



Eventos climáticos extremos relacionados ao ENSO e o sucesso reprodutivo da tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) na Reserva Biológica do Rio Trombetas



Foto: VCD Bernardes

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**Relatório preparado para o
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio**

Maior, 2016

Preparado por:

Carla C. Eisemberg, Virginia C. D. Bernardes, Rafael A. M. Balestra, Marcello B. O. Silva & Richard C. Vogt

Este relatório deve ser citado:

Eisemberg, C.C.; Bernardes, V.C.D; Balestra, R.A.M. Silva, M.B.O. & Vogt R.C. (2016). Eventos climáticos extremos relacionados ao ENSO e o sucesso reprodutivo da tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) na Reserva Biológica do Rio Trombetas. Relatório preparado para o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Brasil.

Detalhes para contato:

Dra. Carla C. Eisemberg

Telefone: +61 401737884

E-Mail: carla.eisemberg@cdu.edu.au

Agradecimentos:

Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). A assistência logística foi providenciada pelo Projeto Tartarugas da Amazônia e ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade)/Reserva Biológica do Rio Trombetas. Os dados de longa duração relativos aos projetos de conservação das tartarugas na Amazônia foram cedidos pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios – RAN/ICMBio. Agradecemos as pessoas que nos ajudaram no campo: Fernanda Freda Pereira, “Maneco” e “Zelino”.

Eventos climáticos extremos relacionados ao ENSO e o sucesso reprodutivo da Tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) na Reserva Biológica do Rio Trombetas

Sumário

- Na Região da REBIO-Trombetas, anos de El Niño extremo, como 2015, estão associados à uma temperatura do ar mais alta e à uma humidade do ar mais baixa.
- Anos de El Niño extremo também apresentam as menores mínimas anuais de altura do rio, além do nível do rio tender à baixar precocemente.
- Fêmeas de Tartaruga desovam em locais mais altos do que o de costume no ano cujo nível do rio desceu mais cedo do que o normal.
- A desova em locais mais altos do que o de costume, em conjunto com a baixa humidade e alta temperatura do ar provavelmente estão ligados à alta mortalidade observada nos ninhos de Tartaruga na REBIO-Trombetas no ano de 2015.
- Estes resultados são específicos para a REBIO-Trombetas e não podem ser generalizados para toda a bacia Amazónia.
- A curto prazo, estudos sobre a relação entre a temperatura e umidade do ar, o nível do rio, a temperatura interna dos ninhos e as características e a mortalidade dos ninhos devem ser conduzidos para se entender de forma mais precisa os fatores diretamente ligados ao sucesso reprodutivo da Tartaruga na REBIO-Trombetas.
- Estudos e modelos analisando dados meteorológicos históricos assim como imagens de sensoriamento remoto em conjunto com o estudos clássicos (marcação e recaptura) e genéticos de dinâmica populacional podem auxiliar à médio prazo na formulação de um plano de manejo específico para futuros anos de clima extremo.

Resumo

Este relatório tem como objetivo esclarecer os fatores envolvidos na grande mortalidade de ovos de *Podocnemis expansa* na REBIO-Trombetas durante estação reprodutiva de 2015. Neste período, foi registrado um dos El Niños mais extremos da história. Ninhos na praia do Jacaré em 2015 foram desovados em um local 1,17 m mais alto do que a média dos ninhos de 2014 (Tabela 1). Esta diferença de altura está provavelmente ligada à um sucesso de eclosão 48,41 % menor em 2015. O sucesso de eclosão é menor em estações reprodutivas cujo nível do rio cai de forma mais pronunciada no início da estação reprodutiva, pois o nível mínimo

no mês de Outubro explica 90% da variação no sucesso de eclosão. Neste caso, as fêmeas da REBIO-Trombetas desovaram em locais mais altos do que o de costume no ano em que houve uma decida prematura das águas do rio. Este resultado é inesperado pois o contrário normalmente é observado. Fêmeas normalmente desovam em locais mais altos em anos quando há um atraso na decida do nível da água. Este fenômeno possivelmente exacerbou ainda mais o estresse térmico e hídrico nos ninhos devido às alta temperatura e baixa humidade provocada pelo El Niño de 2015. Períodos de El Niño extremos apresentarem as menores mínimas anuais de altura do rio, além do nível do rio tender à baixar mais precocemente. Em períodos de La Niña, o rio tende a descer mais tardiamente, o que também pode afetar a escolha do local de desova pelas fêmeas e diminuir o período de disponibilidade das praias para a desova (período no qual as praias não se encontram submersas). Entretanto, é preciso destacar que os resultados encontrados para a relação entre o sucesso de eclosão na REBIO-Trombetas e eventos extremos não pode ser generalizado para toda Bacia Amazônica.

Introdução

O visível declínio das populações quelônios de água doce da Amazônia, principalmente os da família Podocnemididae (Bates 1876; Johns 1987; Mittermeier 1978), levou à criação de vários projetos governamentais na década de 70, visando a proteção destas espécies (Cantarelli & Herde 1989; Cantarelli et al. 2014; Coutinho 1968; Rodrigues 2005). Um exemplo desse esforço foi a criação da Reserva Biológica do Rio Trombetas (REBIO-Trombetas). Um dos objetivos principais da REBIO-Trombetas é proteger a tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) (Rylands & Brandon 2005; Rylands & Pinto 1998).

Apesar das Reservas Biológicas na Amazônia assegurarem um maior grau de proteção para os quelônios contra a predação humana, fatores biológicos, geomorfológicos e climatológicos precisam ser considerados durante o desenvolvimento das estratégias de conservação e manejo (Rodrigues 2005). Entre os potenciais problemas enfrentados pelos quelônios Amazônicos estão os efeitos das mudanças climáticas globais (Fearnside 2009). O aquecimento global é inequívoco e pode levar a mudanças nos padrões de variabilidade oceânica e atmosférica em grande escala (IPCC 2013). O Brasil é vulnerável a essas mudanças (Marengo 2008), e a Amazônia se destaca como uma região de alto risco e incertezas significativas (Fearnside 2009; Nobre et al. 2007). O aquecimento global não irá afetar apenas a temperatura da Amazônia, mas também a sua hidrologia (Costa et al. 2003;

Costa & Foley 2000; Foley et al. 2002; Foley et al. 2005; Guimberteau et al. 2013; Schöngart et al. 2004).

A perda de desovas (mortalidade dos embriões) pode variar de 0 a 100% dependendo do local, ano e espécie de Podocnemididae (Alho & Pádua 1982a; Bernhard 2001; Ferreira-Júnior & Castro 2010; Hildebrand et al. 1988; Pantoja-Lima 2007; Pezzuti & Vogt 1999). Esta variação anual é um fenômeno complexo, sendo necessário o monitoramento em longo prazo dos locais de desova para compreendê-lo (Pezzuti & Vogt 1999). Uma relação particularmente interessante, ainda não estudada, seria a contribuição do El Niño e La Niña (Figura 1), nas mortalidade dos ninhos de espécies do gênero *Podocnemis*. Esta relação se torna particularmente importante com o potencial aumento na frequência desses fenômenos os devido ao aquecimento global (Schöngart et al. 2004; Schöngart et al. 2007).

Uma forma de se avaliar o nível de vulnerabilidade dos ninhos das espécies do gênero *Podocnemis* em relação às mudanças climáticas é compreender a relação entre a escolha do local de desova e a probabilidade de sobrevivência dos embriões (e conseqüente nascimento dos filhotes). O micro-habitat escolhido para a desova está relacionado à temperatura, umidade, tipo de solo assim como a altura do sítio reprodutivo em relação ao corpo d'água circundante, fatores que afetam o sucesso de eclosão (Ferreira-Júnior 2009; Ferreira-Júnior & Castro 2010).

Uma alteração no ciclo das chuvas e enchentes provavelmente causará impactos diretos nas populações de quelônios da família Podocnemididae na Amazônia (Eisemberg et al. 2015). As espécies desta família possuem a reprodução sincronizada com o pulso de inundação de cada região (Alho & Pádua 1982a; Bermudez-Romero et al. 2015). As desovas e incubação dos ovos ocorrem durante a estação seca e a eclosão dos filhotes no início da ascensão das águas (Alves-Júnior et al. 2012; Fachín Terán 1992; Pantoja-Lima 2007; Pezzuti & Vogt 1999; Portal et al. 2007; Thorbjarnarson et al. 1993). Isto ocorre porque as praias e tabuleiros, utilizados pelas fêmeas para a postura dos ovos, ficam expostos apenas durante a estação seca (Alho & Pádua 1982a; Bermudez-Romero et al. 2015; Pantoja-Lima et al. 2009; Pezzuti & Vogt 1999). Portanto, uma mudança nos regimes de inundação dos rios e das chuvas pode causar tanto efeitos positivos, quanto negativos na produção de filhotes.

Este relatório tem como objetivo esclarecer os fatores envolvidos na grande mortalidade de ovos de *Podocnemis expansa* na REBIO-Trombetas durante estação reprodutiva de 2015-2016. Neste período, foi registrado um dos El niños mais extremos da

história. Através de dados históricos de temperatura, umidade e nível da água, testamos o efeito da La niña ou do El niño ou ENSO (El Niño Southern Oscillation, também conhecido como OSEN – Oscilação Sul-El Niño, Figura 1) no sucesso de eclosão de *Podocnemis expansa* nas praias protegidas da REBIO-Trombetas. Também foram utilizados dados de altura das praias e ninhos coletados durante o período de desova de 2014-2015 (Eisemberg et al. 2015) e dados de localização dos ninhos no período de desova de 2015-2016 para testar a influência da altura do ninho em relação ao nível da água, e consequente características do micro-habitat, na mortalidade dos ovos. Para maiores detalhes sobre esta metodologia, Eisemberg et al. (2015) está disponível no site do ICMBio através do link: http://www.icmbio.gov.br/ran/images/stories/publicacoes/relatorios/Eisemberg_Balesta__Vogt_2015_vulnerabilidade_podocnemidideos_mudancas_climaticas.pdf).

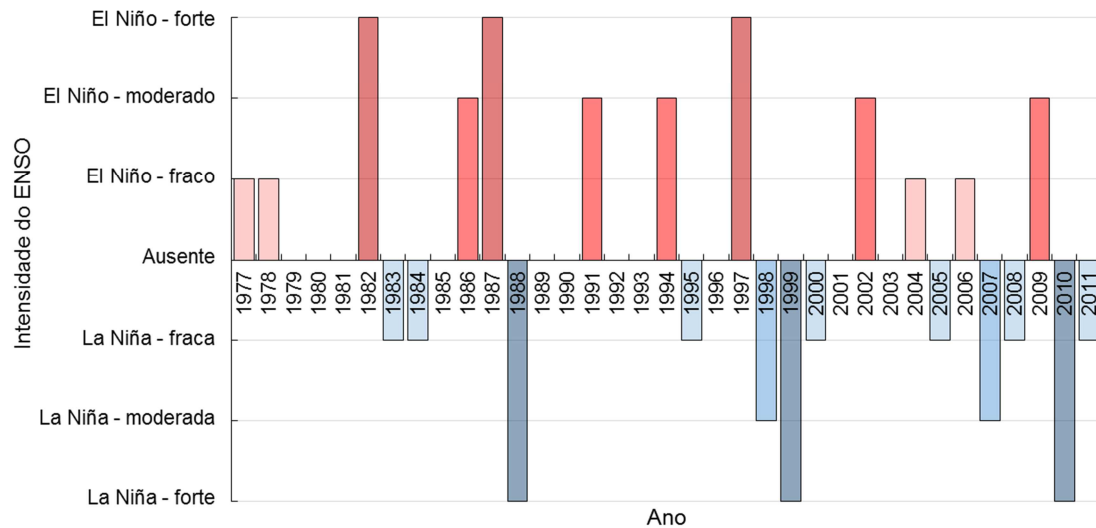


Figura 1. Eventos de *la niña* e *el niño* para a região do Pacífico 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W). Os eventos são divididos em fracos (0.5 a 0.9 TSM), moderados (1.0 a 1.4 TSM) e fortes (≥ 1.5 TSM). TSM = Temperatura da Superfície do Mar. *la niña* e *el niño* são caracterizados quando há três meses consecutivos de anomalias na TSM (<http://ggweather.com/enso/oni.htm>).

Materiais e Métodos

Área de estudo

A REBIO-Trombetas localiza-se na margem esquerda do rio Trombetas e possui uma área de 385.000 ha, próxima à cidade de Oriximiná, Estado do Pará (Haller & Rodrigues 2006). Nesse local ocorre um programa de proteção à *P. expansa* desde 1963. Esse programa foi inicialmente efetuado pelo Serviço de Caça e Pesca (1963-65) e posteriormente pela Delegacia Estadual do Ministério da Agricultura no Pará (1965-1975). A partir de 1976, criou-se o Projeto Quelônios da Amazônia (PQA) e os trabalhos de proteção passaram a ser coordenados pelo então IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal), atual IBAMA (RAN-IBAMA 2003). Em 1979, a Rebio Trombetas foi implementada com o objetivo de manter a diversidade genética das espécies, assim como facilitar pesquisas para o manejo correto dos quelônios ali ocorrentes (IBAMA 1989).

O rio Trombetas apresenta uma área de drenagem de 125.000 km² e é proveniente do Escudo das Guianas, considerado de água clara, apesar de apresentar uma coloração esverdeada no período de vazante (Peña 2002). O período de desova de *P. expansa*, nessa região, ocorre durante a estação seca, entre os meses de setembro e novembro, dependendo da espécie e da variação no regime de vazante do rio (Alho & Pádua 1982a; Haller & Rodrigues 2006) (Figura 2). Neste rio as desovas de *P. expansa* ocorrem primariamente nas praias do Leonardo, Farias, Jacaré, Uirana, Abuí, Jauary e Rasa.

Além dos aspectos climáticos e hidrológicos, fatores antrópicos e operacionais relacionados ao manejo dos ovos na REBIO-Trombetas devem ser levados em consideração. Os resultados apresentados neste relatório com relação ao sucesso de eclosão são relativos aos ninhos protegidos contra caça e predação (utilizando-se caixas ou cercas de proteção) nas praias do Leonardo e Farias. A manipulação dos ovos e filhotes se deu após a eclosão e os ninhos não foram removidos do seu local original de postura.

Métodos

Caracterização da praia de desova

A praia do Jacaré é atualmente o principal local de desova de *P. expansa* na REBIO-Trombetas (1°22'19"S; 56°51'30"O). O mapeamento desta praia foi feito durante a estação reprodutiva de 2014-2015, após o término da desova (30/Nov. a 8/Dez. de 2014) para não

interferir com o processo de oviposição. A área de amostragem foi definida com a área da praia abrangendo 100% dos ninhos de *P. expansa* identificados no ano de 2014 (Figura 3). As medidas de altura em relação à altura da água foram realizadas através de transectos paralelos a cada dez metros, formando quadrantes de 10 m².

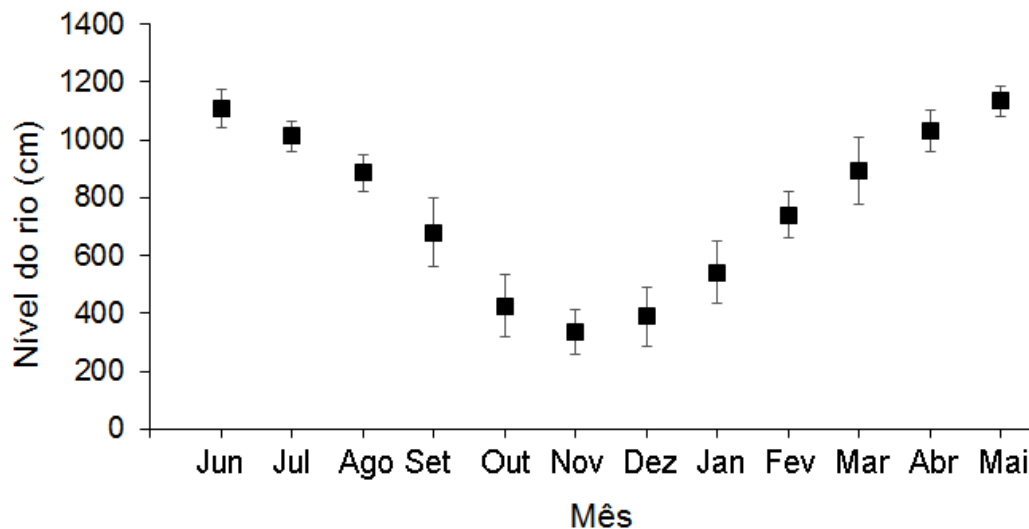


Figura 2. Média e desvio padrão da altura do Rio Trombetas para cada mês entre Janeiro de 2009 e Janeiro de 2016 (Dados de nível do rio coletados na REBIO-Trombetas). A desova de *Podocnemis expansa* começa normalmente no mês de Outubro.

As alturas dos pontos medidos foram convertidas para a altura total do rio levando-se em consideração o nível da água mínimo de acordo com as medidas de nível da água medidas duas vezes ao dia pela equipe do ICMBio gestora da Rebio Trombetas entre os anos de 2009 a 2015. A média do nível da água durante o período amostrado (30/Nov. a 8/Dez. de 2014) foi de 441 cm (436 a 450 m). Portanto, as medidas de altura bruta obtidas em cada ponto foram convertidas para a altura total utilizando-se a fórmula: $\text{Altura total} = \text{Altura bruta} + 441$ cm. A altura total foi utilizada para se estabelecer um padrão que possibilite a comparação entre diferentes praias e anos (Ferreira Júnior & Castro 2003, Ferreira-Júnior & Castro 2010). Os pontos foram georreferenciados utilizando um GPS (Garmin GPSMAP 62S) e as medidas de altura foram feitas com o auxílio de bússola, fita métrica e régua altimétrica com precisão de 0,5 cm.

As alturas de todos dos ninhos de *P. expansa* observados na praia do Jacaré durante o período de desova de 2014 foram mapeadas com o auxílio do programa ArcGIS Explorer

2500. Calculou-se a altura dos ninhos através da média dos quatro pontos de altura total do quadrante em que o ninho se encontrava. No total foram medidas as alturas de 901 pontos e 103 ninhos na praia do Jacaré (Eisemberg et al. 2015). Assumindo que não haja mudanças na morfologia drásticas na praia Praia do Jacaré entre as estações reprodutivas de 2014-15 e 2015-16, é possível comparar as alturas dos ninhos entre estes dois períodos de ENSO ausente (2014) e El-Niño extremo (2015).

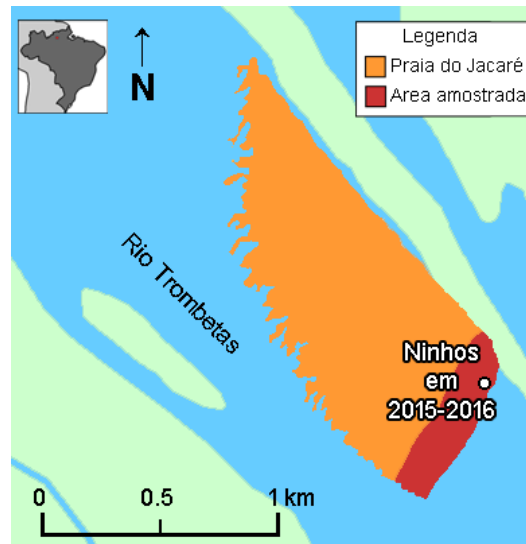


Figura 3. Localização dos ninhos na praia do Jacaré ($1^{\circ}22'19''S$; $56^{\circ}51'30''O$) durante a estação de desova de 2015. O contorno da praia e as Alturas da área amostrada foram obtidos durante a estação reprodutiva de 2014-15. Adaptado de Eisemberg et al. (2015).

*Efeito do ENSO na mortalidade dos ovos de *P. expansa**

Medidas de nível da água foram obtidas pela equipe do ICMBio gestora da REBIO-Trombetas entre os anos de 2009 a 2015. Tais medidas são obtidas duas vezes ao dia, pela equipe do ICMBIO-Trombetas através de uma régua d'água localizada na estação de pesquisa próxima à praia do Jacaré ($1^{\circ}22'40.84''S$; $56^{\circ}50'48.55''O$). Utilizamos regressões simples para testar a relação entre o sucesso de eclosão (número de filhotes vivos dividido pelo número de ovos totais em uma determinada estação reprodutiva) e a altura mínima anual do nível do Rio Trombetas, assim como o número total de ovos. Foram também utilizadas regressões simples entre o sucesso de eclosão e a altura mínima dos meses de Setembro, Outubro, Novembro, Dezembro e Janeiro individualmente, para se testar o efeito de diferentes períodos na inviabilidade dos ovos ou morte dos embriões.

Dados históricos de temperatura e umidade coletados na Mina de Saracá (Porto Trombetas) durante os meses de Outubro a Dezembro entre 2006 e 2015 e o sucesso de eclosão foram utilizados em regressões simples para testar o efeito destas variáveis ambientais no sucesso de eclosão de *P. expansa*. Para se testar o efeito do ENSO, utilizamos o Índice Oceânico referente ao El Niño para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro (ONI) obtidos no website da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration - http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). Modelos polinomiais foram utilizados em casos no quais o pressuposto de linearidade para regressões simples não foram atendidos.

Resultados e discussão

Ninhos na praia do Jacaré em 2015 foram desovados em um local com a altura total (altura do ninho em relação ao nível do rio somada à altura do rio) de 821,6 m e obtiveram um sucesso de eclosão de 46,64%. Este local é 1,17 m mais alto do que a média dos ninhos de 2014 (Tabela 1). Esta diferença de altura está provavelmente ligada à um sucesso de eclosão 48,41 % menor em 2015 em comparação à 2014 (95,05 %) (Figura 4).

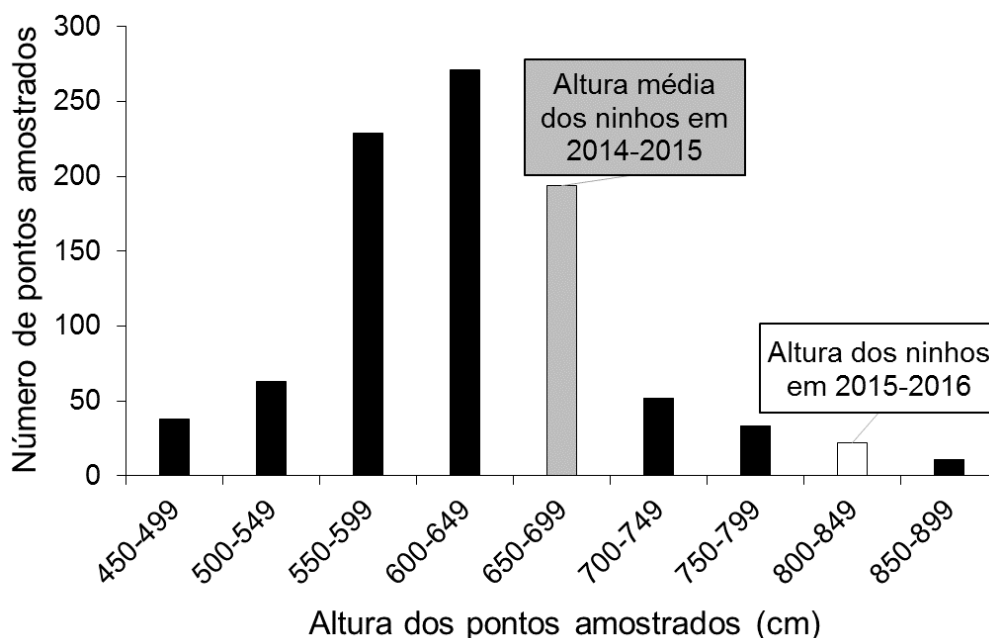


Figura 4. Histograma ilustrando a altura disponível na praia do Jacaré e o local onde as fêmeas desovaram em 2014-2015 e 2015-2016.

Tabela 1. Comparações entre a altura dos ninhos e o sucesso reprodutivo entre as estações de desova de 2014-2015 e 2015-2015 (Outubro à Janeiro). Detalhes sobre método do cálculo da altura dos pontos e ninhos se encontra em Eisemberg et al. (2015).

Praia	Farias		Jacaré	
	Pontos	Ninho	Pontos	Ninho
Altura média	586,5	648,1	627,9	704,6
Altura - Erro padrão	3.0	25.1	2.6	5.2
Número de amostras	699	6	901	103
Altura mínima	441	540,5	441	587,5
Altura máxima	799,0	697,3	882,1	798,8

Não foi encontrada uma relação significativa entre o número de ovos e o sucesso de eclosão (Tabela 2). Este fato provavelmente indica que fêmeas não são capazes de evitar a oviposição em um determinado ano, mesmo quando há variáveis ambientais indicando que tal ano será de grande mortalidade de ovos. Existe uma relação significativa e positiva entre o sucesso de eclosão e a altura mínima do nível do Rio Trombetas (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados das regressões simples (d.f. = 1,4) testando a relação entre o sucesso de eclosão e variáveis relacionadas ao regime de inundação e desova entre os anos de 2009 a 2015.

Variáveis	F	R²	P
Ano total	12,60	0,76	< 0,05
Nível mínimo do rio	Setembro	0,20	0,68
	Outubro	35,18	0,90
	Novembro	12,06	0,75
	Dezembro	13,26	0,77
	Janeiro	6,56	0,62
Número de ovos	0,99	0,20	0,38

** Dados ausentes para 2011 e 2012.

O sucesso de eclosão é maior em anos de níveis mínimos do rio mais altos (Figura 5). Entretanto, esta relação existe apenas durante o período de desova, incubação e nascimento dos filhotes, de Outubro a Dezembro (Figura 5), sendo particularmente forte no mês de Outubro (Tabela 2). Provavelmente, o sucesso de eclosão é menor em estações reprodutivas quando o nível do rio cai de forma mais pronunciada no início da estação reprodutiva, pois o nível mínimo no mês de Outubro (mês em que a nidificação de *P. expansa* inicia-se nesta região) explica 90% da variação no sucesso de eclosão (Figura 5).

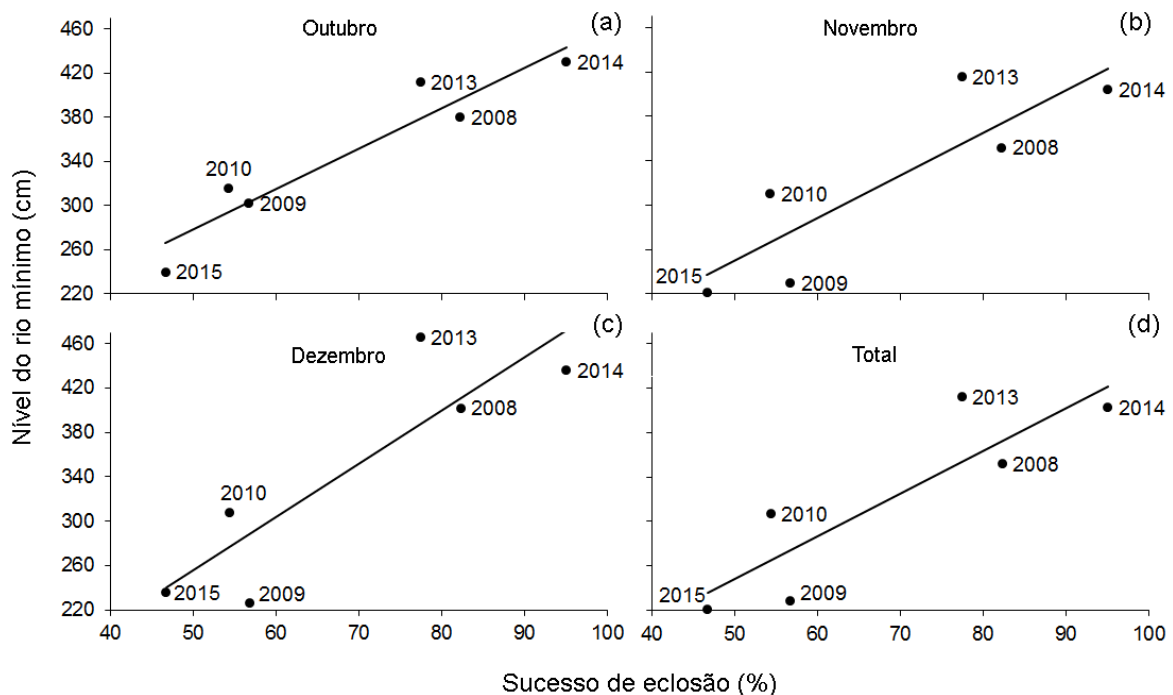


Figura 5. Relação positiva e significativa ($p < 0.05$) entre o nível mínimo do rio em (a) Outubro, (b) Novembro, (c) Dezembro, (d) e anual e o sucesso de eclosão (%) para os anos de 2009 a 2014 (com exceção de 2011 and 2012, pois estes não possuem dados de sucesso de eclosão e nível mínimo do rio respectivamente).

Existe um equilíbrio entre alturas muito próximas à água onde o ninho corre o risco de ser inundado antes do final do período de desenvolvimento embrionário e locais muito altos, onde os ovos correm o risco de sofrerem com altas temperaturas que causam a dessecação e morte (Doody et al. 2004). Fêmeas podem potencialmente modificar os seu comportamento de desova de forma a compensar os efeitos negativos destas mudanças climáticas. Este comportamento pode ser relacionado ao período (Telemeco et al. 2009) e a localidade da desova (Doody et al. 2006). Entretanto, neste caso, não observamos nas fêmeas

de *P. expansa*, uma plasticidade comportamental necessária (Bertheaux et al. 2004) para responder às modificações ocorridas devido ao ENSO.

A alta mortalidade dos ninhos observada em 2015 está provavelmente relacionada à altura dos ninhos. O fato de o nível mínimo no mês de Outubro explicar 90% da variação no sucesso de eclosão, indica que a altura do rio afeta mais o período de desova (Outubro) do que o período de incubação (Novembro) e o período de eclosão (Dezembro). Portanto, a escolha do local de desova pela fêmea é provavelmente afetada pela altura do rio no momento da desova. Neste caso, as fêmeas da REBIO-Trombetas desovaram em locais mais altos do que o de costume no ano em que houve uma decida prematura das águas do rio. Este resultado é inesperado, pois o contrário é frequentemente observado. Fêmeas normalmente desovam em locais mais altos em anos quando há um atraso na decida do nível da água. Este fenômeno possivelmente exacerbou ainda mais o estresse térmico e hídrico nos ninhos devido à alta temperatura e baixa humidade provocada pelo El Niño de 2015.

Dados históricos de temperatura e umidade coletados na Mina de Saracá (Porto Trombetas) entre 2006 e 2015 corroboram a importância primária do nível do rio no sucesso de eclosão. Apesar do ENSO estar relacionado de forma significativa e positiva com a temperatura (Figura 6a) e negativa com a umidade (Figura 6b) durante os meses de Outubro à Dezembro, não existe uma relação significativa entre o sucesso de eclosão e a temperatura e umidade média durante estes meses (Tabela 3). Anos de ENSOs extremos (ambos El Niño e La Niña) apresentam níveis mínimos do rio durante Outubro a Dezembro mais baixos (Figura 7a) e conseqüentemente apresentam um sucesso de eclosão mais baixo (Figura 7b), pois o sucesso de eclosão está fortemente correlacionado com a altura mínima do rio durante este período (Figura 5).

Quando comparamos as médias das alturas do Rio Trombetas (Oriximiná, ANA) entre 1972 e 2015 para os diferentes tipos de ENSO, é possível observar que períodos de El Niño extremos apresentarem as menores mínimas anuais de altura do rio, além do nível do rio tender à baixar mais precocemente (Figura 8). Em períodos de La Niña, o rio tende a descer mais tardiamente, o que também pode afetar a escolha do local de desova pelas fêmeas e diminuir o período de disponibilidade das praias para a desova (período no qual as praias não se encontram submersas).

Tabela 3. Resultados das regressões simples testando a relação entre os valores anuais para o sucesso de eclosão, o índice Oceânico referente ao El Niño (Meses de Outubro, Novembro e Dezembro), temperatura e umidade médias no mês de Outubro (coletados na Mina de Saracá, Porto Trombetas) e nível da água no mês de Outubro (Estação Oriximiná, ANA) para as estações reprodutivas de 2006 a 2015.

Modelo	Variável		d.f.	F	R ²	p
	Dependente	Independente				
Linear y = x	ONI-OND*	Temperatura média	1,8	16,74	0,68	< 0,01
		Umidade média	1,8	8,50	0,52	< 0,05
	Sucesso de Eclosão	Temperatura média	1,5	1,43	0,22	0,29
		Umidade média	1,5	1,94	0,28	0,22
		Nível mínimo do rio	1,4	12,60	0,76	< 0,05
Polinomial y = x ²	ONI-OND*	Nível mínimo do rio	1,6	13,48	0,69	< 0,05
	Sucesso de Eclosão	ONI-OND*	1,5	9,07	0,65	< 0,05

* Oceanic Niño Index – October, November, December = Índice Oceânico referente ao El Niño para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro.

É preciso destacar que os resultados encontrados para a relação entre o sucesso de eclosão na REBIO-Trombetas e eventos extremos não pode ser generalizado para toda Bacia Amazônica. As tendências relacionadas ao sucesso de eclosão nos últimos 30 anos variam dependendo da localidade monitorada na Amazônia (Eisemberg et al. 2015). Neste caso, cada área provavelmente responde e responderá de forma distinta às mudanças climáticas. Prevê-se uma diminuição drástica da vazão dos rios em grande parte da bacia, principalmente na parte sul onde se encontram os rios Madeiras e Xingu e em parte do norte, no rio Branco. Este fenômeno também ocorrerá em menor grau na parte norte, nos rios Negro e Japurá. Em contraste, projeta-se que as partes ocidentais e superiores da Amazônia irão sofrer um aumento de precipitação, onde são previstos um aumento na vazão do rios e um maior número de eventos de cheia extrema (Guimberteau et al. 2013).

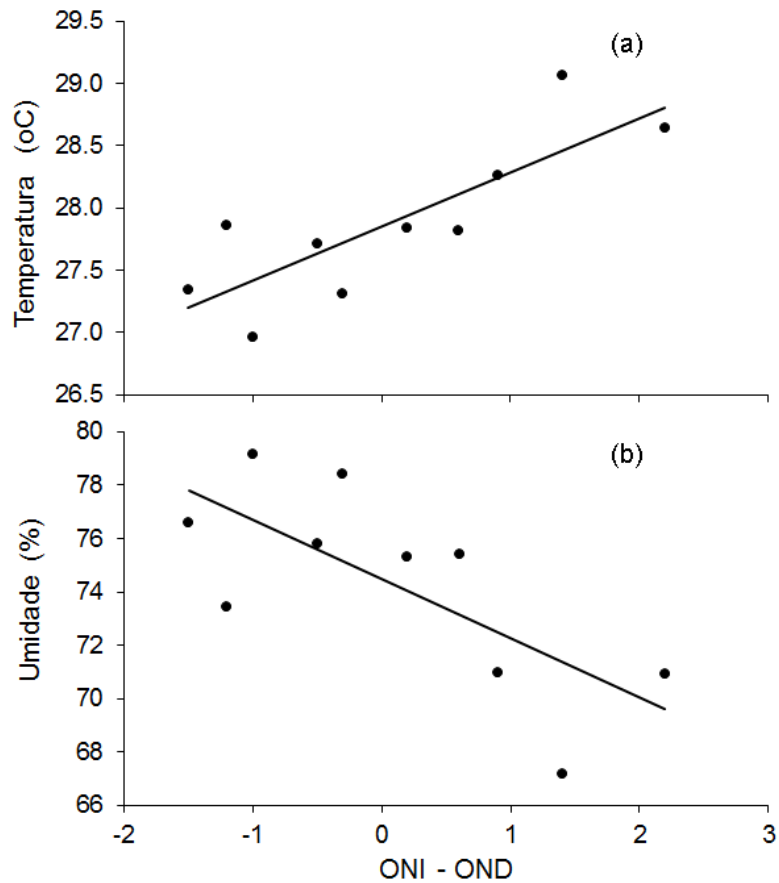


Figura 6. Relação positiva ($p < 0.05$) entre a (a) temperatura e negativa entre a (b) umidade médias para os mês de Outubro a Dezembro e o sucesso de eclosão (%) para as estações reprodutivas de 2006 a 2015. ONI (Oceanic Niño Index – October, November, December = Índice Oceânico referente ao ENZO para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro. Temperatura = $27,85 + 0,43 * ONI$; Umidade = $74,49 - 37,91 * ONI$

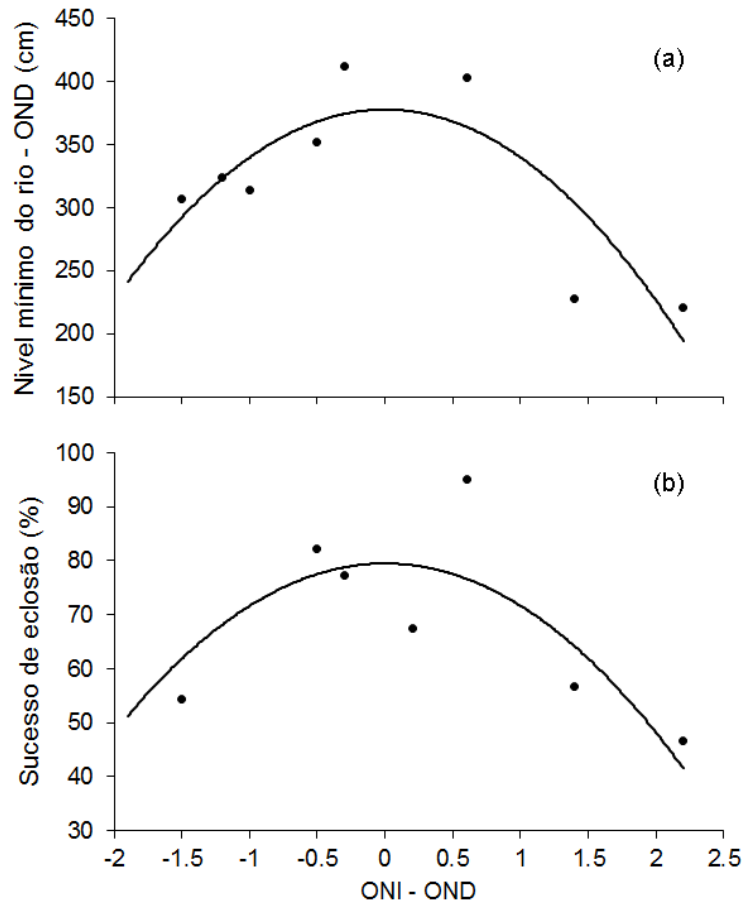


Figura 7. Modelos polinomiais ($p < 0.05$) entre (a) o nível mínimo (cm) do rio para os meses de Outubro a Dezembro e (b) o sucesso de eclosão (%) para as estações reprodutivas de 2008 a 2015 com relação ao ONI-OND (Índice Oceânico referente ao ENZO para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro). $Nível\ Mínimo = 377.90 - 37.91 * ONI^2$; $Sucesso = 79.503 - 7.834 * ONI^2$

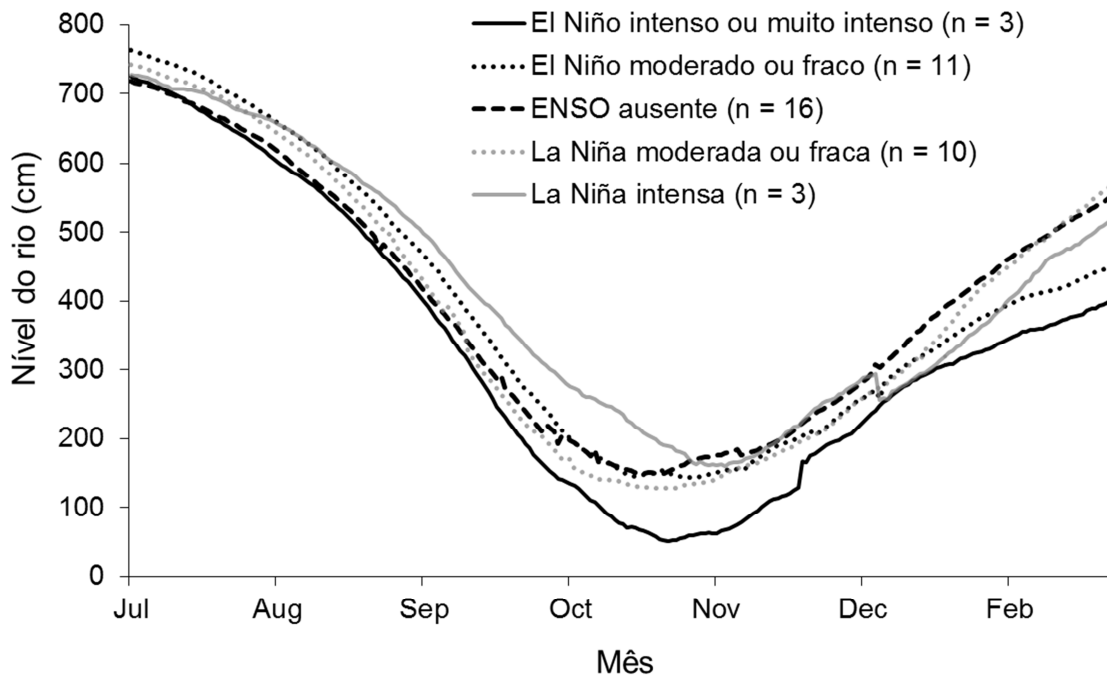


Figura 8. Média diária da altura do Rio Trombetas (Estação de Oriximiná, ANA) para os diferentes tipos de ENSO (classificação dos anos de acordo com o website: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>). n = número de anos (Entre 1972 a 2014).

Sugestões para futuros estudos

Mais estudos que testem as relações diretas entre os eventos climáticos extremos relacionados ao ENSO e o sucesso reprodutivo da tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) na Reserva Biológica do Rio Trombetas devem ser conduzidos visando a formulação de um plano de manejo que mitigue a alta mortalidade dos ninhos em tais períodos.

A curto prazo, estudos que testem a relação entre a temperatura e umidade do ar, o nível do rio, e as características do ninho com a temperatura e umidade interna dos ninhos e consequente mortalidade dos ovos devem ser conduzidos com as três espécies protegidas na REBIO-Trombetas (*Podocnemis expansa*, *P. unifilis*, *P. sextuberculata*) para se entender de forma mais precisa os fatores diretamente ligados ao sucesso reprodutivo dos quelônios da REBIO-Trombetas. A médio prazo, estudos e modelos analisando dados meteorológicos históricos assim como imagens de sensoriamento remoto irão possibilitar a predição e prevenção de futuros casos de alta mortalidade dos ninhos através da elaboração de um plano de manejo específico para anos de eventos climáticos extremos. Entretanto, é importante enfatizar que tais estudos de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite e

telemetria devem ser realizados paralelamente e de forma complementar aos estudos clássicos de dinâmica populacional (marcação e recaptura) assim como de estrutura genética populacional.

Referências bibliográficas

- Alho, C. J., e L. F. Pádua. 1982a. Sincronia entre regime de vazante do rio e comportamento de nidificação da tartaruga da Amazônia *Podocnemis expansa* (Testudinata: Pelomedusidae). *Acta Amazonica* **12**:323-326.
- Alves-Júnior, J., A. Lustosa, A. Bosso, R. Balestra, L. Bastos, L. Miranda, e A. Santos. 2012. Reproductive indices in natural nests of giant Amazon river turtles *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) (Testudines, Podocnemididae) in the Environmental Protection Area Meanders of the Araguaia river. *Brazilian Journal of Biology* **72**:199-203.
- Bates, H. W. 1876. *The naturalist on the river Amazon*. Murray, London, UK.
- Bermudez-Romero, A. L., N. Castelblanco-Martínez, R. Bernhard, R. D. Santiago, and R. C. Vogt. 2015. Nesting habitat of the "Cupiso" *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae) in Erepecu Lake (Pará-Brazil). *Acta Biológica Colombiana* **20**:183-191.
- Bernhard, R. 2001. *Biologia reprodutiva de Podocnemis sextuberculata* (Testudines, Pelomedusidae) na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brazil.
- Berteaux, D., D. Réale, A. G. McAdam, and S. Boutin. 2004. Keeping pace with fast climate change: Can arctic life count on evolution? *Integrative and Comparative Biology* **44**:140-151.
- Cantarelli, V., e L. Herde. 1989. *Projeto quelônios da Amazônia 10 anos*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA. Ministério do Interior, Brasília, Brasil.
- Cantarelli, V. H., A. Malvasio, e L. M. Verdade. 2014. Brazil's *Podocnemis expansa* conservation program: Retrospective e future directions. *Chelonian Conservation e Biology* **13**:124-128
- Costa, M. H., A. Botta, e J. A. Cardille. 2003. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology* **283**:206-217.

- Costa, M. H., e J. A. Foley. 2000. Combined effects of deforestation e doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia. *Journal of Climate* **13**:18-34.
- Coutinho, J. M. S. 1968. *Podocnemis expansa*, a tartaruga-da-Amazônia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi* **4**:733-745.
- Doody, J. S., A. Georges, and J. E. Young. 2004. Determinants of reproductive success and offspring sex in a turtle with environmental sex determination. *Biological Journal of the Linnean Society* **81**:1–16.
- Doody, J. S., E. Guarino, A. Georges, B. Corey, G. Murray, and M. Ewert. 2006. Nest site choice compensates for climate effects on sex ratios in a lizard with environmental sex determination. *Evolutionary Ecology* **20**:307-330.
- Eisemberg, C. C., A. M. Balestra, and R. C. Vogt. 2015. Vulnerabilidade dos ninhos de três espécies do gênero *Podocnemis* (Testudines, Podocnemididae) às mudanças climáticas em áreas protegidas da Amazônia. Relatório preparado para o Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios (RAN) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). . Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).
- Fachín Terán, A. 1992. Desove y uso de playas para nidificación de Taricaya (*Podocnemis unifilis*) en el río Samiria, Loreto-Peru. *Boletín de Lima*:65-75.
- Fearnside, P. M. 2009. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Brasiliensis* **13**:609-618.
- Ferreira-Júnior, P. D. 2009. Efeitos de fatores ambientais na reprodução de tartarugas. *Acta Amazonica* **39**:319 - 334.
- Ferreira Júnior, P. D., e P. T. A. Castro. 2003. Geological control of *Podocnemis expansa* e *Podocnemis unifilis* nesting areas in Rio Javaés, Bananal Island, Brazil. *Acta Amazonica* **33**:445-468.
- Ferreira-Júnior, P. D., e P. T. A. Castro. 2010. Nesting ecology of *Podocnemis expansa* (Schweigger, 1812) e *Podocnemis unifilis* (Troschel, 1848)(Testudines, Podocnemididae) in the Javaés River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* **70**:85-94.
- Foley, J. A., A. Botta, M. T. Coe, e M. H. Costa. 2002. El Niño–Southern oscillation e the climate, ecosystems e rivers of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles* **16**:1132.
- Foley, J. A., R. DeFries, G. P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S. R. Carpenter, F. S. Chapin, M. T. Coe, G. C. Daily, H. K. Gibbs, J. H. Helkowski, T. Holloway, E. A. Howard, C. J. Kucharik, C. Monfreda, J. A. Patz, I. C. Prentice, N. Ramankutty, e P. K. Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* **309**:570-574.

- Guimberteau, M., J. Ronchail, J. Espinoza, M. Lengaigne, B. Sultan, J. Polcher, G. Drapeau, J.-L. Guyot, A. Ducharme, e P. Ciais. 2013. Future changes in precipitation e impacts on extreme streamflow over Amazonian sub-basins. *Environmental Research Letters* **8**:014035.
- Haller, E. C. P., e M. T. Rodrigues. 2006. Reproductive biology of the Six-Tubercled Amazon River Turtle *Podocnemis sextuberculata* (Testudines: Podocnemididae), in the Biological Reserve of Rio Trombetas, Para', Brazil. *Chelonian Conservation e Biology* **5**:280–284.
- Hildebrand, P., C. Saenz, M. Pehuela, e C. Caro. 1988. Biología reproductiva y manejo de la tortuga Charapa (*Podocnemis expansa*) en el bajo rio Caqueta. *Colombia Amazonica* **3**:89-102.
- IBAMA. 1989. Projeto quelônios da Amazônia 10 anos. IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), Brasília, Brazil
- Johns, A. D. 1987. Continuing problems for Amazon river turtles. *Oryx* **21**:25-28.
- Marengo, J. A. 2008. Água e mudanças climáticas. *estudos avançados* **22**:83-96.
- Mittermeier, R. A. 1978. South America's River Turtles: Saving them by use. *Oryx* **14**:222-230.
- Nobre, C. A., G. Sampaio, e L. Salazar. 2007. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e Cultura* **59**:22-27.
- Pantoja-Lima, J. 2007. Aspectos da biologia reprodutiva de *Podocnemis expansa* Schweigger, 1812, *Podocnemis sextuberculata* Cornalia, 1849 e *Podocnemis unifilis* Troschel, 1848 (Testudines, Podocnemididae) na Reserva Biológica do Abufari, Amazonas, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Brazil.
- Pantoja-Lima, J., J. C. B. Pezzuti, D. Félix-Silva, G. H. Rebêlo, L. A. S. Monjeló, e A. Kemenes. 2009. Seleção de locais de desova e sobrevivência de ninhos de quelônios *Podocnemis* no baixo Rio Purus, Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* **1**:37-59.
- Peña, A. P. 2002. Floresta Nacional Saracá-Taquera (Relatório Técnico Anual). IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Oriximiná, Brazil.
- Pezzuti, J. C. B., e R. C. Vogt. 1999. Nesting Ecology of *Podocnemis sextuberculata* (Testudines, Pelomedusidae) in the Japurá River, Amazonas, Brazil. *Chelonian Conservation e Biology* **3**:419-424.

- Portal, R. R., B. B. Cardoso, K. Bonach, e F. C. C. Esteves. 2007. Ecologia e conservação da tartaruga verdadeira, *Podocnemis expansa* Schwigger, 1812 (Chelonia, Pelomedusidae), no Arquipélago dos Camaleões, Afuá-PA, Brasil. Boletim Técnico Científico do Cepnor **7**:55-69.
- Rodrigues, M. T. 2005. Conservação dos répteis brasileiros: os desafios para um país megadiverso. Megadiversidade **1**:87-94.
- Rylands, A. B., e K. Brandon. 2005. Brazilian protected areas. Conservation Biology **19**:612-618.
- Rylands, A. B., e L. P. d. S. Pinto. 1998. Conservação da biodiversidade na Amazônia brasileira: uma análise do sistema de unidades de conservação. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, Brasil.
- Schöngart, J., e W. J. Junk. 2007. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. Journal of Hydrology **335**:124-132.
- Schöngart, J., W. J. Junk, M. T. F. Piedade, J. M. Ayres, A. Hüttermann, e M. Worbes. 2004. Teleconnection between tree growth in the Amazonian floodplains e the El Niño–Southern Oscillation effect. Global Change Biology **10**:683-692.
- Telemeco, R. S., M. J. Elphick, and R. Shine. 2009. Nesting lizards (*Bassiana duperreyi*) compensate partly, but not completely, for climate change. Ecology **90**:17-22.
- Thorbjarnarson, J. B., N. Perez, e T. Escalona. 1993. Nesting of *Podocnemis unifilis* in the Capanaparo River, Venezuela. Journal of Herpetology **27**:344-347.