonios son uno de los grupos en situación más crítica de conservación. El motivo de preocupación sobre el estatus de la tortuga terrestre Chelonoidis denticulatus (Linnaeus, 1766), conocida como "jabuti-tinga" o tortuga de patas amarillas, se debe a que es la especie de quelonio más consumida en la región del alto Juruá. Los estudios fisiológicos son de fundamental importancia para la obtención de información sobre el estado de salud de los animales; sin embargo, existe una escasez de estos datos para la mayoría de los quelonios en su ambiente natural. De esta forma, este trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad del ambiente por medio de la técnica de micronúcleos y el factor de condición K de especímenes de la región del extremo occidental de la Amazonía brasileña. Para ello, se recolectaron muestras sanguíneas de 30 tortugas, 15 machos y 15 hembras, a las cuales también se les midieron sus dimensiones corporales, y las muestras de sangre se sometieron a un método citoquímico de análisis (Prueba de Micronúcleos mediante tinción de Feulgen). No se observaron micronúcleos en los eritrocitos analizados, lo que indica que no hubo lesión genotóxica ni mutagénica en las células rojas de los organismos, sugiriendo que el ambiente en el que se capturaron los animales no está

bajo la influencia de agentes químicos y físicos capaces de causar toxicidad a nivel cromosómico. Las hembras presentaron un índice de condición K significativamente mayor que los machos, posiblemente por un aumento del peso corporal que refleja el almacenamiento de lípidos para la producción y mantenimiento de los huevos. De este modo, los datos evaluados confirman el estatus de área conservada, de manera que los valores de normalidad establecidos para machos y hembras de vida libre de esta población sirvan de referencia para otros especímenes de C. denticulatus, con implicaciones prácticas para la clínica y la conservación de la espécie.

Palavras-chave: Quelônios. Micronúcleo. Vida livre. Amazônia.

Introdução

Os quelônios são um grupo de répteis que inclui tartarugas, cágados e jabutis (Zug, 1993; Garcia-Navarro; Pachaly, 1994; Goulart, 2004; Pough et al.,2008; Pough et al., 2013), animais que estão entre os mais ameaçados do mundo, devido principalmente a sobre-exploração e a destruição de habitats (Engstrom et al., 2002; TTWG, 2021). Esse grupo enfrenta diversas pressões antrópicas, como o comércio ilegal para serem são utilizados como animais de estimação, fontes de alimento e uso medicinal (Engstrom et al., 2002). No Brasil, os quelônios são amplamente consumidos, especialmente na região amazônica, onde essas práticas são comuns tanto entre as populações tradicionais quanto urbanas, que utilizam esses animais e seus subprodutos como recursos alimentares e medicinais, conforme destacam os estudos de Rebêlo e Pezzuti (2000), Vogt (2008) e Oliveira et al. (2019).

O jabuti-tinga (Chelonoidis denticulatus), um quelônio terrestre da ordem Testudines (Ernest; Barbour, 1989; Storer et al., 2000; Goulart, 2004), exemplifica a complexa relação entre conservação e uso humano. Esses animais necessitam de longos períodos para atingir a maturidade sexual e têm baixa taxa de reposição populacional, fatores que os tornam especialmente suscetíveis às pressões humanas (Pough et al.,2008; Pough et al., 2013). A pressão antropogênica, incluindo a caça e a destruição de habitat, tem contribuído significativamente para o declínio das populações de jabuti-tinga (Vinke et al., 2008). Para mitigar esses impactos, é crucial desenvolver e implementar estratégias de conservação baseadas em uma compreensão aprofundada da biologia e ecologia da espécie (Stevenson e Woods, 2006). A avaliação do ambiente é essencial para a elaboração de estratégias de conservação e manejo sustentado das populações de vida livre. Assim, análises que refletem a qualidade ambiental, como o fator de condição K e a análise do teste de micronúcleo, podem ser utilizadas conjuntamente como indicativo da saúde e do bem-estar das espécies.

A avaliação da condição corporal é um instrumento útil para avaliar a saúde geral e o estado nutricional de um determinado organismo (Mcarthur et al., 2004; Moya-Laraño et al., 2008). O índice de condição corporal, como o fator de condição, é amplamente utilizado como parâmetro para determinar as reservas corporais de um animal, sendo indicativo de bem-estar que permite avaliar o crescimento ontogênico do animal em um determinado ambiente (Stevenson e Woods, 2006). Outra técnica que pode ser facilmente aplicada para avaliação de potenciais riscos à saúde é a análise da presença de micronúcleos em células. Esta técnica é utilizada para detectar danos genéticos causados por fatores ambientais, como poluentes químicos e físicos que têm a capacidade de causar toxicidade acumulada nos organismos (Poletta et al., 2008). Os micronúcleos podem ser gerados por danos causados no DNA ou instabilidade genômica (Terradas e Genesca, 2016) e são

originados de duas formas, clastogênica (quebras cromossômicas), no qual agentes clastogênicos operam à nível de DNA, ou aneugênica (cromossomos inteiros), quando as proteínas do fuso mitótico são afetadas (Fenech, 2011).

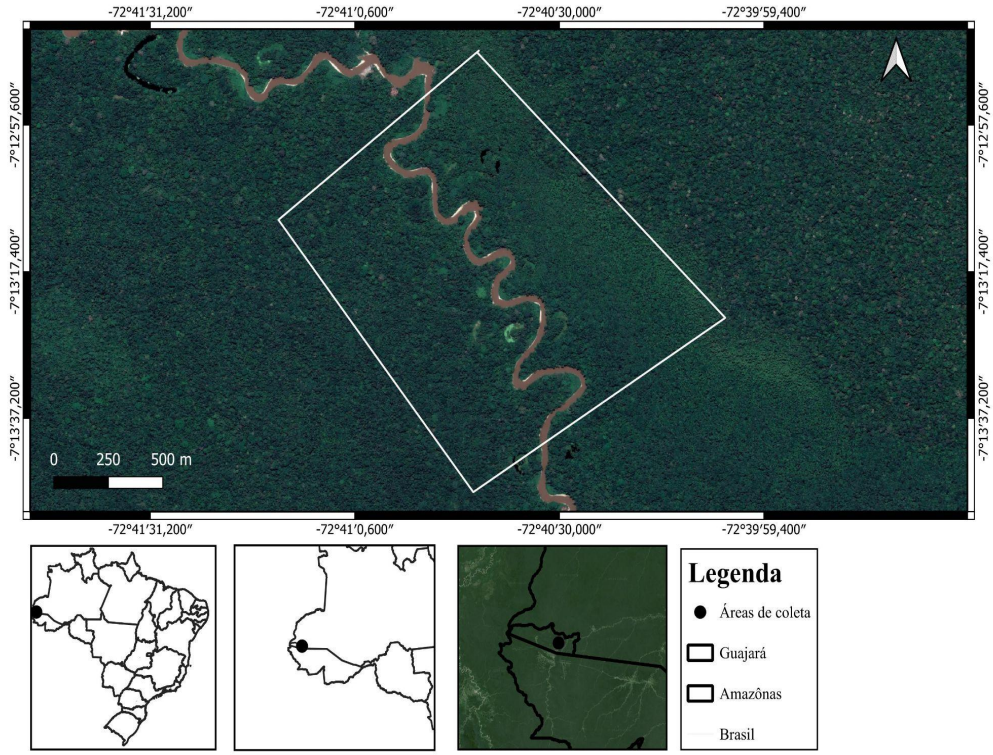
Dessa forma, quando utilizadas em conjunto, as análises do fator de condição K e a frequência de micronúcleos, por serem técnicas pouco invasivas e economicamente viáveis podem ser utilizadas para indicar saúde e bem-estar dos animais, permitindo uma avaliação da influência ambiental em uma população de vida livre de C. denticulatus. São poucas as informações referentes às características biológicas desses animais, principalmente em seu ambiente natural, dessa forma este trabalho avaliou o fator de condição k e a presença de micronúcleos de 30 espécimes de Chelonoidis denticulatus, em uma área no extremo ocidente da Amazônia brasileira, em que a espécie apresenta alta densidade populacional, a fim de avaliar a influência da qualidade ambiental na saúde e bem-estar dos indivíduos.

Material e métodos

Localizada a cerca de 1600 quilômetros da capital, Manaus, a cidade de Guajará encontra-se interligada por uma rodovia interestadual de 25 km à Cruzeiro do Sul, no estado do Acre. À cerca de 28,41 km do centro da cidade do Guajará, encontra-se o Porto Gama, uma área de comunidades tradicionais que não está inserida em nenhuma classificação dentro do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).

A área de coleta (Figura 1) é caracterizada por uma floresta densa, clima quente e úmido com temperatura média variando entre 24°C e 32°C. Há duas estações definidas, o período de inverno amazônico, caracterizado por alto índice pluviométrico, que ocorre durante os meses de dezembro a maio, com um pico durante os meses de janeiro, fevereiro e março. Já o verão amazônico, período seco, ocorre nos meses de junho a novembro, com menor quantidade de chuva. Essa divisão entre estação chuvosa e seca é típica de regiões equatoriais, como a região onde os animais foram coletados.

Figura 1 – Mapa da área de coleta, localizada a 3,09km em linha reta do Porto Gama Guajará – AM.



Foi realizada a coleta de sangue de quinze machos e quinze fêmeas, de *C. denticulatus* de vida livre, mediante permissão do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA – 23107.001868/2023-39), protocolo nº01/2023 e pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), protocolo nº48632-2.

Os animais utilizados no trabalho foram selecionados conforme os parâmetros estabelecidos por Willians (1960), Jerozolimski (2005) e Silva (2015), ou seja, somente foram incluídos no estudo, animais cujas medidas de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) excederam 25 cm. Esse critério foi adotado porque indica que os animais já alcançaram a maturidade sexual, além de possibilitar a verificação do dimorfismo sexual.

O índice de condição e a relação peso-comprimento foram estabelecidos pela mensuração do peso total e comprimento total, e os parâmetros a e b foram determinados pela transformação dos dados para log(10) (Le Cren, 1951). As curvas de crescimento obtidas pela análise de regressão entre peso e comprimento seguiram a equação:

log Peso = log(a) + log Comprimento b

Onde log Peso é a variável dependente, log Comprimento a variável independente, a é a constante de regressão ou grau de "engorda" e b é o coeficiente de regressão, que está relacionada com o tipo de crescimento dos indivíduos. A equação teórica de relação peso-comprimento foi seguida por: Peso = aComprimentob.

O parâmetro b é o expoente da forma aritmética da relação peso-comprimento e o declive da linha de regressão na forma logarítmica. Se b=3 (crescimento isométrico), então espécimes pequenos na amostra em consideração tem a mesma forma e condição de espécies maiores. Se b>3 (crescimento alométrico positivo), então espécimes grandes apresentam maior incremento em peso do que em comprimento; inversamente, se b<3 (crescimento alométrico negativo), espécimes

grandes sofreram mudanças na forma do corpo para tornarem-se mais alongados ou espécimes pequenos estão em melhores condições nutricionais no período da amostragem (Froese, 2006).

Para testar as diferenças entre os parâmetros das curvas ajustadas para machos e fêmeas, foram realizadas análises de covariância (ANCOVA) aplicadas aos parâmetros das regressões lineares do comprimento e peso (log10). Para a análise estatística do Fator de Condição K de machos e fêmeas, as variáveis foram testadas quanto à normalidade dos dados (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade das variâncias (teste de Levene). Para dados paramétricos, foi utilizado a correlação de Pearson e para dados não paramétricos a correlação de Spearman.

Para a análise de micronúcleos, o sangue foi obtido da veia marginal-costal, seguindo o modelo proposto por Silva e colaboradores (2012), utilizando seringas 5mL sem anticoagulante e agulhas hipodérmica descartável 40 x 1,2 (18G x 1 ½") e frascos com heparina sódica. O sangue foi usado para fazer quatro esfregaços fixados em metanol absoluto por 10 min. Após 24 horas, os esfregaços sanguíneos foram submetidos à reação de Feulgen (Mello; Vidal, 1978; Poletta et al., 2008), que compreende duas etapas: uma hidrólise ácida em HCl 1M a 60º C e a coloração pelo reativo de Schiff, para marcação do DNA das células. Posteriormente, as lâminas foram contra coradas com Fast green, técnica citoquímica que destaca as proteínas citoplasmáticas.

Resultados e discussão

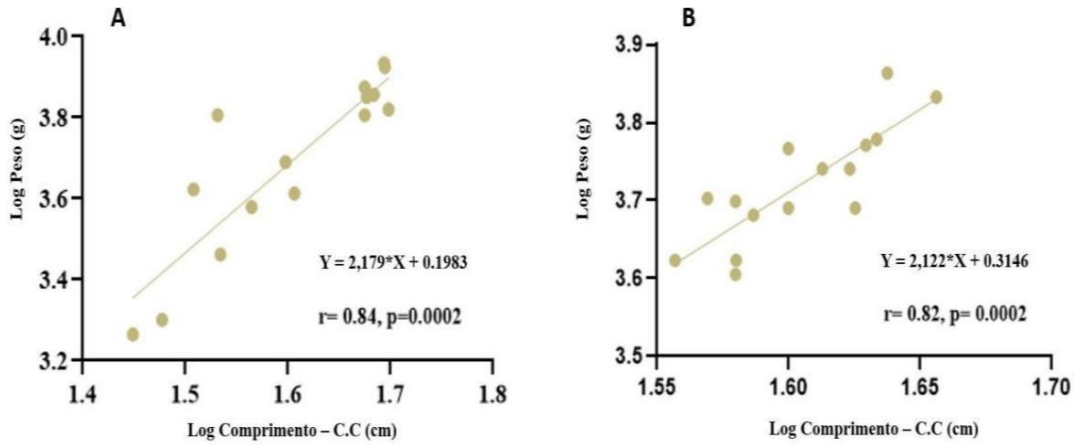
Foram realizadas as mensurações do comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) e da massa corpórea dos 30 animais, (n=15) machos e (n=15) fêmeas, cujas medidas morfométricas estão representadas com respectivos valores de média e desvio padrão na Tabela 1, utilizadas para avaliar a curva de crescimento entre os sexos representadas na Figura 2 pelos gráficos de dispersão (A e B). A média do CCC total dos machos foi de 40.96±7.91 cm e a média do peso corpóreo foi de 5.46±2.23 Kg. Para as fêmeas, a média do CCC foi de 40.32±2.69 cm e a média do peso corpóreo foi de 5.32±0.93 Kg.

Tabela 1. Os valores de medidas e massa corpórea de *C. denticulatus* (n=30), sendo machos (n=15) e fêmeas (n=15), expressos em média e desvio padrão de *C. denticulatus* (n=30).

CM	Machos	Fêmeas	(p) Valor
	Média ± DP		
CCC (cm)	40.96±7.91	40.32±2.69	0.7670
Massa (Kg)	5.46±2.23	5.32±0.93	0.8275

(p) - Valor de significância; utilizou-se o Test t para dados paramétricos e Mann Whitney para dados não paramétricos; DP - Desvio padrão; CM - Características morfológicas; Comprimento curvilíneo da carapaça (CCC).

Figura 2 - Relação de peso-comprimento curvilíneo da carapaça para machos (n=15) (A), relação de peso-comprimento curvilíneo da carapaça para fêmeas (n=15) (B).



O coeficiente b desta relação peso-comprimento apresentou-se alométrico negativo, quando b<3 (tabela 2). De acordo com Froese (2006), se b<3 os espécimes grandes sofrem mudanças na forma de corpo para tornarem-se mais alongados ou espécimes pequenos estão em melhores condições nutricionais no período da amostragem.

A alometria é conhecida também como escala biológica, e descreve a dependência de uma variável biológica em relação à massa corporal, tamanho ou forma de um organismo. Dessa forma, oferece a base para o desenvolvimento de relações de escala que capturam a variação em mecanismos fisiológicos, comportamentos individuais como locomoção ou dispersão, assim como distribuições espaciais, dinâmicas populacionais e padrões evolutivos. Em princípio, as relações alométricas estipulam que um preditor facilmente identificável, o tamanho corporal, pode fornecer uma estimativa confiável de um determinado parâmetro biológico (Arhonditsis et al., 2018).

Tabela 2. Equação, parâmetros a, b e coeficiente de determinação (r^2) observado em relação às variáveis de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC; cm) de 15 machos e 15 fêmeas de C. denticulatus (total avaliado: 30 espécimes).

Parâmetros	Relação peso-comprimento				(p) Valor
	Equação	a	b	r^2	
Machos (n=15)	Y = 2,179* X + 0.1983	0.1983	2,179	0.7846	< 0.001
Fêmeas (n=15)	Y = 2,122* X + 0.3146	0.3146	2,122	0.6796	< 0.001

Legenda: CCC - Comprimento curvilíneo carapaça; a - constante de regressão; b - coeficiente de regressão; r^2 - coeficiente de determinação.

Os resultados obtidos a partir análise de covariância (ANCOVA) aplicadas aos parâmetros das regressões lineares do comprimento e peso (log10), está representado na tabela 2, com respectivo valor de p ($p < 0.001$). Os resultados sugerem que à medida que o comprimento curvilíneo da carapaça aumenta, o peso dos animais também tende a aumentar, no entanto, de uma forma mais

lenta do que seria esperado para um crescimento isométrico. Ao comparar os resultados entre os sexos, não foram encontradas diferenças significativas (p = 0.376), evidenciando que não há indícios de padrão de crescimento diferente entre machos e fêmeas no grupo amostrado e no período observado. Entretanto, essa relação pode variar principalmente nas fêmeas devido às mudanças no metabolismo energético associadas aos diferentes períodos reprodutivos (Venancio, 2012).

Os dados foram submetidos à análise regressão e resultam em um modelo linear com um elevado coeficiente de determinação (r^2), resultando em valores de (macho: r^2= 0.7846; 78,46%; e fêmea: r^2= 0.6796; 67,96 %), indicando que a variabilidade nos logaritmos do peso do corpo tem uma relação de aumento diretamente proporcional ao padrão de crescimento, conforme observado na tabela 2.

Entretanto, essa relação na taxa de crescimento pode variar ao longo do tempo, em decorrência de uma série de fatores como metabolismo, dieta, período de crescimento, disponibilidade de recursos, nichos ecológicos e adaptações, entre outros (Basset e Sabetta, 2008; Venancio, 2012). De acordo com Basset e Sabetta (2008), o tamanho dos organismos está relacionado com diferentes escalas e contextos ambientais, estando diretamente associado à disponibilidade de recursos, competição, eficiência na exploração de nichos ecológicos e outras influências ambientais e ecológicas. Além disso, as necessidades nutricionais dos animais variam nos diferentes estágios de crescimento, diferentes épocas do ano e em decorrência das diferenças biológicas entre os sexos (Venancio, 2012).

Foram observadas diferenças estatísticas significativas no índice de condição K entre machos e fêmeas (tabela 3) (p < 0.0444), o que indica que as condições de bem-estar dos animais podem variar mesmo em uma população com equivalência em termos de tamanho, apesar da análise de ANCOVA não mostrar diferença estatística significativa nos coeficientes angulares (a) e lineares (b) entre os sexos. De acordo com Venancio (2012), o índice de condição das fêmeas aumenta no período em que ocorre o acasalamento e formação dos ninhos e, após a liberação dos ovos, há uma diminuição do peso médio, indicando que as modificações no índice de condição em fêmeas e machos estão associadas principalmente com as mudanças fisiológicas provocadas pela maturação sexual, como modificações gonadais e presença de ovos. Dessa forma, o valor maior de K indica que o animal está em melhor condição física e possui reservas energéticas adequadas para as demandas de sobrevivência, reprodução e crescimento da espécie.

Tabela 3. Fator de condição (K) observado em relação às variáveis de comprimento curvilíneo da carapaça (CCC) de 15 machos e 15 fêmeas de C. denticulatus expressos em média ± desvio padrão (DP), medianas, mínimos, máximos (total avaliado: 30 espécimes).

Parâmetros	**Fator de condição K**				**(p) Valor**
	Média ± DP	**Mediana**	**Mínimo**	**Máximo**	
Machos (n=15)	1.32± 0.10	1.27	1.21	1.50	< 0.0444
	Média ± DP	Mediana	Mínimo	Máximo	
Fêmeas (n=15)	1.36 ± 0.03	1.36	1.31	1.42	< 0.0444

*p < 0,05 Legenda: CCC - Comprimento curvilíneo carapaça. Valores expressos em média ± desvio padrão. Foi utilizado o teste de Mann-Whitney para dados não-paramétricos.

Durante o período reprodutivo das fêmeas, a relação de peso-comprimento pode ser alterada em decorrência da presença de ovos na cavidade abdominal, que consequentemente induz ao aumento de peso dos animais e reflete o esforço fisiológico das fêmeas (Turner et al., 1986; Venancio, 2012). Como apresentado, as fêmeas apresentaram fator de condição k significativamente maior que os machos (p=0,0444), possivelmente por aumento do peso corpóreo, refletindo estoque de lipídios para produção e manutenção dos ovos.

O fígado exerce um importante papel em armazenar "energia" na forma de glicogênio ou ácidos graxos, essa situação pode gerar o aumento do fígado em peso e tamanho (Nelson; Cox, 2014). Glicogênio contribui com mudança na massa do animal, uma vez que para cada 1g de glicogênio demanda 3g de água, gerando mais peso com menos densidade calórica, quando comparado com gordura, que possui quase o dobro da densidade calórica. Essas diferenças têm relação com o perfil metabólico menos dependente de processos aeróbicos em répteis, quando comparado com mamíferos, por exemplo (Nelson; Cox, 2014).

Assim como o fígado, as gônadas podem exercer influência na relação peso-comprimento, uma vez que o ciclo reprodutivo leva à maturação das células reprodutivas e, consequentemente, ao aumento do peso. No entanto, o peso também pode variar em função da época do ano, em decorrência de fatores ambientais, tais como temperatura e disponibilidade de alimento. Deste modo, faz-se necessário estabelecer uma relação entre o fator de condição e os índices hepato e gonodossomáticos (Andrade, 2009), uma vez que essas variáveis relacionadas podem explicar a relação peso-comprimento nos diferentes períodos, fornecendo uma avaliação mais precisa do estado de saúde e bem-estar de um organismo (Stevenson e Woods, 2006). Estudos longitudinais são importantes para melhor compreender as flutuações no fator de condição e suas causas subjacentes em uma população de animais (Stevenson e Woods, 2006; Venancio, 2012).

Para análise do teste de micronúcleo desses 30 jabutis, 15 machos e 15 fêmeas, foi realizada a contagem de um total de 1000 eritrócitos por animal, a fim de quantificar células com a presença de MN. Observou-se ausência de micronúcleos nos eritrócitos analisados, o que indica que não houve lesão genotóxica nas células vermelhas dos organismos, sugerindo que o ambiente no qual os animais foram coletados não está sob influência de agentes químicos e físicos capazes de causar toxicidade à nível cromossômico, o que sugere qualidade ambiental do local de coleta.

A quantificação de células com MN permite averiguar o impacto dos poluentes ambientais em diversas áreas, servindo como um indicativo da qualidade ambiental, uma vez que essa é uma técnica utilizada como biomarcador de eventos genotóxicos e instabilidade cromossômica (Poletta et al., 2008). Os micronúcleos são formados principalmente de fragmentos cromossômicos acêntricos ou cromossomos inteiros dispersos no citoplasma, já que não foram incluídos no núcleo principal. Os fragmentos de cromossomos são originados de múltiplos mecanismos, incluindo o reparo incorreto da quebra de fitas de DNA, ou até mesmo deleções, que podem ocorrer devido ao excesso de danos ao material genético causados por agentes clastogênicos, superando a capacidade de reparo da célula em determinado período. Já os cromossomos inteiros podem se perder do núcleo principal por erros durante a divisão celular, quando as proteínas do fuso são afetadas por agentes aneugênicos, que causam aneuploidia, e interferem na segregação correta dos cromossomos durante a mitose (Fenech et al., 2011).

A principal causa de alterações mutagênicas no DNA é o dano oxidativo pelo aumento da geração de espécies reativas de oxigênio durante processos de detoxificação de xenobióticos ou desequilíbrios gerados pela presença destes no organismo. Muitas evidências sugerem uma ligação estreita entre o acúmulo de mutações em um organismo individual e os processos de envelhecimento e carcinogênese (Nelson e Cox, 2014).

Esses resultados corroboram como o esperado, dado que o local de coleta possui cobertura vegetal de floresta densa conservada com pouca atividade antrópica, reduzindo a potencial presença de substâncias químicas capazes de desencadear efeitos genotóxicos nas células dos animais avaliados. Os animais de vida livre desse estudo têm uma ampla área para deslocamento, permitindo realizarem suas atividades de acasalamento e busca por alimento, e que os mecanismos fisiológicos desses organismos ocorram de maneira integrada.

Além disso, destaca-se a capacidade dos répteis em sobreviver a baixos níveis de oxigênio, que pode estar associado ao hábito fossorial dos quelônios. Um dos exemplos mais notáveis é o da tartaruga-pintada ocidental *Chrysemys picta*, espécie que tem a capacidade de sobreviver por até quatro meses em situação de hipóxia (Bickler e Buck, 2007). Os répteis no geral exibem algumas estratégias de tolerância à hipóxia que incluem a capacidade de reduzir a taxa metabólica, ajustar a circulação sanguínea, utilizar fermentação anaeróbica e manter defesas antioxidantes robustas permite os permitem sua sobrevivência e recuperação de períodos prolongados de hipóxia. (Bickler e Buck, 2007; Gorr et al., 2010).

Ao comparar resposta ventilatória de *Trachemys scripta*, uma espécie semi-aquática, e *C. carbonarius*, espécie terrestre, à hipóxia e hipercarbia, foi observado que ambas as espécies têm resposta respiratória semelhante em diferentes condições ambientais, embora tenham adaptações fisiológicas distintas para seus habitats específicos. Os animais podem alterar a frequência e a profundidade de suas respirações, ou seja, o volume de ar que entra ou sai dos pulmões em cada ciclo respiratório, esse mecanismo é essencial para garantir uma troca gasosa adequada em condições desfavoráveis, demonstrando a existência de certas características compartilhadas na adaptação do sistema respiratório desses animais a condições com limitação de oxigênio (Trevizan-Baú et al., 2018).

Desta maneira, animais com essa habilidade em superar condições ambientais desafiadoras, como hipóxia, associado a um ambiente ecologicamente equilibrado, onde não há ações antrópicas que comprometam o habitat, podem explicar os resultados da ausência de micronúcleos nas células avaliadas. Isso confirma o status de área conservada, indicando que o grupo amostral pode ser utilizado como referência para comparações futuras com áreas sujeitas a estressores ambientais, ou animais em condição de cativeiro.

Conclusão

Esse estudo apresenta pela primeira vez a avaliação da saúde e bem-estar de uma população de *C. denticulatus* em condição natural, por meio da análise de suas medidas morfométricas (comprimento curvilíneo da carapaça - CCC e massa corpórea) e monitoramento biológico pela técnica de micronúcleo. A relação peso-comprimento apresentou alometria negativa, indicando que à medida que o CCC aumenta, o peso dos animais também tende a aumentar, mas em taxa mais lenta do que o esperado para um crescimento isométrico, sem diferenças significativas entre machos e fêmeas. O índice de condição K apresentou valores distintos entre machos e fêmeas, sendo maior

nas fêmeas, o que pode ser explicado pelas variações fisiológicas e das reservas energéticas durante o período reprodutivo. A análise de micronúcleos em eritrócitos não detectou lesões genotóxicas, sugerindo que os animais vivem em um ambiente aparentemente livre de contaminantes químicos e físicos capazes de causar toxicidade ao nível cromossômico. A uniformidade nas medidas biométricas e a ausência de lesões genotóxicas indicam que os jabutis estudados estão saudáveis e o ambiente natural onde vivem é conservado, garantindo o bem estar dos animais. Dessa forma, esse estudo destaca a importância de habitats naturais conservados para a manutenção da saúde e do bem-estar das espécies, fornecendo uma base para comparações futuras com populações em ambientes antropizados sujeitos a contaminação ambiental ou em cativeiro.

Referências

Andrade EDS. 2009. Aspectos da biologia reprodutiva de piapara (*Leporinus obtusidens*), capturados a jusante da Usina Hidrelétrica do Funil, Perdões/Minas Gerais. Mestrado (Dissertação em Medicina Veterinária). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Arhonditsis GB, Shimoda Y, Kelly NE. 2018. Allometric theory: Extrapolations from individuals to ecosystems. Encyclopedia of Ecology 2:242-255. doi: 10.2307/1940493

Basset A, Sabetta L. 2008. Body size patterns. In: Encyclopedia of Ecology. Elsevier, pp. 483-489. doi: 10.1016/B978-008045405-4.00708-4

Bickler PE, Buck LT. 2007. Hypoxia tolerance in reptiles, amphibians, and fishes: life with variable oxygen availability. Annu Rev Physiol 69:145-170.

Bonini-Domingos CR, Oliveira C, Silva TL, Alevi KCC, Pereira LR, Souza CZ, Martins GS. 2017. Protocolos Experimentais. In: Bonini-Domingos CR, Oliveira. *Phrynops geoffroanus*: pesquisa no Brasil. São José do Rio Preto (SP).

Da Silva TL, Da Silva MIA, Venancio LPR, Zago CES, Augusto V, Moschetta G, De Azeredo Oliveira MTV. 2012. Blood sampling in Testudinidae and Chelidae. Herpetological Review 43(1):64.

Engstrom TN, Shaffer HB, McCord WP. 2002. Phylogenetic diversity of endangered and critically endangered southeast Asian softshell turtles (Trionychidae: Chitra). Biological Conservation 104(2):173-179.

Ernest CH, Barbour RW. 1989. Turtles of the World. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1 ed., 328 p.

Fenech M, Kirsch-Volders M, Natarajan AT, Surralles J, Crott JW, Parry J, Thomas P. 2011. Molecular mechanisms of micronucleus, nucleoplasmic bridge and nuclear bud formation in mammalian and human cells. Mutagenesis 26(1):125-132.

Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. Journal of Applied Ichthyology 22(4):241-253. doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x

Frye, F. L. (1991). Reptile care: an atlas of diseases and treatments. (No Title).

Garcia-Navarro CEK, Pachaly JR. 1994. Manual de Hematologia Veterinária. São Paulo: Livraria Varela Ltda, 1 ed., p. 69-71, 123-132.

Goulart CES. 2004. Herpetologia, Herpetocultura e Medicina de Répteis. Ed. L.F. Livros de Veterinária, 1 ed., 330 p.

Gorr, T. A., Wichmann, D., Hu, J., Hermes-Lima, M., Welker, A. F., Terwilliger, N., ... & Gassmann, M. (2010). Hypoxia tolerance in animals: biology and application. Physiological and Biochemical Zoology, 83(5), 733-752.

Jerozolimski A. 2005. Ecologia de populações silvestres dos jabutis Geochelone denticulata e G. carbonaria (Cryptodira: Testudinidae) no território da aldeia A`Ukre Sul do Pará. Instituto de Biociências Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Le Cren ED. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis). The Journal of Animal Ecology 201-219. doi: 10.2307/1540

McArthur S, Meyer J, Innis C. 2004. Anatomy and physiology. In: McArthur S, Wilkinson R, Meyer J (Eds). Medicine and Surgery of Tortoises and Turtles. Oxford (NY): Blackwell, pp. 35-72.

Moya-Laraño J, Macías-Ordóñez R, Blanckenhorn WU, Fernández-Montraveta C. 2008. Analysing body condition: mass, volume or density? Journal of Animal Ecology 77:1099-1108.

MELLO, M.L.S.; VIDAL, B.C. A reação de Feulgen. Ciência e Cultura, v. 30, p. 665-676, 1978.

Nelson DL, Cox MM. 2014. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6. ed. Dados eletrônicos. Porto Alegre: Artmed.

Oliveira MN, Costa END, Vasconcelos VS, Matos RPD, Moraes LGL, Correia M, Lopes-Filho II, Silva MIA, Silva TL. 2019. Impacto do consumo de quelônios no perímetro urbano de Cruzeiro do Sul - Acre - Brasil. Gaia Scientia 13(4):99-108. DOI: 10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n4.47149.

Poletta GL, Larriera A, Kleinsorge E, Mudry MD. 2008. *Caiman latirostris* (broad-snouted caiman) as a sentinel organism for genotoxic monitoring: basal values determination of micronucleus and comet assay. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 650(2):202-209. doi: 10.1016/j.mrgentox.2007.12.001

Rebêlo G, Pezzuti J. 2000. Percepções sobre o consumo de quelônios na Amazônia: sustentabilidade e alternativas ao manejo atual. Ambiente & Sociedade, pp. 85-104. DOI: 10.1590/S1414-753X2000000100005.

Stevenson RD, Woods Jr WA. 2006. Condition indices for conservation: new uses for evolving tools. Integrative and Comparative Biology 46(6):1169-1190. doi: 10.1093/icb/icl052

Storer IS. 2000. Zoologia Geral. 6. ed., São Paulo: Companhia Editora Nacional.

Terradas M, Martín M, Genescà A. 2016. Impaired nuclear functions in micronuclei results in genome instability and chromothripsis. Arch Toxicol 90(11):2657-2667.

Trevizan-Baú P, Abe A, Klein W. 2018. Effects of environmental hypoxia and hypercarbia on ventilation and gas exchange in Testudines. PeerJ 6

TTWG - Turtle Taxonomy Working Group [van Dijk PP, Iverson JB, Rhodin AGJ, Shaffer HB, Bour R. 2021. Turtles of the World: annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution with maps and conservation status. In: Rhodin AGJ, Pritchard PCH, van Dijk PP, Saumure RA (Eds). Conservation Biology 103 of Freshwater Turtles and Tortoises: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group. Chelonian Research Monographs, n.5, pp. 329-479.

Turner FB, Hayden P, Burge BL, Roberson JB. 1986. Egg production by the desert tortoise (*Gopherus agassizii*) in California. Herpetologica, pp. 93-104.

Vazzoler AEAM. 1996. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Maringá: NUPELIA, 169 p.

Venancio LPR. 2012. Cágado-de-barbelas (*Phrynops geoffroanus* (Schweigger, 1812), Testudines: Chelidae) como modelo para ecotoxicologia evolutiva: relacionamento entre contaminação ambiental, condição e variabilidade genética.

Vinke S, Vetter H, Vinke T, Vetter S. 2008. South American Tortoises. Chimaria.

Vogt RC. 2008. Tartarugas da Amazônia. 1edn. Manaus: INPA-Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 104 p.

Williams EE. 1960. Two Species of Tortoises in Northern South America. Breviora. Museum of Comparative Zoology, Cambridge, Mass.

Zug GR. 1993. Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Academic Press, New York, NY.