

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE ANIMAL**

**ANFÍBIOS DE UM BREJO-DE-ALTITUDE NO BIOMA
CAATINGA (SERRA DE MARANGUAPE, CEARÁ),
COM ÊNFASE NA BIOLOGIA DE UMA ESPÉCIE
ENDÊMICA E AMEAÇADA (*Adelophryne
maranguapensis*, ANURA, ELEUTHERODACTYLIDAE)**

TESE DE DOUTORADO

Daniel Cassiano Lima

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

**ANFÍBIOS DE UM BREJO-DE-ALTITUDE NO BIOMA
CAATINGA (SERRA DE MARANGUAPE, CEARÁ), COM
ÊNFASE NA BIOLOGIA DE UMA ESPÉCIE ENDÊMICA E
AMEAÇADA (*Adelophryne maranguapensis*, ANURA,
ELEUTHERODACTYLIDAE)**

Daniel Cassiano Lima

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciências Biológicas – Área Biodiversidade Animal.**

Orientadora: Profa. Dra. Sonia Zanini Cechin

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Cassiano Lima, Daniel

Anfíbios de um brejo-de-altitude no Bioma Caatinga (Serra de Maranguape, Ceará), com ênfase na biologia de uma espécie endêmica e ameaçada (*Adelophryne maranguapensis*, Anura, Eleutherodactylidae) / Daniel Cassiano Lima.-2013.

98 p.; 30cm

Orientador: Sonia Zanini Cechin

Coorientador: Diva Maria Borges-Nojosa

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, RS, 2013

1. Enclaves úmidos 2. Modo reprodutivo 3. Bromelígena
4. Maranguape 5. Ceará I. Zanini Cechin, Sonia II.
Borges-Nojosa, Diva Maria III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Tese de Doutorado**

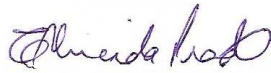
**ANFÍBIOS DE UM BREJO-DE-ALTITUDE NO BIOMA CAATINGA
(SERRA DE MARANGUAPE, CEARÁ), COM ÊNFASE NA BIOLOGIA
DE UMA ESPÉCIE ENDÊMICA E AMEAÇADA (*Adelophryne
maranguapensis*, ANURA, ELEUTHERODACTYLIDAE)**

Elaborada por
Daniel Cassiano Lima

COMISSÃO EXAMINADORA



Sonia Zanini Cechin, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



Cynthia P. de A. Prado, Dra. (Unesp)



Marília T. Hartmann, Dra. (UFFS)



Tiago Gomes dos Santos, Dr. (Unipampa)



Paulo Cascon, Dr. (UFC)

Santa Maria, 22 de novembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Este é um dos momentos mais difíceis, pois a omissão de alguns nomes pode ser mal interpretada. Entretanto seria injusto não mencionar quem contribuiu de forma crucial para a formulação deste trabalho. Por isso agradeço sinceramente:

A **Deus**, autor da vida, criador de todas as coisas, amigo íntimo e sustentador de minha vida e fé durante todas as crises. Te amo assim como me amas, incondicionalmente!

À **Lívia**, minha esposa, pela convivência e paciência durante minhas viagens de campo, pelo amor, carinho e compreensão.

Aos meus pais **Nivaldo** e **Cecília** pelo estímulo, apoio e carinho, bem como pelas inúmeras ajudas e amparos que encontrei. Vocês são os melhores pais do mundo.

À minha irmã **Juliana** e seu esposo **Túlio** pela convivência, e principalmente pelo meu maior presente dos últimos anos, o **Felipinho** que tem alegrado e desopilado meus dias. Dedel é especialmente grato a você, garoto!

À professora **Sonia Cechin**, minha orientadora, pela convivência, atenção e ajuda na solução de meus principais conflitos durante o curso. Sobretudo sou grato por permitir-se aventurar na orientação de um trabalho novo, realizado por um desconhecido. Enfim, muito obrigado pelo voto de confiança.

Aos meus amigos **Paulo Mesquita** e **Sherida Pinheiro** pela troca de ideias, conversas e principalmente pela convivência e hospedagem durante algumas de minhas estadias em Santa Maria.

Aos amigos e colegas **Vanessa, Samanta, Vinicius, Ruben, Franciele, Victor, Mauricio, Bruno**, bem como aos demais membros do Laboratório de Herpetologia da UFSM pelas boas vindas, conversas, sugestões e pelo bom chimarrão durante os intervalos.

Aos componentes do **Núcleo Regional de Ofiologia** da UFC em especial à **Diva Borges-Nojosa, Roberta, Déborah, Juliana, Castiele, Fabrício, Luan** e **Daniel Passos** pelas boas conversas e troca de experiência e vivência. Sou grato por me suportarem nas minhas fases felizes e nas tristes, e principalmente por sermos uma verdadeira família.

Aos professores **Diva Borges-Nojosa, Célio Haddad, Cynthia Prado, Cinthia Brasileiro, Marilia Hartmann, Paulo Cascon, Mirco Solé** e **Tiago Gomes**. Talvez nem lembrem, mas um simples contato ou resposta de e-mail foi fundamental, no momento certo, e um grande estímulo para a conclusão deste trabalho.

Aos meus fiéis ajudantes **Tiago Agostinho, Evaldo Carlos** e **Keilo Teixeira** pela ajuda durante as atividades de campo, companhia e aprendizado, e também à **Márcia**, à **Sanna** e à **Ana Valesca** por estarem em algumas das viagens. Tenham certeza de que a ajuda de vocês me ajudou a continuar com o trabalho.

Aos amantes da Serra de Maranguape, especialmente ao **John Kilder** por permitir usarmos sua casa no interior da mata na serra de Maranguape como base de campo, à sra. **Iroldina Pinheiro**, por autorizar o estacionamento de nossos carros na **Pousada Encanto da Serra**, e ao **Ednaldo Vieira** por apostar e estimular este trabalho.

Ao **ICMBio** pela concessão da licença de coleta.

Agradeço ainda ao **Governo do Estado do Ceará** e à **Funcap** por terem financiado parcialmente este trabalho. Digo a vocês que todos os empecilhos que me trouxeram durante o período deste curso, serviram de estímulo para finalizar esta pesquisa mesmo com recursos próprios e escassos.

“Fora o Ceará uma região de chuvas regulares e bem distribuídas e no Brasil nenhum Estado lhe levaria vantagens.”

(Barão de Studart, 1924)

RESUMO

Este trabalho está distribuído em cinco capítulos que abordam a composição de anfíbios da serra de Maranguape, Estado do Ceará, priorizando informações sobre a biologia reprodutiva de *Adelophryne maranguapensis*, anuro endêmico dessa localidade, ameaçado de extinção, cujo gênero dispõe de poucas observações de história natural. No primeiro capítulo, fornecemos a lista de anfíbios da serra, e comparamos sua distribuição espacial dentro da mata úmida. Foram registradas 20 espécies de Anura e duas de Gymnophiona. Percebeu-se o decréscimo de espécies com o aumento da altitude e o estabelecimento de duas estruturas de comunidade, sendo que *A. maranguapensis* é a espécie mais abundante. O segundo capítulo aborda o dimorfismo sexual em *A. maranguapensis*. Nele analisamos as diferenças entre 12 medidas corporais e a coloração de machos e fêmeas. Fêmeas apresentaram maiores medidas e foram dimórficas quanto ao comprimento corpóreo, distância do olho à narina e largura da cabeça, além de apresentarem manchas avermelhadas nas coxas. No terceiro capítulo descrevemos o modo reprodutivo de *A. maranguapensis*, detalhando o sítio de oviposição e pela primeira vez evidenciando o desenvolvimento direto para o gênero. Concluímos que *A. maranguapensis* coloca ovos em bromélias e que portanto tem modo reprodutivo arbóreo. O quarto capítulo amplia o conhecimento do capítulo anterior, descrevendo detalhadamente as posturas e condições das desovas, propondo um novo modo reprodutivo para os anuros, que detalha o ambiente arbóreo de oviposição, além de indicar o local específico dentro da bromélia. Este capítulo também indica o período chuvoso como época de reprodução e pela primeira vez descreve cuidado parental para o gênero, além de verificar que *A. maranguapensis* não apresenta preferência quanto à espécie de bromélia para oviposição. No quinto capítulo descrevemos o canto de anúncio de *A. maranguapensis*. Trata-se de um canto multipulsionado com 5-8 notas multipulsionadas. Também descrevemos um canto com uma única nota multipulsionada com função desconhecida, emitida por animais em bromélias, podendo ser relacionado à reprodução, ou ser apenas um canto agonístico.

Palavras-chave: enclaves úmidos, Maranguape, bromelígena, modo reprodutivo.

ABSTRACT

This work is distributed in five chapters that focuses the composition of amphibians in Maranguape mountain, State of Ceara, prioritizing informations on the reproductive biology of *Adelophryne maranguapensis*, an endemic and endangered anuran, whose genus has rare natural history observations. In the first chapter, we provide a list of amphibians of the mountain, and compared their spatial distribution within the humid forest. We recorded 20 species of Anura and two Gymnophiona. It was noticed a decrease of species with increasing altitude and the establishment of two community structures, and was perceived that *A. maranguapensis* is the most abundant species. The second chapter deals with the sexual dimorphism of *A. maranguapensis*. We analyzed differences between 12 body measurements and coloration of males and females. Females had higher measures and were dimorphic regarding snout-vent length, distance from the eye to the nostril and head width, besides having red patches on the thighs. In the third chapter we describe the reproductive mode of *A. maranguapensis*, and detailed the oviposition site and for the first time evidenced the direct development to the genus. We conclude that *A. maranguapensis* lays eggs in bromeliads and therefore have arboreal reproductive mode. The fourth chapter extends the knowledge of the previous chapter, describing in detail the conditions for spawning, proposing a new reproductive mode for the anurans, which details the environment arboreal oviposition, and indicate the specific location inside the plant. This chapter also indicates the rainy season as the breeding season and for the first time describes parental care for the genus. We also verified that *A. maranguapensis* has no preference to bromeliad species for oviposition. In the fifth chapter we describe the advertisement call of *A. maranguapensis*. The call has 5-8 multi pulsed notes. We also describe a call with a single multi pulsed note with unknown function, emitted by animals in bromeliads, and may be related to reproduction, or just be an agonistic call.

Keywords: altitudinal rainforests, Maranguape, amphibians, bromeligen, reproductive mode.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	09
Referências	12
CAPÍTULO 1 - Anfíbios de um enclave de floresta úmida no Dominio das Caatingas (Serra de Maranguape, Ceará, Brasil)	15
Introdução	17
Material e métodos	18
Resultados	20
Discussão	24
Referências	25
CAPÍTULO 2 – Sexual dimorphism in the endemic and threatened frog <i>Adelophryne maranguapensis</i> (Terrarana, Eleutherodactylidae)	29
Abstract	31
Introduction	31
Material and methods	33
Results	34
Discussion	38
Acknowledgements	41
References	41
CAPÍTULO 3 - The reproductive mode of <i>Adelophryne maranguapensis</i> Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994 (Anura, Eleutherodactylidae), an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil	47
Abstract	49
Introduction	50
Material and Methods	51
Results	52
Discussion	54
Acknowledgements	55
References	56
Table 1	60
Figures	61
CAPÍTULO 4 - Um novo modo reprodutivo para anuros, em espécie endêmica e ameaçada do Bioma Caatinga (<i>Adelophryne maranguapensis</i> , Anura, Eleutherodactylidae)	63
Resumo	65
Abstract	65
Introdução	66
Material e métodos	67
Resultados	68
Discussão	72
Referências	77
CAPÍTULO 5 - Description of two calls of <i>Adelophryne maranguapensis</i> (Anura, Eleutherodactylidae)	85
References	87
Figures	89
CONCLUSÃO GERAL	90
APÊNDICE	92

INTRODUÇÃO GERAL

Grande parte da Região Nordeste do Brasil é marcada por inconstâncias climáticas ocasionadas por altas temperaturas e chuvas escassas e irregulares, tornando a maioria dos rios temporários e propiciando a ocorrência de um tipo vegetacional adaptado a estas condições (AB'SABER, 1974). As áreas sujeitas a estas variáveis ambientais compõem o Domínio das Caatingas, e são comumente conhecidas por sertões (AB'SABER, 2003).

A fauna nordestina permaneceu subestimada por vários séculos. Em 1926, por exemplo, o Barão de Studart, ao referir-se à fauna do Ceará dizia que: "...é a dos estados vizinhos. Falar dela é repetir a enumeração de nomes, que se encontram em qualquer tratado rudimentar que do assunto se ocupe" (STUDART, 2010; p. 250). Os trabalhos pioneiros no estudo da herpetologia na Caatinga também, de maneira semelhante, concluíram que não havia endemismos nem variações significativas em sua composição, e que os futuros registros de outros animais na Caatinga seriam extensões na distribuição de espécies que já ocorreriam naturalmente em biomas vizinhos (VANZOLINI et al., 1980).

Posteriormente, o encontro de espécies tipicamente florestais na Chapada do Araripe, sugeriu que algumas áreas elevadas que detinham umidade, poderiam funcionar como refúgios de biodiversidade (VANZOLINI, 1981), inspirando futuras pesquisas nessas zonas de altitude, que passaram a investigar as relações pretéritas entre as serras úmidas e os grandes corpos florestais do Brasil (WILLIAMS; VANZOLINI, 1981).

Estas partes mais altas no nordeste do Brasil constituem ilhas de umidade que possivelmente se originaram a partir de ciclos de retração e expansão das matas, ocorridos durante o Pleistoceno (PEREIRA-FILHO; MONTINGELLI, 2011). Devido às condições climáticas mais amenas, estes locais passaram a ser denominados 'brejos-nordestinos' ou 'brejos-de-altitude' (ANDRADE-LIMA, 1960), e ainda enclaves ou encraves úmidos (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Entre as décadas de 1970 e 1980, os brejos-de-altitude localizados no Ceará revelaram casos de endemismo entre invertebrados. Lopes (1974), por exemplo, descreveu as espécies *Dexosarcophaga pusilla*, *Nephochaetopteryx pacatubensis*, *N. pallidifacies* e *Pacatuba matthewsi*, insetos endêmicos da Serra da Aratanha (ou de Pacatuba). Lourenço (1988) descreveu o escorpião *Hadrurochactas brejo*, espécie

endêmica da Serra de Maranguape, filogeneticamente associada a duas espécies amazônicas, e sugeriu a existência pretérita de um possível contato entre a Amazônia e a Mata Atlântica.

Entre os vertebrados, a herpetofauna é provavelmente o grupo mais bem estudado nos brejos-de-altitude do Ceará. Os estudos pioneiros nessas áreas registraram no maciço de Baturité e planalto da Ibiapaba as serpentes *Apostolepis pyimi*, *Imantodes cenchoa*, *Sibon nebulata* e *Mastigodryas bodaerti*, conhecidas na época apenas para a Amazônia (NASCIMENTO; LIMA-VERDE, 1989). Posteriormente *Drymoluber dichrous*, outra espécie de serpente também amazônica, foi registrada para as mesmas localidades e também para a Chapada do Araripe e Serra de Maranguape (BORGES-NOJOSA; LIMA, 2001).

No Ceará, apenas o Maciço de Baturité, o Planalto da Ibiapaba e a Chapada do Araripe têm suas composições herpetofaunísticas conhecidas (BORGES-NOJOSA, 2007; LOEBMANN; HADDAD, 2010; RIBEIRO et al., 2012). Estas regiões vêm sendo estudadas desde a década de 1980, e é provável que a ênfase no estudo destas serras se deva à grande extensão de suas florestas quando comparadas às menores como as serras de Maranguape e Aratanha. Além disso, devido à proximidade entre o Maciço de Baturité e a Serra de Maranguape, por muito tempo se acreditou que suas composições herpetofaunísticas fossem semelhantes (D. M. BORGES-NOJOSA, com. pess.).

Apenas em 1994, com a descoberta de dois casos de endemismo para as duas localidades, os interesses se voltaram para a serra de Maranguape. Os anuros *Adelophryne baturitensis* e *A. maranguapensis* pela primeira vez evidenciaram que Baturité e Maranguape tinham composições herpetofaunísticas distintas, refutando totalmente as especulações anteriores, e ao mesmo tempo corroborando a hipótese de Vanzolini (1981), de que cada uma dessas formações florestais tem composição própria e deve ser encarada como ente único.

O gênero *Adelophryne* pode ser uma ferramenta essencial para o esclarecimento dos eventos pretéritos que levaram à formação dos brejos-de-altitude. Até o momento existem oito espécies reconhecidas, com distribuições pontuais em regiões da Amazônia, Mata Atlântica e brejos-nordestinos (SANTANA et al., 2012). Estudos moleculares evidenciaram que *Adelophryne* é um grupo monofilético, e que existem pelo menos mais sete espécies a serem descritas. (FOUQUET et al., 2012).

Apenas duas espécies (*A. baturitensis* e *A. maranguapensis*) fazem parte da Lista Nacional de Espécies da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. *Adelophryne maranguapensis* é considerada em um nível de ameaça maior devido à pequena extensão das matas em que ocorre, e a rápida substituição de suas florestas por bananais, além da extração de

epífitas por moradores locais, para abastecer o comércio de plantas ornamentais (BORGES-NOJOSA, 2008; LIMA; CASCON, 2008).

Sobre as espécies de *Adelophryne* praticamente não existiam dados referentes à sua biologia, a não ser pequenas referências disponíveis nos trabalhos de descrição das espécies. Algumas delas sugeriam que as espécies apresentavam desenvolvimento direto (HOOGMOED et al., 1994; MACCULLOCH et al., 2008). Da mesma forma, outros dados referentes à reprodução, hábitos, e até mesmo sobre a extensão da distribuição dessas espécies em suas áreas de ocorrência permanecem no campo das hipóteses.

Somente com o monitoramento e estudo da história natural dessas espécies, estes questionamentos poderão ser esclarecidos, fornecendo fundamentos sólidos para o estabelecimento do real grau de ameaça de cada uma delas. Estudos dessa natureza devem ser estimulados não apenas para as espécies de *Adelophryne*, mas para todas que têm desenvolvimento direto, pois são espécies que, particularmente, oferecem dificuldades para serem estudadas, e por isso os dados sobre sua biologia normalmente são bastante escassos (TOWNSEND; STEWART, 1985).

Esta tese teve como objetivos principais apresentar a riqueza e a distribuição espacial da comunidade de anfíbios na serra de Maranguape, além de fornecer dados sobre a biologia de *Adelophryne maranguapensis*, uma das espécies menos estudadas no mundo. O trabalho envolve o esforço de uma vida científica, reunindo informações colhidas por 17 anos, retratando períodos iniciados em 1996 quando estimulado por um projeto de iniciação científica, o autor pela primeira vez subiu a serra de Maranguape à procura de répteis e anfíbios.

O trabalho está dividido em cinco capítulos, descritos abaixo:

- Capítulo 1: Artigo em preparação. Neste capítulo apresentamos a riqueza de anfíbios na Serra de Maranguape, e fornecemos dados de história natural, bem como a abundância relativa das espécies em quatro gradientes altitudinais.
- Capítulo 2: Este capítulo foi submetido para publicação no periódico *Herpetological Journal*. Descrevemos o dimorfismo sexual em *Adelophryne maranguapensis*, com base na morfologia, e pela primeira vez registramos a ocorrência de dicromatismo para o gênero. Apresentamos novas medidas para a espécie e sugerimos que sejam repensadas a adoção de algumas características diagnósticas para as espécies de *Adelophryne*.

- Capítulo 3: Este capítulo foi publicado pelo periódico North-Western Journal of Zoology, e pela primeira vez descrevemos a ocorrência de desenvolvimento direto no gênero *Adelophryne*. Nós fornecemos informações sobre o sítio de oviposição e concluímos que *A. maranguapensis* é uma espécie com ovos arbóreos e bromelígena, além de observações sobre o desenvolvimento embrionário.
- Capítulo 4: Artigo em preparação. Descrevemos a biologia reprodutiva de *Adelophryne maranguapensis* e ampliamos a amostragem dos dados apresentados no capítulo 3, sugerindo um novo modo reprodutivo para a espécie, que contemple as particularidades de sua reprodução. Nós fornecemos informações sobre o período de reprodução da espécie e descrevemos pela primeira vez o cuidado parental para o gênero. O trabalho também investigou a possível preferência de *A. maranguapensis* por algumas espécies de bromélias como sítio de oviposição.
- Capítulo 5: Este capítulo foi submetido como *correspondence* ao periódico Zootaxa, e descreve o canto de anúncio de *Adelophryne maranguapensis* e um segundo canto, provavelmente também relacionado com a atividade reprodutiva nas bromélias.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**. 43: 1-39. 1974.
- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: Potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ANDRADE-LIMA, D. 1960. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Arq. Inst. Pesq. Agron.** 5:305-341.
- BORGES-NOJOSA, D. M. Diversidade de anfíbios e répteis da Serra de Baturité, Ceará. In: OLIVEIRA, T. S.; ARAÚJO, F. S. **Diversidade e conservação da biota na Serra de Baturité, Ceará**. Fortaleza: Edições UFC; COELCE, 2007.
- BORGES-NOJOSA, D. M. *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Eds.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Fundação Biodiversitas, 2008.
- BORGES-NOJOSA, D. M.; LIMA, D. C. Dieta de *Drymoluber dichrous* (Peters, 1863) dos brejos-de-altitude do Ceará, Brasil (Serpentes, Colubridae). **Bol. Mus. Nac.** 468:1-5, 2001.

FOUQUET, A., LOEBMANN, D., CASTROVIEJO-FISHER, S., PADIAL, J. M., ORRICO, V. G. D., LYRA, M. L., ROBERTO, I. J., KOK, P. J. R., HADDAD, C. F. B. & RODRIGUES, M. T. (2012). From Amazonia to the Atlantic forest: Molecular phylogeny of *Phyzelaphryninae* frogs reveals unexpected diversity and a striking biogeographic pattern emphasizing conservation challenges. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, 65, 547-561, 2012.

HOOGMOED, M. S.; BORGES, D. M.; CASCON, P. Three new species of the genus *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on the other species of the genus. **Zool. Med. Leiden**. 68:271-300, 1994.

LIMA, D. C.; CASCON, P. Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. **REDE** (Revista Eletrônica do Prodepa). 2(1):64-79, 2008.

LOEBMANN, D.; HADDAD, C. F. B. Amphibians and reptiles from a highly diverse area of the Caatinga domain: Composition and conservation implications. **Biota Neotropica**, 10(3):227-256, 2010.

LOPES, H. S. Sarcophagid flies Diptera from Pacatuba, State of Ceará, Brazil. **Rev. Brasil. Biol.**, Rio de Janeiro, 34(2): 271-294, 1974.

LOURENÇO, W. R. Première evidence de la presence d'une faune scorpionique Amazonienne relictuelle dans les "brejos" de la Caatinga du Nord-est du Bresil. **C. R. Xème. Coll. Europ. Arachnol. Bull. Soc. Sci.**, Bretagne, 59: 147-154, 1988.

MACCULLOCH, R.D., LATHROP, A., KOK, P.J.R., MINTER, L.R., KHAN, S.Z., BARRIO-AMORÓS, C.L. (2008): A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from Guyana, with additional data on *A. gutturosa*. **Zootaxa** 1884: 36-50.

NASCIMENTO, F. P. & LIMA-VERDE, J. S. Ocorrência de ofídios de ambientes florestais em enclaves de matas úmidas do Ceará. (Ophidia: Colubridae). **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Sér. Zool.**, Belém, 5(1): 95-100, 1989.

PEREIRA-FILHO, G. A.; MONTINGELLI, G. G. Checklist of snakes from the Brejos de Altitude of Paraíba and Pernambuco, Brazil. **Biota Neotropica**, 11(3):1-7, 2011.

RIBEIRO, S. C.; ROBERTO, I. J.; SALES, D. L.; ÁVILA, R. W.; ALMEIDA, W. O. Amphibians and reptiles from the Araripe bioregion, northeastern Brazil. **Salamandra** 48(3):133-146, 2012.

SANTANA, D. J.; FONSECA, E. M.; NEVES, M. O.; CARVALHO, R. M. H. A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from the Atlantic Forest, southeastern, Brazil. **Salamandra**, 48(4):187-192, 2012.

SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Mercator**, 5(9):85-102, 2006.

STUDART, G. C. **Geografia do Ceará**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2010, 332 p.

TOWNSEND, D. S.; STEWART, M. M. Direct Development in *Eleutherodactylus coqui* (Anura: Leptodactylidae): A Staging Table. **Copeia**, Vol. 1985, No. 2 (May 3, 1985), pp. 423-436

VANZOLINI, P.E. A quasi-historical approach to the natural history of the differentiation of reptiles in tropical geographic isolates. **Pap. Av. Zool.** 34 (19):189-204. 1981.

VANZOLINI, P. E.; RAMOS-COSTA, A. M. M.; VITT, L. J. **Répteis da caatinga**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1980.

WILLIAMS, E. E.; VANZOLINI, P. E. The vanishing refuge: a mechanism for ecogeographic speciation. **Papéis Avulsos de Zoologia**, 34(23):251-255, 1981.

**CAPÍTULO 1 – “Anfíbios de um enclave de floresta úmida no
Domínio das caatingas (Serra de Maranguape, Ceará, Brasil)”**

Anfíbios de um enclave de floresta úmida bo Domínio das Caatingas (Serra de Maranguape, Ceará, Brasil)

Daniel Cassiano Lima^{1,2,5}, Déborah Praciano de Castro³, Diva Maria Borges-Nojosa⁴, Sonia Zanini Cechin¹

¹ Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 97.105-900.

² Faculdade de Educação de Itapipoca, Universidade Estadual do Ceará. Av. Monsenhor Tabosa, s/n. Itapipoca, Ceará, Brasil. CEP 62.500-000.

³ Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 906, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP 60.455-760.

⁴ Núcleo Regional de Ofiologia, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 905, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP 60.455-760.

⁵ Autor para correspondência: dancassiano@gmail.com

Palavras-chave: serras úmidas, florestas relictuais, Maranguape, *Adelophryne maranguapensis*

INTRODUÇÃO

Uma das principais características do nordeste brasileiro é a paisagem resultante dos solos rasos, chuvas irregulares e altas temperaturas, influenciando fortemente a distribuição e obtenção de recursos para a sobrevivência de plantas e animais no Domínio das Caatingas (AB'SABER, 1974; SOUZA, 2005). A paisagem árida da Caatinga é frequentemente cortada por complexos montanhosos que constituem exceções na paisagem, devido à presença de relictos florestais que resultaram das condições climáticas mais amenas (AB'SABER, 2003), que acabam atraindo grandes concentrações demográficas, e favorecendo a exploração agrícola destes locais (ANDRADE; LINS, 1964).

Devido às altas umidades em comparação à Caatinga circundante, estes locais também são denominados brejos-de-altitude e enclaves úmidos, e abrigam uma diversidade biológica muitas vezes desconhecida, e filogeneticamente próxima daquelas que ocorrem nas matas amazônica e atlântica (LOURENÇO, 1988; NASCIMENTO; LIMA-VERDE, 1989; BORGES-NOJOSA; LIMA, 2001). No Estado do Ceará, três desses brejos (o Maciço de Baturité, o Planalto da Ibiapaba e a Chapada do Araripe) destacam-se pelas suas grandes áreas de matas, onde também os estudos herpetofaunísticos dessas formações têm se concentrado. (BORGES-NOJOSA, 2007; LOEBMANN; HADDAD, 2010; RIBERO et al., 2012).

A serra de Maranguape é um brejo-de-altitude localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, cuja composição herpetofaunística é desconhecida. Apesar de possuir uma área florestada inferior à dos grandes enclaves úmidos cearenses, a presença do anuro endêmico e ameaçado de extinção *Adelophryne maranguapensis* (BORGES-NOJOSA, 2008) reforça a hipótese de que cada enclave deve ser encarado como elemento único, com composição herpetofaunística distinta (VANZOLINI, 1981), demonstrando a importância do conhecimento das demais espécies de répteis e anfíbios do local.

Na Serra de Maranguape ações antrópicas como o desmatamento e substituição de matas por plantações, principalmente bananais, têm desencadeado processos morfogenéticos, resultando em solifluxão, perda de solos e ameaça à diversidade biológica (LIMA; CASCON, 2008). Ações como estas têm gerado perda ou modificação de habitats, e são apontadas em escala global como fortes contribuintes para o declínio e extinção das espécies de anfíbios (ALFORD; RICHARDS, 1999; BECKER et al., 2007), e são preocupantes, uma vez que a Serra de Maranguape é uma das áreas de grande prioridade para a conservação de anfíbios no nordeste do Brasil (CAMARDELLI; NAPOLI, 2012)

Este estudo fornece o inventário das espécies de anfíbios da Serra de Maranguape, apresentando dados reprodutivos e de abundância relativa, originando subsídios para a formulação de projetos conservacionistas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A serra de Maranguape (Figura 1) é um maciço residual pré-litorâneo localizado na Região Metropolitana de Fortaleza entre as divisas dos municípios de Maranguape, Maracanaú e Caucaia, a 30 km do litoral do Ceará. A serra está próximo à serra de Aratanha e ao maciço de Baturité, e dispõe-se no sentido NE-SW, em uma área aproximada de 22,5 km de comprimento por 13 km de largura, tendo como ponto culminante o Pico da Rajada, com 920 m de altitude (ARRUDA, 2001).

O regime climático da serra de Maranguape apresenta duas estações distintas, sendo uma menos chuvosa, e outra claramente chuvosa, que dependendo do ano, pode se estender de dezembro a maio, com médias chuvosas anuais superiores a 1300 mm e a temperatura média entre 23° e 26°C (CEARÁ, 2002). Quanto à vegetação destacam-se dois tipos básicos: Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (matas secas) e Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (matas úmidas). Ambas são marcadas por componentes lenhosos de porte alto, intercalados por arbustos e trepadeiras (FERNANDES, 1998).

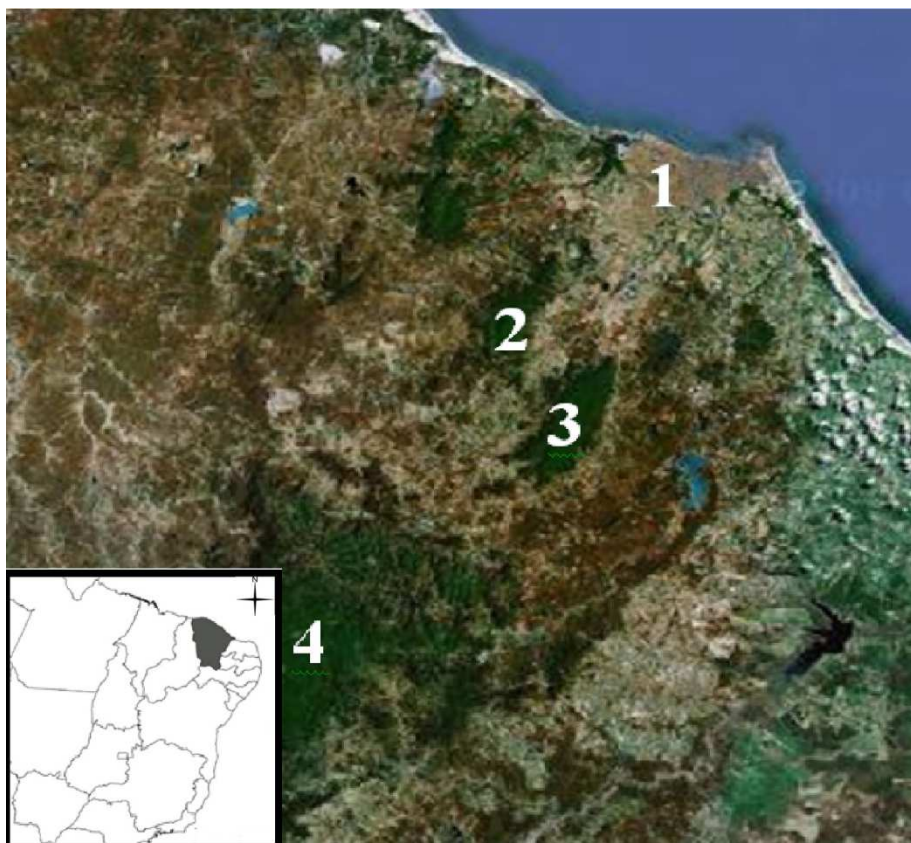


Figura 1: Localização da Serra de Maranguape (2), em relação ao Município de Fortaleza (1), Serra de Aratanha (3) e Maciço de Baturité (4).

Procedimentos

Foram realizadas 15 campanhas com duração de quatro dias cada, entre os meses de abril de 2010 e setembro de 2011. As atividades foram realizadas em quatro pontos (Pico da Rajada: 03°53'40,6"S; 38°43'21,2"W; 920 m alt.; Riacho Beija-Flor: Beija-Flor (03°53'48,2"S; 38°43'19,3"W; 878 m alt.; Derretido (3°54'15.9"S; 38°43'10.5"W, 720 m alt.; e Lagoa do Derretido (3°54'39"S; 38°43'09.8"W; 680 m alt.), durante os períodos diurno e noturno, através de busca ativa delimitada por tempo (cf. CRUMP; SCOTT JR, 1994). Visitas diurnas duraram duas horas em cada ponto (entre 06:00 e 12:00 h), enquanto as noturnas, uma hora (entre 19:00 e 22:00 h), permitindo a realização da atividade em duas áreas a cada turno. Os animais foram procurados na serapilheira, buracos, rochas, margens e interior de corpos d'água, vegetação e epífitas. Pelo menos um exemplar de cada espécie foi coletado e adicionado à Coleção de Herpetologia da Universidade Federal do Ceará (CHUFC) como material testemunho. Para cada espécie foi calculada a abundância relativa (AR) através da fórmula $AR = \frac{N_{esp}}{N_T} \times 100$, onde: N_{esp}

corresponde ao número de indivíduos de cada espécie encontrado e N_T ao número total de indivíduos encontrados (PINTO-COELHO, 2000).

A eficiência da amostragem foi verificada através da construção de curva de acumulação de espécies aleatorizada 500 vezes através do Software EstimateS (COLWELL, 2009), sendo empregado também o estimador Jackknife 1 (MAGURRAN, 2011). O inventário foi complementado com encontros ocasionais de outras espécies durante os deslocamentos na serra, e consulta à Coleção de Herpetologia da Universidade Federal do Ceará (CHUFC), que possui exemplares coletados na área de estudo, desde a década de 1990.

A caracterização dos modos reprodutivos de anuros seguiu os critérios propostos por Haddad & Prado (2005), e a classificação deles foi baseada em observações de campo, e informações fornecidas pelos trabalhos de Cochran (1955), Lutz (1973), Pombal Jr.; Haddad (2007); Vieira; Santana; Arzabe (2009).

RESULTADOS

Foram registradas 22 espécies de anfíbios, com a família Hylidae apresentando a maior representatividade (10), correspondendo a 45,45% do total, sendo seguida por Leptodactylidae (04), Bufonidae (02) e as demais com apenas uma espécie cada (Figura 3). Deste total, quatro espécies (*Rhinella granulosa*, *Leptodactylus macrosternum*, *L. siphax* e *Caecilia tentaculata*) foram adicionadas à lista somente após consulta à Coleção de Herpetologia da Universidade Federal do Ceará (CHUFC).

Embora a curva de acumulação de espécies tenha se aproximado de atingir a assíntota, pelo fato do estimador de riqueza indicar o acréscimo de mais duas espécies, consideramos que a quantidade de espécies está satisfatoriamente amostrada, devido às quatro espécies acrescentadas.

Das espécies registradas durante as atividades de campo, três (*Leptodactylus siphax*, *Proceratophrys renalis* e *Syphonops paulensis*) estavam fora dos pontos de amostragem. Nestes quatro pontos foi evidenciada a diminuição da riqueza com o aumento da altitude. A Lagoa do Derretido, com menor altitude, apresentou a maior riqueza de espécies (15), e com exceção de *Corythomantis greeningi* (que neste estudo só foi registrado para os pontos mais elevados), nele ocorreram todas as espécies encontradas para as outras áreas. Os demais locais apresentaram 13 (Derretido), sete (Riacho Beija-Flor) e oito (Pico da Rajada) espécies (Tabela 01).

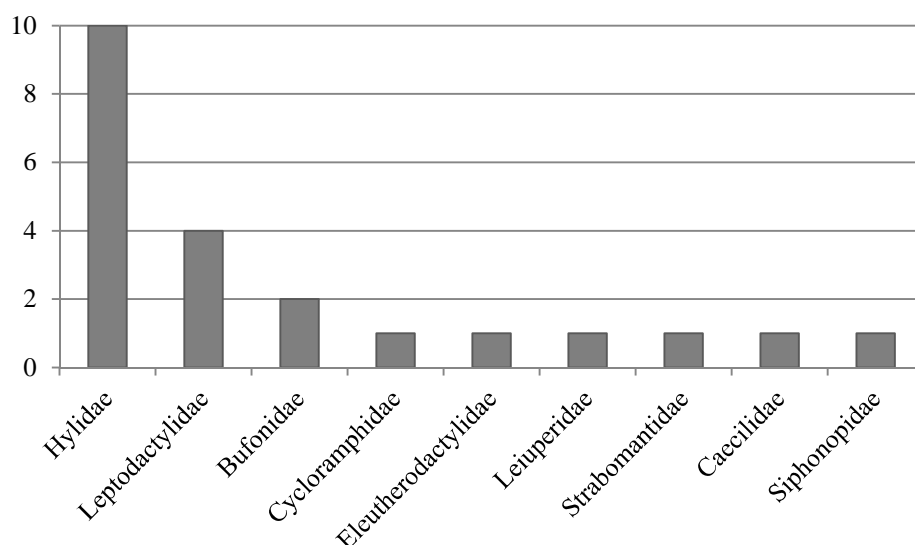


Figura 3: Contribuição relativa das famílias na composição da fauna de anfíbios da Serra de Maranguape, CE. Famílias (abscissas) e número de espécies (ordenadas).

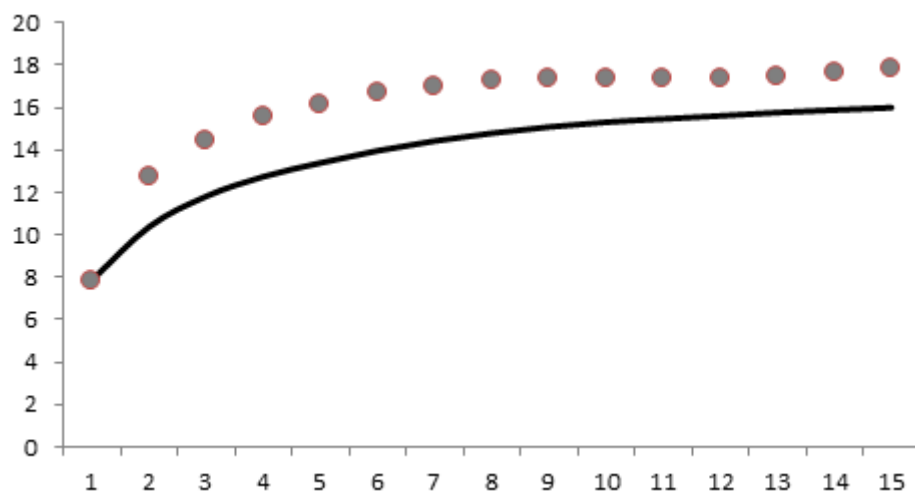


Figura 4: Curva de acumulação de espécies de anfíbios da Serra de Maranguape, com estimador de riqueza Jackknife 1 (círculos). Campanhas realizadas (abscissas); número de espécies (ordenadas).

registradas para um único ponto (Tabela 1). As espécies com maiores abundâncias foram *Adelophryne maranguapensis* (n= 1082; 41,82%), *P. ramagii* (n=342;13,22%) e *D. minutus* (n=311; 12,02%). Porém, as duas primeiras prevaleceram nas áreas mais elevadas, enquanto *D. minutus*, nas áreas mais baixas (Tabela 1).

A maior parte das espécies de anuros (n=12; 60%) tem modos reprodutivos (MR) basais, com ovos e girinos aquáticos (MR 1). Entre os Leptodactylidae todas as espécies depositam ovos em ninhos de espuma, porém *Leptodactylus macrosternum* (MR 11) e *L. siphax* e *L. vastus* (ambos MR 13), têm ninhos aquáticos, e *L.troglodytes* (MR 13), ninho subterrâneo. Entre as espécies com ovos arbóreos, *Dendropsophus* aff. *decipiens* e *Phyllomedusa nordestina* (MR 24) depositam os ovos em folhas, e liberam girinos exotróficos aquáticos, e *Adelophryne maranguapensis* (MR 27) é bromelígena com desenvolvimento direto. *Pristimantis ramagii* (MR 23) também apresenta desenvolvimento direto, porém deposita ovos terrestres (Tabela 1)

Tabela 1: Anfíbios da Serra de Maranguape, CE, registrados entre os anos de 1990 e 2011. Método de coleta (MÉT): CH (CHUFC, Coleção de Herpetologia da Universidade Federal do Ceará), BAT (busca ativa limitada por tempo), OC (encontros ocasionais); Pontos de coleta: 1 (Pico da Rajada), 2 (Riacho Beija-Flor, 3 (Derretido), 4 (Lagoa do Derretido), com quantidade total de espécimes; Modos reprodutivos (MR, *sensu* HADDAD & PRADO, 2005).

TÁXON	MÉT	PONTOS DE COLETA				AR	MR
		1	2	3	4		
ORDEM ANURA							
Bufonidae (2 espécies)							
<i>Rhinella granulosa</i> Spix, 1824	CH	-	-	-	-	-	1
<i>Rhinella jimi</i> (Stevaux, 2002)	BAT	6	3	1	5	0,58	1
Eleutherodactylidae (1 espécie)							
<i>Adelophryne maranguapensis</i> Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994	BAT	567	470	34	11	41,82	27
Cycloramphidae (1 espécie)							
<i>Proceratophrys renalis</i> (Miranda-Ribeiro, 1920)	OC	-	-	-	-	-	1
Hylidae (10 espécies)							
<i>Corythomantis greeningi</i> Boulenger, 1896	BAT	3	3	-	-	0,23	1
<i>Dendropsophus</i> aff. <i>decipiens</i>	BAT	-	20	162	19	7,77	24
<i>Dendropsophus minutus</i> (Peters, 1872)	BAT	1	-	167	143	12,02	1
<i>Dendropsophus</i> gr. <i>microcephalus</i>	BAT	-	-	8	255	10,17	1
<i>Dendropsophus soaresi</i> (Caramaschi & Jim, 1983)	BAT	-	-	-	5	0,19	1
<i>Hypsiboas raniceps</i> Cope, 1862	BAT	1	-	-	6	0,27	1
<i>Phyllomedusa nordestina</i> Caramaschi, 2006	BAT	-	-	22	79	3,9	24
<i>Trachycephalus typhonius</i> (Linnaeus, 1758)	BAT	63	34	36	10	5,53	1
<i>Scinax nebulosus</i> (Spix, 1824)	BAT	-	-	-	1	0,04	1
<i>Scinax x-signatus</i> (Spix, 1824)	BAT	-	-	1	3	0,15	1
Leiuperidae (1 espécie)							
<i>Physalaemus cuvieri</i> Fitzinger, 1826	BAT	-	-	26	58	3,25	1
Leptodactylidae (4 espécies)							
<i>Leptodactylus macrosternum</i> Miranda-Ribeiro, 1826	CH	-	-	-	-	-	11
<i>Leptodactylus siphax</i> Bokermann, 1969	OC	-	-	-	-	-	13
<i>Leptodactylus troglodytes</i> Lutz, 1926	CH	-	-	-	-	-	30
<i>Leptodactylus vastus</i> (Lutz, 1930)	BAT	2	1	8	5	0,62	13
Strabomantidae (1 espécie)							
<i>Pristimantis ramagii</i> (Boulenger, 1888)	BAT	124	189	17	12	13,22	23
ORDEM GYMNOPTERON							
Caeciliidae (1 espécie)							
<i>Caecilia tentaculata</i> Linnaeus, 1758	CH	-	-	-	-	-	-
Siphonopidae (1 espécie)							
<i>Siphonops paulensis</i> Boettger, 1892	OC	-	-	-	-	-	-

DISCUSSÃO

Trabalhos anteriores como os de Vanzolini (1981) e Rodrigues (1990) constataram que os brejos-de-altitude do Nordeste apresentam composição faunística diferente, com combinações, quantidades e riqueza de espécies diferenciadas, devendo cada um deles ser considerados como elementos únicos (VANZOLINI, 1981). A maioria das espécies encontradas na Serra de Maranguape apresenta ampla distribuição geográfica, ocorrendo inclusive em outras zonas na Caatinga influenciadas por condições xéricas. Porém *Adelophryne maranguapensis*, *Dendropsophus* aff. *decipiens*, *D. gr. microcephalus*, *Leptodactylus slyphax*, *Pristimantis ramagii* e *Siphonops paulensis* são espécies com distribuição mais restrita, também encontradas em outros brejos cearenses, mas que, no Domínio das Caatingas, possivelmente são endêmicas dos brejos-de-altitude (BORGES-NOJOSA, 2007; LOEBMANN; HADDAD, 2010; RIBEIRO et al., 2012).

Adelophryne maranguapensis é endêmica da Serra de Maranguape, tem hábitos diurnos, e é a única presente na lista de espécies ameaçadas de extinção (BORGES-NOJOSA, 2008). Os principais desafios para sua conservação estão relacionados à supressão das florestas para a instalação de grandes plantações, principalmente de bananeiras (LIMA; CASCON, 2008). A descoberta recente do uso de bromélias para a colocação de ovos com desenvolvimento direto (CASSIANO-LIMA et al., 2011) revelou que a extração de plantas ornamentais da Serra de Maranguape, atividade comum no local (LIMA; CASCON, 2008) aumenta os desafios para a conservação desta espécie. Até este estudo, a distribuição de *A. maranguapensis* na serra era pouco conhecida, e os registros limitavam sua ocorrência às partes mais altas próximas ao Pico da Rajada (HOOGMOED; BORGES; CASCON, 1994). Na verdade estes animais podem ser encontrados por toda a mata úmida, e nesse estudo a espécie foi ouvida em vocalização até 473 m de altitude (D. C. Lima, obs. pessoal) Entretanto também ficou evidente que as maiores abundâncias da espécie ocorre nas maiores altitudes. No Pico da Rajada, (maior altitude) foram registradas cerca de 50 vezes mais indivíduos que na Lagoa do Deretido (local mais baixo) (Tabela 1).

Pristimantis ramagii, a segunda espécie mais abundante, também apresenta desenvolvimento direto, e ocorre em simpatria com *A. maranguapensis*, podendo eventualmente ser encontrada em bromélias. Entretanto há uma clara diferenciação no uso de recursos e separação quanto ao nicho ecológico, uma vez que a atividade de *P. ramagii* é principalmente noturna, e os ovos têm sido encontrados sob densas camadas de briófitas (D. C. Lima, obs. pessoal). A dominância destas espécies em quantidade de indivíduos sobre as

demais, sugere forte influência umbrófila na composição de anfíbios da serra, e reflete um padrão encontrado na Mata Atlântica, no qual a quantidade das espécies de anfíbios está condicionada à disponibilidade dos sítios reprodutivos (IZECKSOHN; CARVALHO-E-SILVA, 2001). O predomínio de populações de espécies com desenvolvimento direto reflete as condições geradas pelas altas umidades, e densidade da serapilheira no ambiente florestal, como ocorre em outros locais na Mata Atlântica (HADDAD; PRADO, 2005; ROCHA et al., 2007; PONTES; ROCHA, 2011).

Estes dados demonstram que para uma efetiva conservação das espécies de anfíbios da Serra de Maranguape, é também necessário a adoção de práticas sustentáveis que visem a preservação dos diversos ambientes da serra.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, 43:1-39, 1974.
- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil**: Potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALFORD, R. A.; RICHARDS, S. J. Global amphibian declines: a problem in applied ecology. **Annu. Ecol. Rev. Syst.**, 30:133-165, 1999.
- ANDRADE, G. O.; LINS, R. C. Introdução ao estudo dos “brejos” pernambucanos. **Arquivos do Instituto de Ciências da Terra**, 2:21-34, 1964.
- ARRUDA, L. V. **Serra de Maranguape – CE**, Ecodinâmica da paisagem e implicações socioambientais. Fortaleza. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- BECKER, C. G. et al. Habitat Split and the global decline of amphibians. **Science**, 318:1775-1777, 2007.
- BORGES-NOJOSA, D. M.; LIMA, D. C. Dieta de *Drymoluber dichrous* (Peters, 1863) dos brejos-de-altitude do Estado do Ceará, Brasil (Serpentes, Colubridae). **Boletim do Museu Nacional**, 468:1-5, 2001.

BORGES-NOJOSA, D. M. Diversidade de anfíbios e répteis da Serra de Baturité, Ceará. In: OLIVEIRA, T. S.; ARAÚJO, F. S. **Diversidade e conservação da biota na Serra de Baturité, Ceará**. Fortaleza: Edições UFC; COELCE, 2007.p. 225-247.

BORGES-NOJOSA, D. M. *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Eds.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Fundação Biodiversitas, 2008.

CAMARDELI, M.; NAPOLI, M. F. Amphibian conservation in the Caatinga Biome and semiarid region of Brazil. **Herpetologica**, 68(1):31-47, 2012.

CASSIANO-LIMA, D. C. et al. The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994, (Anura, Eleutherodactylidae) an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil. **North-western Journal of Zoology**,7(1):92-97, 2011.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE). **Zoneamento ambiental e plano de manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra de Maranguape (CE)**. Fortaleza, CE, 2002.

COCHRAN, D. M. **Frogs of southeastern Brazil**. Washington: Smithsonian, 1955.

COLWELL, R.K. **EstimateS**: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, version 8.2.0., 2009. Disponível em <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>>.

CRUMP, M. L.; SCOTT JR., Visual encounter surveys. In: HEYER, W. R. et al.(Ed.). **Monitoring and measuring biological diversity: Standard methods for amphibians**. Londres: Smithsonian Institution Press, 1994.

FERNANDES, A. **fitogeografia brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998.

HADDAD, C. F. B.; PRADO, C. P. A. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience**, 55:207-217, 2005.

HOOGMOED, M. S.; BORGES, D. M.; CASCON, P. Three new species of the genus *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on the species of the genus. **Zoologische Mededelingen**, 68:271-300, 1994.

IZECHSOHN, E.; CARVALHO-E-SILVA, S. P. **Anfíbios do Município do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, EdUFRJ, 2001.

LIMA, D. C.; CASCON, P. Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. **Rede** (Revista Eletrônica do Prodepa) 2(1):64-79, 2008.

LOEBMANN, D.; HADDAD, C. F. B. Amphibians and reptiles from a highly diverse area of the Caatinga domain: Composition and conservation implications. **Biota Neotropica**, 10(3):227-256, 2010.

LOURENÇO, W. R. Premiere evidence de la presence d'une faune scorpionique amazonienne relictuelle dans les "brejos" de la caatinga du Nord-est du Bresil. **Boll. Soc. Sci. Bretagne**, 59:147-154, 1988.

LUTZ, B. **Brazilian species of *Hyla***. Austin: University of Texas Press, 1973.

MAGURRAN, A. E. **Medindo a diversidade biológica**. Curitiba: UFPR, 2011.

NASCIMENTO, F. P.; LIMA-VERDE, J. S. Ocorrência de ofídios de ambientes florestais em enclaves de matas úmidas do Ceará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, 5 (1):95-100, 1989.

PINTO-COELHO, R. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

POMBAL JR, J. P.; HADDAD, C. F. B. Estratégias e modos reprodutivos em anuros. In: NASCIMENTO, L. B.; OLIVEIRA, M. E. **Herpetologia no Brasil II**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Herpetologia, 2007.

PONTES, J. A.; ROCHA, C. F. D. Os anfíbios da serapilheira da Mata Atlântica brasileira: Estado atual do conhecimento. **Oecologia Australis**, 15(4):750-761, 2011.

RIBEIRO, S. C. et al. Amphibians and reptiles from the Araripe bioregion, northeastern Brazil. **Salamandra**, 48(3):133-146, 2012.

ROCHA, C. F. D. et al. A survey of the leaf-litter frog assembly from na Atlantic forest área (Reserva Ecológica de Guapiacu) in Rio de Janeiro state, Brazil, with an estimate of frog densities. **Tropical Zoology**, 20:99-108, 2007.

RODRIGUES, M.T., 1990. Os lagartos da Floresta Atlântica brasileira: distribuição atual e pretérita e suas implicações para estudos futuros. Estrutura, manejo e função. In: **Simpósio Sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira**, 2. Anais. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo. P. 404-410.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação geoambiental do Ceará. In: SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C.; DANTAS, E. W. C. (Org.). **Ceará: Um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2005.

VANZOLINI, P. E. A quasi-historical approach to the natural history of the differentiation of reptiles in tropical geographic isolates. **Papéis Avulsos de Zoologia**, 34(19):189-204, 1981.

VIEIRA, W. L. S.; SANTANA, G. G.; ARZABE, C. Diversity of reproductive modes in the Caatinga (dryland) of northeastern Brazil. **Biodiversity Conservation**. 18:55-66, 2009.

**CAPÍTULO 2 - Sexual dimorphism in the endemic and threatened
frog *Adelophryne maranguapensis* (Terrarana,
Eleutherodactylidae)**

(submetido ao periódico: Herpetological Journal)

Sexual dimorphism in the endemic and threatened frog *Adelophryne maranguapensis*
(Terrarana, Eleutherodactylidae)

Daniel Cassiano Lima^{1,2*}, Daniel Cunha Passos³, Diva Maria Borges-Nojosa⁴, Sonia Zanini Cechin¹

- 1- Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Naturais e Exatas, Bl. 17, sala 1140-D, Camobi, Km 9, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.
- 2- Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Educação de Itapipoca, Itapipoca, Ceará, Brazil.
- 3- Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil
- 4- Núcleo Regional de Ofiologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bl. 905, Fortaleza, Ceará, Brazil.

* Corresponding author: D. Cassiano-Lima, e-mail: dancassiano@yahoo.com.br

Running title: Sexual dimorphism in *Adelophryne maranguapensis*

ABSTRACT

This paper presents data on the sexual dimorphism of *Adelophryne maranguapensis*, an endangered frog species endemic to the Serra de Maranguape, a mountain range with remnant Atlantic Forest vegetation in northeastern Brazil. Females were larger than males in snout-vent length, head width and eye-nostril distance. We also describe color dimorphism for the first time for this genus, with females showing a pattern of red thighs and a tan back, and males with dark shades between black and brown. Measurements of SVL showed that the species can reach a greater length than reported in previous studies, and place in questions the use of length as diagnostic character for the species of *Adelophryne*. Similarly, the indistinct tympanic membranes in some specimens suggest that this feature should be used with caution in defining the genus. The absence of similar data for other *Adelophryne* species may be due to the small samples examined.

Keywords: Amphibia, sexual dichromatism, Maranguape, caatinga

INTRODUCTION

Sexual dimorphism occurs frequently among animals, and can be interpreted as the result of different selection pressures on males and females (Smith & Roberts, 2003; Corcobado et al., 2011). Although some of these assumptions have been investigated since the work of Darwin (1871), only recently have the mechanisms that regulate the differences between the sexes begun to be better understood (Grafen, 1987; Cox et al., 2006; Cox & John-Alder, 2007).

For at least 90% of anuran species, females are reported to be significantly larger than males (Shine, 1979; Monet & Cherry, 2002; Gamapurohit et al., 2004). For most of these cases, the hypothesis were related to the number and size of eggs produced, and consequently to the relative fecundity of the animals (Shine, 1979, 1993; Woolbright, 1983; Santana et al., 2010). For species that do not conform to this rule, it is believed that the males are larger than females

due to direct agonistic confrontation between them, as a result of strong competition for females and breeding sites (Shine, 1979, Bakkegard & Guyer, 2004, Clutton-Brock, 2007). Only recently Han & Fu (2013) confirmed that the body size is positively correlate with fecundity, and did not detected significant correlations between sexual dimorphism index and malecombat behavior. Besides the length of individuals, morphological differences such as the presence or absence of nuptial pads or pre-polical spines, vocal sacs, meristic differences, calls, and coloring may be useful in distinguishing between males and females, but in some cases, the functional significance of these differences is completely unknown (McClelland et al., 1997, Hayek & Heyer, 2005, Wells, 2007).

The genus *Adelophryne* Hoogmoed & Lescure, 1984 is composed of at least eight species of small frogs that occur in the Amazon basin, Atlantic Forest and Caatinga forest relicts (Hedges et al., 2008, Lourenço-de-Moraes et al., 2012, Santana et al., 2012). Recently, studying phylogenetic relationships among Physelaphryninae, Fouquet et al. (2012) revealed the existence of great diversity within the genus *Adelophryne*, and reported the occurrence of several species yet to be described.

Although complex studies such as that by Fouquet et al. (2012) answer some phylogenetic questions regarding the genus, data on the natural history of all species of *Adelophryne* remain sparse and restricted to brief comments available in species descriptions. The occurrence of direct development, for example, was simply assumed in some descriptive studies (Hoogmoed et al., 1994, MacCulloch et al., 2008, Lourenço-de-Moraes et al., 2012), but has been fully confirmed only for *A. maranguapensis*, which use bromeliads as a breeding site (Cassiano-Lima et al., 2011). Similarly, some of the above-cited descriptions also suggested the possibility of sexual dimorphism, but reported only that females are larger than males (Hoogmoed et al., 1994, MacCulloch et al., 2008, Lourenço-de-Moraes et al., 2012). There is

no conclusive evidence for sexual dimorphism of any species of *Adelophryne*, which might be explained by the small number of specimens in museums.

We used morphometric data and coloration to investigate the occurrence of sexual dimorphism in *A. maranguapensis*, an endemic and endangered species (Eterovick et al., 2005, Borges-Nojosa, 2008) that occurs in the Serra de Maranguape, a relict area of Atlantic Forest in the state of Ceará, northeastern Brazil.

MATERIAL AND METHODS

Study area

The animals used in this study were all collected at Serra de Maranguape (03°53'40.6"S, 38°43'21.2"W, 920 m alt.), located 25 km inland from the coast of Ceará. This is a pre-coastal mountain, included in the domain of ancient shields and massifs, consisting of a Precambrian crystalline basement (Souza, 2002). The elevation and proximity to the coast are some of the factors leading to the occurrence of a vegetation type characterized by woody vegetation taller than 5 m in height, interspersed with shrubs and epiphytes (Fernandes, 1998; Lima & Cascon, 2008). These terrain features provide a relatively high annual rainfall of 1,300 mm and an average temperature between 23 and 26°C, contrasting with the high temperatures and low rainfall in the surrounding Caatinga vegetation. Because of these characteristics as well as the several endemic species recorded, the Serra de Maranguape is considered one of the areas of highest priority for the conservation of amphibians in northeastern Brazil (Camardelli & Napoli, 2012).

Morphological measurements

For this study we used 60 adult specimens of *A. maranguapensis* (30 males and 30 females) collected between April 2010 and December 2011. The animals were captured manually,

weighed on a digital scale with a precision of 0.01 g, euthanized and fixed in 10% formalin, and stored in containers with 70% ethanol.

With a digital caliper (0.01 mm precision) the following measurements were obtained for each individual: snout-vent length (SVL), head length (HL), head width (HW), head height (HH), eye diameter (ED), tympanum diameter (TD), eye-nostril distance (END), thigh length (THL), tibia length (TL), foot length (FL) and hand length (HAL).

Statistical analysis

All analyses were performed using the software Statistica version 10.0, and the numerical variables were \log_{10} transformed prior to analysis to meet the assumptions of normality and homoscedasticity. To evaluate the occurrence of sexual dimorphism in SVL we used a T-test (Zar, 1999). For the other measurements, the differences between males and females were evaluated by analysis of covariance (ANCOVA; see Garcia-Berthou, 2001), considering gender as a factor, and SVL as a covariate (Hayek & Heyer, 2005; Gotelli & Ellison, 2011), and testing differences in slopes and intercepts. For weight, we used the values of the cubic root of the mass of each individual.

RESULTS

All animals fit into the general pattern of the description of *Adelophryne maranguapensis* proposed by Hoogmoed et al. (1994), but our sample (Table 1) contained 12 females with SVL larger than the maximum (17 mm) reported for the species (Hoogmoed et al., 1994). We used less than 30 individuals of each sex ($n = 28$ for males and $n = 26$ for females), only the analysis of the TD, because four females (CHUFC 6383-6386) and two males (CHUFC 6387 and 6388) showed no evident tympanum and tympanic membrane.

We considered dimorphic, measures that were different between males and females even when removing body size effect. Females of *A. maranguapensis* were larger than males (Table 1). Significant differences were found between the sexes in SVL ($t = -10.66$, $p < 0.01$; Figure 1), HW ($F_{1,57} = 8347$, $p = 0.005$, intercepts) and END ($F_{1,57} = 4490$, $P = 0.038$, intercepts).

There was also sexual dichromatism, with all the females in the sample showing a red-tinted ventrum and inner thighs (Figure 4A), while in males the same areas ranged from light brown to black, with pale dots evident (Figure 4B). After preservation, all specimens showed a dark mark on the back similar X or an hourglass, and also a dark V-shaped between the eyes, in addition to the sideband from part of the ocular region to the groin, exactly as mentioned by Hoogmoed et al. (1994). However, the tones and colors differed sharply, and unmistakably between males and females. Females with SVL larger than 16 mm ($n = 24$, 80% of the sample) had pale dorsal coloration, with a tendency to bronze, interspersed with small red marks that were not always evident; while the backs of males were predominantly dark-colored, ranging from brown and black, interspersed with brown and black spots (Figure 5).

Table 1: Weights and measures of females and males of *Adelophryne maranguapensis*.

		WEIGHT	SVL	HL	HW	HH	ED	END	TD	THL	TL	FL	HAL
F	VARIATION	0.3-0.81	13.61-21.7	5.22-8.25	4.78-8.47	2.27-4.12	1.54-2.57	1.13-1.84	0.48-1.03*	5.88-9.45	6.21-9.8	5.8-9.1	2.6-4.87
	$\bar{x}(\pm \text{s.d.})$	0.41(0.1)	17.1(1.64)	6.45(0.7)	6.4(0.73)	3.0(0.41)	1.93(0.3)	1.41(1.18)	0.65(0.13)	7.2(0.86)	8.0(0.82)	7.28(0.82)	3.7(0.52)
M	VARIATION	0.18-0.72	11.02-16.6	4.08-6.36	3.89-5.79	1.67-3.2	1.32-1.94	0.79-1.29	0.4-0.79**	3.96-7.33	4.37-8.37	4.15-7.65	1.98-3.79
	$\bar{x}(\pm \text{s.d.})$	0.22(0.1)	13.3(1.35)	5.2(0.52)	4.6(0.43)	2.43-2.29	1.63(0.2)	1.02(0.12)	0.54(0.1)	5.98(0.6)	6.5(0.78)	5.78(0.73)	2.8(0.4)

Legend: Snout-vent length (SVL), head length (HL), head width (HW), head height (HH), eye diameter (ED), eye-nose distance (END), tympanum diameter (TD), thigh length (THL), tibia length (TL), foot length (FL) and hand length (HAL); *n=26; **n=28.

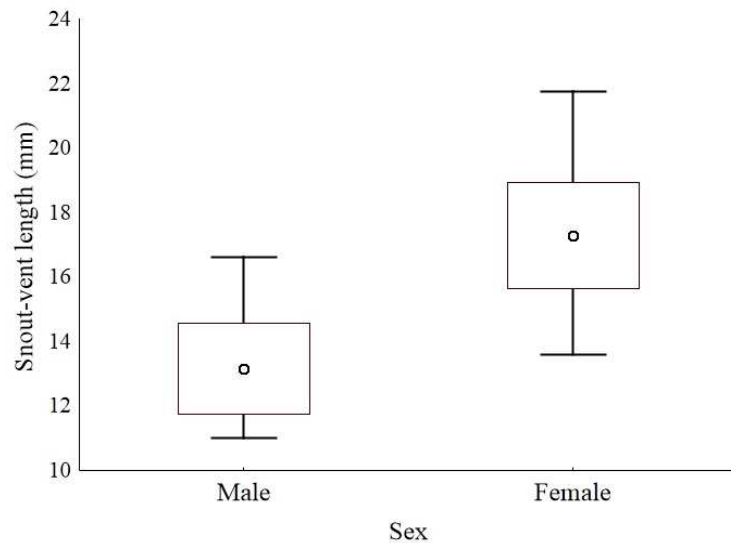


Figure 1: Snout-vent length of adult male and female *Adelophryne maranguapensis*

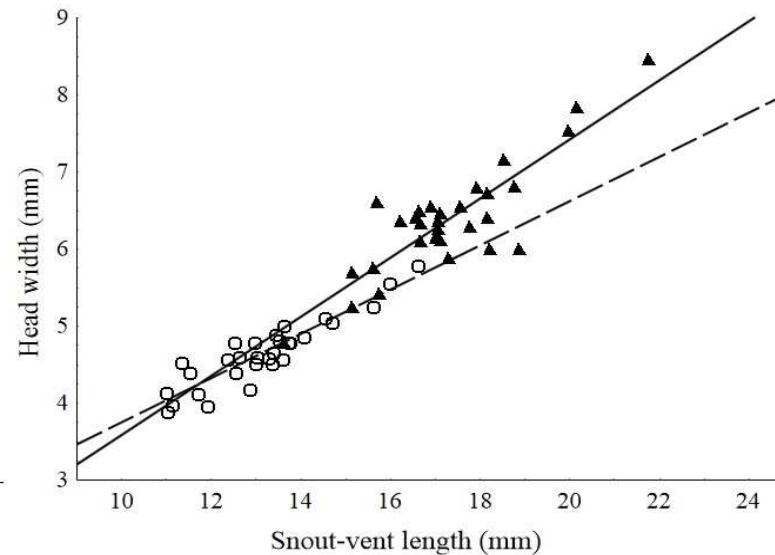


Figure 2: Relationship between log head width and log snout-vent length of adult male (circles) and female (triangles) *Adelophryne maranguapensis*

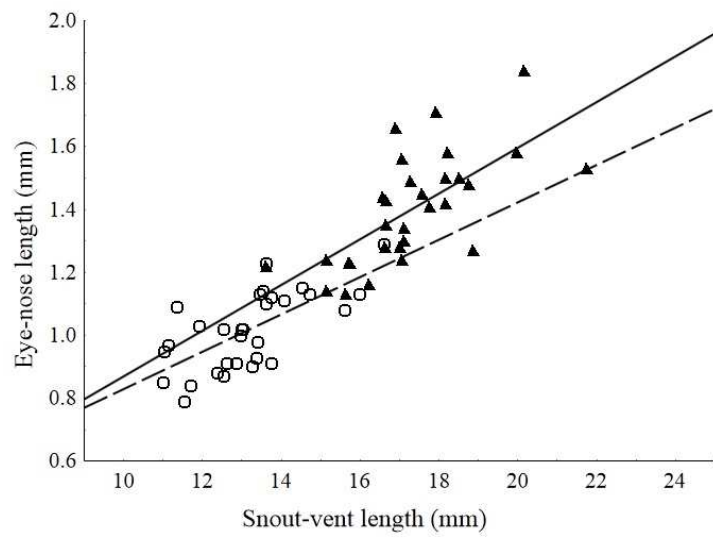


Figure 3: Relationship between log eye-nostril length and log snout-vent length of adult male (circles) and female (triangles) *Adelophryne maranguapensis*

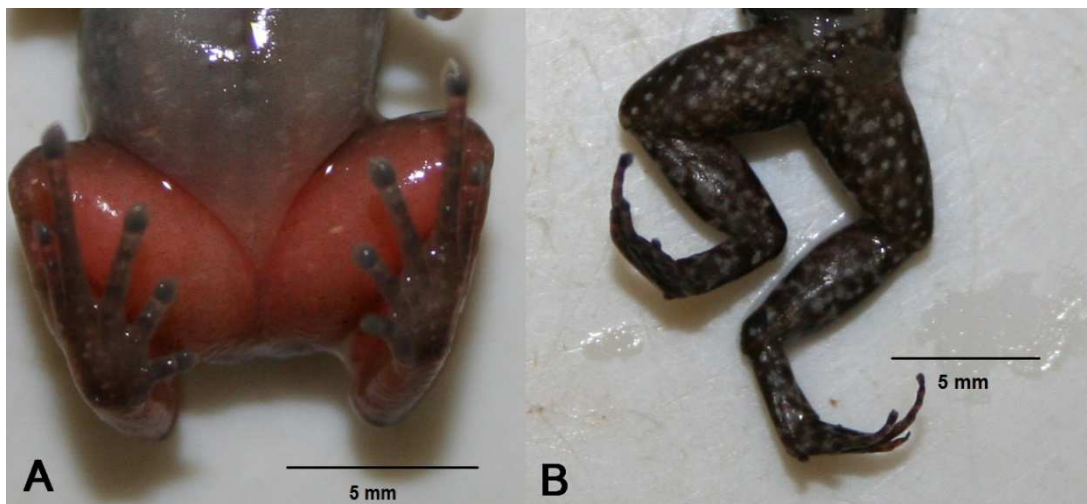


Figure 4: Diference in ventral coloration of the thigh between of an adult female (A) and a male (B) *Adelophryne maranguapensis*



Figure 5: Differences in length and coloration in adult male (left) and female (right) *Adelophryne maranguapensis*

DISCUSSION

For anurans, body measurements are widely used as indicators of sexual dimorphism (Duellman & Trueb, 1994). The analysis of *A. maranguapensis* morphometry showed that this species fits into the pattern of most dimorphic species of anurans, in which females are larger than males (Duellman & Trueb, 1994, Monet & Cherry, 2002, Gamapurohit et al., 2004, Freitas et al., 2008), a pattern also reported for most members of Eleutherodactylidae (Hedges et al., 1992, Duellman & Pramuk, 1999; Wells, 2007), as well as most anurans (Shine, 1979).

According to the hypothesis of sexual dimorphism, different body sizes in males and females result from differences related to reproductive success (Shine, 1989; Filogonio et al., 2009). According to Shine (1993), the explanation of the pattern found in most species of frogs is related to female fecundity, with larger females able to produce larger clutches. Reports of large oocytes (2 mm diameter) in females of *A. adiantola*, *A. gutturosa*, and *A. maranguapensis* (Hoogmoed & Lescure, 1984, Ayarzagüena & Aransay Diego, 1985; Hoogmoed et al., 1994), and the descriptions of bromeliad dwelling-frogs with clutches containing 3-8 large eggs

(approx. 5 mm in diameter; Cassiano-Lima et al., 2011) suggest that the larger size of females relative to males of *Adelophryne* is also related to fecundity (cf. Shine, 1993; Monet & Cherry, 2002).

All descriptive papers of *Adelophryne* species mention that the females are larger than males (Hoogmoed et al., 1994; MacCulloch et al., 2008; Lourenço-de-Moraes et al., 2012), but there are no direct references to sexual dimorphism, probably due to the small sample size of the type-series. Hoogmoed & Lescure (1984), for example, highlighted differences in length between males and females of *A. adiaistola* without discarding the possibility that they were dealing with sexual dimorphism; however, they also suggested that these differences could be due to the age or stage of the sexual cycle of the animals collected. Based on these observations we suggest that females are larger than males in species of *Adelophryne*, but further studies are needed to confirm this prediction.

Until now, the highest recorded SVL of *A. maranguapensis* was for a female 17.4 mm long, and this value was used for the diagnosis of the species and a dichotomous key to distinguish it from other species of the genus known at that time (Hoogmoed et al., 1994). MacCulloch et al. (2008) also used the SVL as a criterion for differentiation of *A. patamona*, considering it a distinct species because of its SVL greater than 20 mm. Similarly, the SVL was also a diagnostic characteristic for the description of *Adelophryne mucronatus*, and was used for differentiating several other congeners (*A. patamona*, *A. gutturosa*, *A. baturitensis* and *A. maranguapensis*; Lourenço-de-Moraes, 2012). Our data suggest the need for greater caution in using SVL as a distinguishing feature between species of *Adelophryne*, and it is likely that the apparent disagreement among the SVL of species of the genus may result from the small sample size. In this study, for example, 12 females (40% of the sample) showed an SVL greater than 17.4 mm (17.56 - 21.74 mm; $\bar{x} = 18.36$ mm), and two females were larger than 20 mm,

indicating that *A. maranguapensis* can reach larger sizes than those currently considered, even overlapping the SVL reported for some specimens of *A. patamona* (MacCulloch et al., 2008).

Dimorphism in the head width has been widely reported in anurans, and is generally associated with the size of prey that can be ingested. Thus, the larger the width of the head, the greater the ability to capture larger prey (Duellman & Trueb, 1986; Hayek & Heyer, 2005). Heyer (2005) suggests that it is nutritionally more beneficial to consume one volumetrically larger prey, than to ingest larger number of individuals occupying the same volume. Although the diet of *A. maranguapensis* is unknown, it is likely that a female's ability to capture larger and therefore more nutritious prey, is related to the high energy investment needed to produce large eggs with large amounts of yolk (Hoogmoed et al., 1994; Cassiano-Lima et al., 2011).

Adelophryne maranguapensis also has sexual dichromatism, and this constitutes the first report for the genus. *A. patamona* and *A. mucronatus* do not exhibit sexual dimorphism in color (MacCulloch et al., 2008; Lourenço-de-Moraes et al., 2012); for other species, the small number of individuals sampled may have obscured the existence of any dimorphic coloration. The description of *A. maranguapensis* (Hoogmoed et al., 1994) reported striking differences in dorsal coloration among individuals of the type-series, with variants with shades between dark brown and reddish brown. It is likely that the reddish-brown color pattern is the same as that recorded for females, and that some describers failed to notice sexual dimorphism in color because they collected only a single female.

Although no sexual dimorphism was detected in the tympanic diameter in the present study, in two males and four females the tympanic membrane was completely indistinct. Although Hoogmoed et al. (1994) reported the same condition for an individual *A. maranguapensis*, Hedges et al. (2008) used the presence of a distinct tympanic as one of the characteristics used to define the genus. Our findings suggest that the tympanic membrane is indistinct in at least some representatives of *A. maranguapensis*.

The data presented in this study contribute to enhance knowledge on the biology of *A. maranguapensis* and improved characterization of the species, which is endemic and endangered by agricultural activities in Serra de Maranguape (Lima & Cascon, 2008). Our findings reinforce the need for comprehensive and comparative studies of other species of the genus *Adelophryne*, still one of the less-studied groups of amphibians.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the following persons and entities:

T.A. de Sousa, J.E. Vasconcelos-Carlos and F.K. Teixeira for helping in the field trips; The Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and the Chico Mendes Institute for Conservation of Biodiversity (ICMBio) for granting collect permit (In, 22909-1); J. Kilder for his hospitality during field work and I. Pinheiro (Pousada Encanto da Serra) for the care with our vehicles during field work; D.C. Passos is grateful to CAPES for Marter's degree fellowship; and S.Z. Cechin is grateful to CNPq for the research fellowship (proc. No. 304929/2012-3).

REFERENCES

- Ayarzaguena, J. & Diego-Aransay, A. (1985). Primer reporte para Venezuela de *Adelophryne gutturosa* (Leptodactylidae) y datos sobre su biología. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 45, 159-160.
- Bakkegard, K. & Guyer, C. (2004). Sexual size dimorphism of the red hills salamander, *Phaeognathus hubrichti*. *Journal of Herpetology* 38, 8-15, 2004.
- Borges-Nojosa, D.M. (2008). *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994, 308-309. Machado, A.B.M., Drummond, G.M. & Paglia, A.P. (eds), *Livro Vermelho da*

Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas.

Camardelli, M. & Napoli, M. (2012). Amphibian conservation in the Caatinga Biome and semiarid region of Brazil. *Herpetologica*, 68, 31-47.

Cassiano-Lima, D. C., Borges-Nojosa, D. M., Cascon, P. & Cechin, S. Z. (2011). The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994 (Anura, Eleutherodactylidae) an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil. *North-Western Journal of Zoology* 7,92-97, 2011.

Clutton-Brock, T. (2007). Sexual selection in males and females. *Science* 318, 1882-1885, 2007.

Corcobado, G., Rodrigues-Gironés, M. A., Mas, E. & Moya-Laraño, J. (2010). Introducing the refined gravity hypothesis of extreme sexual size dimorphism. *Evolutionary Biology* 10,1-14 2010.

Cox, R. M., Zilberman, V. & John-Alder, H. B. (2006). Environmental sensitivity of sexual size dimorphism: Laboratory common garden removes effects of sex and castration on lizard growth. *Functional Ecology* 20,880-888, 2006.

Cox, R. M. & John-Alder, H. B. (2007). Growing apart together: The development of contrasting sexual size dimorphisms in sympatric *Sceloporus* lizards. *Herpetologica* 63, 245-257, 2007.

Darwin, C. (1871). *The descent of man and selection in relation to sex*. London: John Murray, 1871.

Duellman, W.E. & Trueb, L. (1994). *Biology of amphibians*. New York: McGraw-Hill.

- Duellman, W.E. & Pramuk, J.B. (1999). Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Anura: Leptodactylidae) in the andes of northern Peru. *Scientific Papers*, 13, 1-78.
- Eterovick, P.C., Carnaval, A.C.O.Q., Borges-Nojosa, D.M., Silvano, D.L., Segalla, M.V., Sazima, I. (2005). Amphibian declines in Brazil: an overview. *Biotropica*, 37, 166-179.
- Fernandes, A. (1998). *Fitogeografia brasileira*. Fortaleza: Multigraf.
- Fouquet, A., Loebmann, D., Castroviejo-Fisher, S., Padial, J. M., Orrico, V. G. D., Lyra, M. L., Roberto, I. J., Kok, P. J. R., Haddad, C. F. B. & Rodrigues, M. T. (2012). From Amazonia to the Atlantic forest: Molecular phylogeny of Phyzelaphryninae frogs reveals unexpected diversity and a striking biogeographic pattern emphasizing conservation challenges. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 65, 547-561.
- Freitas, E.B., Carvalho, C.B., Faria, R.G., Batista, R.C., Coelho, W.A. & Bocchiglieri, A. (2008). Nicho ecológico e aspectos da história natural de *Phyllomedusa azurea* (Anura: Hylidae, Phyllomedusinae) no cerrado do Brasil Central. *Biota Neotropica*, 8, 101-110.
- Gamapurohit, N. P., Shanbhag, B. A. & Saidapur, S. K. (2004). Growth, sexual maturation and body size dimorphism in the Indian bullfrog, *Hoplobatrachus tigerinus* (Daud). *Herpetologica*, 60, 414-419.
- Garcia-Berthou, E. (2001). On the misuse of residuals in ecology: testing regression residuals vs. the analysis of covariance. *Journal of Animal Ecology*, 70, 707-711.
- Gotelli, N.J. & Ellison, A.M. (2011). *Princípios de Estatística em Ecologia*. Porto Alegre: Artmed.
- Grafen, A. (1987). Measuring sexual selection: Why bother? Bradbury, J. W. & Anderson, M. B. (Eds.). *Sexual selection: Testing the alternatives*. 221-233. New Jersey: Wiley & Sons.

Hedges, S.B., Estrada, A.R. & Thomas, R. (1992). Three new species of *Eleutherodactylus* from eastern Cuba, with notes on vocalizations of other species (Anura: Leptodactylidae). *Herpetological Monographs*, 6, 68-83.

Hedges, S. B., Duellman, W. E. & Heinicke, M. P. (2008). New-World direct developing frogs (Anura: Terrarana): Molecular phylogeny, classification, biogeography, and conservation. *Zootaxa*, 1737, 1-182.

Heyer, R. (2005). Variation and taxonomic clarification of the large species of the *Leptodactylus pentadactylus* species group (Amphibia: Leptodactylidae) from middle America, Northern South America, and Amazonia. *Arquivos de Zoologia*, 37, 269-348.

Hayek, L. A. C. & Heyer, R. Determining sexual dimorphism in frog measurement data: Integration of statistical significance, measurement error, effect size and biological significance. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77, 45-76, 2005.

Hoogmoed, M. S. & Lescure, J. (1984). A new genus and two new species of minute leptodactylid frogs from northern South America, with comments upon *Phyzelaphryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae). *Zoologische Mededelingen*, 58, 85-115.

Hoogmoed, M. S., Borges, D. M. & Cascon, P. (1994). Three new species of the genus *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on the other species of the genus. *Zoologische Mededelingen*, 68, 271-300.

Juncá, F. A. (2006). Diversidade e uso de habitat por anfíbios anuros em duas localidades de Mata Atlântica, no norte do estado da Bahia. *Biota Neotropica*, 6, 1-17, 2006.

Loebmann, D., Orrico, V. G. D. & Haddad, C. F. B. (2011). First record of *Adelophryne baturitensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994 for the state of Pernambuco, Northeastern Brazil (Anura, Eleutherodactylidae, Phyzelaphryninae). *Herpetology Notes*, 4, 75-77.

Lourenço-de-Moraes, R., Solé, M., Toledo, L.F. (2012). A new species of *Adelophryne* Hoogmoed and Lescure 1984 (Amphibia: Anura: Eleutherodactylidae) from Atlantic rainforest, of southern Bahia, Brazil. *Zootaxa*, 3441, 59-68.

Lima, D.C. & Cascon, P. (2008). Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. *REDE* (Revista Eletrônica do PRODEMA), 2, 64-79.

MacCulloch, R. D., Lathrop, A., Kok, P.J.R., Mintr, L.R., Khan, S.Z. & Barrio-Amorós, C.L. (2008). A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from Guyana, with additional data on *A. guttuosa*. *Zootaxa*, 1884, 36-50.

McClelland, B. E., Wilczynski, W. & Rand, A. S. (1997). Sexual dimorphism and species differences in the neurophysiology and morphology of the acoustic communication system of two neotropical hylids. *Journal of Comparative Physiology*, 180, 451-462

Monet, J.M. & Cherry, M.I. (2002). Sexual size dimorphism in anurans. *Proceedings of the Royal Society*, 269, 2301-2307.

Santana, D. J., São-Pedro, V.A., Bernarde, P. S. & Feio, R.N. (2010). Descrição do canto de anúncio e dimorfismo sexual em *Proceratophrys concavitympanum* Giaretta, Bernarde & Kokubum, 2000. *Papéis Avulsos de Zoologia*, 50, 167-174.

Santana, D.J., Fonseca, E.M., Neves, M. O. & Carvalho, R.M.H. (2012). A new species of *Adelophryne* (Anura: eleutherodactylidae) from the Atlantic Forest, southeastern Brazil. *Salamandra*, 48, 187-192.

Shine, R. (1979). Sexual selection and sexual dimorphism in the Amphibia. *Copeia*, 1979, 297-306.

Shine, R. (1993). Sexual dimorphism in snakes, 49-86. Seigel, R.A. & Collins, J.T. (eds.). *Snakes: Ecology and behavior*, New York: McGraw Hill.

Smith, M. J & Roberts (2003). No sexual dimorphism in the frog *Crinia Georgiana* (Anura: Myobatrachidae): An examination of pre- and postmaturational growth. *Journal of Herpetology* 37, 132-137.

Souza, M.J.N. *Zoneamento ambiental e plano de gestão da APA da Serra de Maranguape-CE*. Fortaleza: SEMACE.

Wells, K.D. (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. Chicago: The University of Chicago Press.

Woolbright, L.L. (1983). Sexual size and dimorphism in anuran amphibian. *The American Naturalist*, 121, 110-119.

APPENDIX

Specimens examined:

Adelophryne maranguapensis

Males: CHUFC A 3695, 6379, 6382, 6387-6390, 6397, 6403, 6405, 6406, 6454-6472.

Females: CHUFC A 3696, 6380, 6381, 6383-6394, 6398-6402, 6404, 6441-6453.

CAPÍTULO 3 – “The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994 (Anura, Eleutherodactylidae), an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil”

**(Publicado pelo periódico: North-Western Journal of Zoology
7(1):92-97, 2011)**

1 **The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon,**
2 **1994 (Anura, Eleutherodactylidae), an endemic and threatened species from Atlantic**
3 **Forest remnants in northern Brazil**

4
5 Daniel Cassiano-Lima^{1,2*}, Diva Maria Borges-Nojosa³, Paulo Cascon³, Sonia Zanini Cechin¹

- 6
7 1. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal, Centro de Ciências Naturais e
8 Exatas, Prédio 17, sala 1140/D, Cidade Universitária, Camobi, Km 9, Santa Maria, Rio
9 Grande do Sul, Brazil.
- 10 2. Faculdade de Educação de Itapipoca, Universidade Estadual do Ceará, Itapipoca, Ceará,
11 Brazil.
- 12 3. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Departamento de
13 Biologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil.

14 * Corresponding author, D. Cassiano-Lima: dancassiano@yahoo.com.br

15
16
17
18
19
20
21
22
23

Abstract

24

25 The genus *Adelophryne* is presently constituted by six species of minute anurans that inhabit
26 leaf litter and are distributed in the Amazon region and in the Brazilian Atlantic Forest. The
27 present study aims to contribute to the knowledge of the reproductive mode of this genus, by
28 presenting information about the oviposition site, egg and clutch characteristics, and type of
29 development of *A. maranguapensis*. This species is listed as in danger of extinction because it
30 is endemic to the Serra de Maranguape, a small remnant of Atlantic Forest in northeastern
31 Brazil that is under severe pressure of anthropic degradation. The study is based on twelve *A.*
32 *maranguapensis* egg clutches found on leaves of bromeliads at heights of 0.5 to 4.4 m from the
33 ground. The clutches contained 3 to 8 eggs, each approximately 5 mm in diameter, with a
34 vitreous surface and dark material in its interior, and were all located in bromeliad leaf axils.
35 The eggs from one of the clutches hatched into fully formed froglets in the first 48 hours after
36 collection, confirming that *A. maranguapensis* has direct development. These observations
37 stress the conservation importance of the threatened natural remnants of the Serra de
38 Maranguape, because *A. maranguapensis* uses arboreal sites to reproduction.

39 **Keywords:** *Adelophryne maranguapensis*, direct development, bromeligen.

40 **Running title:** Reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis*

41

42

43

44

45

46

47

48

Introduction

49

50 Amphibians have the most diversified modes of reproduction among vertebrates. This
51 fact probably reflects evolutive patterns related to the first experiments in the conquest of
52 terrestrial environments (Duellman & Trueb 1994). The concept of reproductive mode in
53 amphibians was proposed by Salthe & Duellman (1973) based on the oviposition site, structural
54 characteristics of the eggs and nests, the stage and size of newborn and the type of parental
55 care, if any. For anurans alone, Pombal-Junior & Haddad (2007) recorded 39 different types of
56 reproduction, of which 27 occur among anurans of the Brazilian Atlantic Forest (Haddad &
57 Prado 2005). This great diversity of reproductive modes among amphibians of the Atlantic
58 Forest may be related to heterogeneity of this ecosystem, which have rocky coastlines,
59 mountain streams, wet litter, lots of epiphytes and montane forests (Kopp et al. 2010,
60 Loebmann & Haddad 2010).

61

In the original description of the genus *Adelophryne*, Hoogmoed & Lescure (1984)
62 reported females with well-developed oviducts, but had no information about the reproductive
63 mode. Later, Ayarzagüena & Diego-Aransay (1985) found two large eggs (2 mm in diameter)
64 in a female of *A. guttuosa*, and considered this trait to be an indicator of direct development.

65

Hoogmoed et al. (1994), in describing *A. pachydactyla*, *A. baturitensis* and *A.*
66 *maranguapensis* reported that females of the latter two species contained large eggs, and also
67 mentioned the possible occurrence of direct development in the genus.

68

Thibaudeau & Altig (1999) included *Adelophryne* in a list of genera in which direct
69 development is likely to occur, however without indicating in which category of endotrophic
70 frogs as defined by Altig & Johnson (1989; viviparous, ovoviviparous, direct development,
71 paraviviparous, exoviviparous or nidicolous) the genus should be included.

72

Hedges et al. (2008) included *Adelophryne* in a new anuran taxon of the New World
73 named Terrarana, characterized by direct development and ground-breeding, but they

74 emphasized that these characteristics had not been confirmed for all genera of Terrarana, and
75 are only assumed for some of them. Heinicke et al. (2009) reported that direct development has
76 not yet been confirmed for most members of Terrarana, including all the species of
77 *Adelophryne*.

78 Although the large size of the oviducal eggs seems to indicate the existence of direct
79 development in this genus, some authors, rather prematurely, stated this as a fact (Reynolds et
80 al. 2004, Silvano & Borges-Nojosa 2004 a, b, Eterovick et al. 2005, Wells 2007). MacCulloch
81 et al. (2008) were the first to record the oviposition (under artificial conditions after capture) of
82 a large egg (4,63mm) by *A. guttuosa*. The authors suggested that this finding supported the
83 hypothesis of direct development for the species. Thibaudeau & Altig (1999) emphasized that
84 the size of eggs is not sufficient to conclude that any species of anuran possesses direct
85 development, or indeed any other category of endotrophic development, because of the overlap
86 in the sizes of endotrophic and exotrophic eggs in about 25% of species of anurans.

87 This study contributes to knowledge of the reproductive biology of the little studied
88 genus *Adelophryne*, and confirms the occurrence of direct development in the genus based on
89 information on the oviposition site, egg characteristics, spawning and hatching of *A.*
90 *maranguapensis*, an endangered species (Borges-Nojosa 2008). *Adelophryne maranguapensis*
91 endemic to a small remnant of the Atlantic Forest in northeastern Brazil, which is under severe
92 pressure by anthropic degradation.

93

94

Material and Methods

95 This study is part of a research program on the herpetofauna of the Serra de
96 Maranguape, a mountainous area about 920 m above sea level, located in the state of Ceará,
97 northeastern Brazil. The study has been carried out since the year 1995, in discontinuous

98 periods. These observations result from sampling carried out in each month, from 1998 to
99 2003, and during the first half of 2010.

100 Active daily and nightly searches were carried out in leaf litter, under rocks, in mosses,
101 along streambanks and lake shores, in holes in the ground, in trees, bromeliads, and other
102 places where clutches of *A. maranguapensis* might be found. The positions of all identified
103 nests were recorded, and the eggs were counted and measured with a digital caliper (0.1 mm
104 accuracy). Some spawnings were collected and housed in Petri dishes containing moist cotton
105 or pieces of paper towel, similarly to the method for culture of *Eleutherodactylus coqui*
106 embryos, proposed by Elinson et al. (1990, 2008) and Sabo et al. (2009). Later some of the
107 clutches were transferred to the laboratory and kept at room temperature of approximately 23°C
108 and protected from sunlight, simulating the environment where they were found. The eggs were
109 photographed every two days.

110 Three newly hatched animals were obtained from one only spawning. They were
111 measured, euthanized, fixed in 10% formalin, and stored in vials containing 70% ethanol. All
112 material was deposited in the Herpetological Collection of the Núcleo Regional de Ofiologia,
113 of the Federal University of Ceará (NUROF-UFC) (CHUFC5806-09).

114 Results

115 Clutches of *A. maranguapensis* were found at only two points, one near the Riacho
116 Beija-Flor (03°53'44.3"S; 38°43'18.8"W, 890m), and one on the top of the mountain, known as
117 Pico da Rajada (3°53'44.2"S; 38°43'20.8"W, 920m). To date, 12 egg masses of *A.*
118 *maranguapensis* have been obtained, in the local rainy season (first quarter of each year) (Table
119 1). They were located only on the adaxial side of leaves of four species of bromeliads, with an
120 average height of 1.76 m above the ground (Table 1). The clutches consisted of 3-8 eggs,
121 translucent with a vitreous surface, and about 5mm in diameter. Three eggs (clutch 9) with

122 embryos in advanced stages were larger (6.6, 7.4 and 6.9mm) several minutes before hatching
123 (Table 1, Fig. 1).

124 The eggs from clutch 1 (Table 1) hatched into fully formed froglets 48 hours after
125 collection, but we could not obtain any meristic data because the newborns were rapidly
126 attacked and ate by ants. Clutches 2, 3 and 4 (Table 1) were attacked by fungus and were totally
127 destroyed, but these latter two (3 and 4) could be observed in the laboratory for 14 days. They
128 had embryos with a distinct head region, dorsally with discrete dark spots bordering the yolk,
129 and undifferentiated stumps of the forelimbs and hindlimbs, of the same size (Fig. 2A). After
130 48 hours (April 30), the heads of the embryos began to show dark spots similar to those on the
131 back, and their eyes were easily discernible (Fig. 2B). After another 48 hours (May 2), the
132 embryos were colored brown, and their eyes were darker than before. The heartbeat could also
133 be observed at this stage (Fig. 2C). After 72 hours (May 5), the anterior and posterior limbs
134 were well developed, and it was possible to observe the edges of the disks at the ends of
135 elongated fingers, a characteristic of the genus (Hoogmoed & Lescure 1984). At this stage, the
136 coloration of the embryos was similar to that of newly hatched froglets (Fig. 2D). After this
137 stage, embryos showed no noticeable morphological changes, and the eggs gradually changed
138 from glassy to opaque, probably because of fungus infestation that eventually destroyed the
139 culture of embryos. The clutches obtained in 2010 were all registered and measured during the
140 field work, and only the spawnings 7-10 were collected.

141 To date the only adult female *A. maranguapensis* was collected by Hoogmoed et al.
142 (1994), and it has SVL 17.4mm, and some of the nests found in the present study possibly were
143 not made by only one female due to the big diameter and number of eggs (3-8) found in the
144 clutches. The clutch 9 apparently supports this hypothesis because the embryos were in
145 different development stages, indicating that ovipositions were not made in the same time.
146 Three eggs from this clutch hatched in newborn froglets (mean: 4.53mm, 0.014g) in the same
147 day of collection while one of the other embryos presented arms and legs and a big yolk

148 quantity, and the other one was in an early stage presenting the stumps of forelimbs and
149 hindlimbs (Fig. 3).

150

Discussion

151 This study, by monitoring the positions of clutches and recording the hatching of small,
152 fully formed froglets from eggs of *A. maranguapensis*, confirms the occurrence of direct
153 development in this species, and suggests that this pattern most likely also occurs in other
154 species of *Adelophryne*. Although it is presumed that all Terrarana species have direct
155 development, this is not confirmed for the majority of the members of the group, including all
156 species of *Adelophryne* (Heinicke et al. 2009).

157 Although the egg masses of *A. maranguapensis* were not found in direct contact with
158 the accumulated water in bromeliads, this water reservoir is likely to be an important factor in
159 the reproduction of the species, helping to increase the relative humidity and preventing the
160 eggs from drying, besides hosting adults during the reproductive period. The depigmentation
161 observed in the eggs of *A. maranguapensis* is probably associated with poor lighting at the site
162 of oviposition, as reported by Pombal-Junior (1999) for eggs of *Brachycephalus ephippium*. In
163 both cases, the vegetation appears to function to shade the clutches from sunlight, reducing the
164 risk of dehydration and the need for pigmentation of the eggs.

165 The association of some species of amphibians with bromeliads has been the subject of
166 several studies (Laessle 1961, Peixoto 1995, Lopez et al.1999, Schneider & Teixeira 2001,
167 Andrade et al.2009). The accumulation of organic matter and water in the leaf axils of tank-
168 bromeliads makes them isolated aquatic environments (Mestre et al. 2001). Peixoto (1995)
169 classified the amphibians found in bromeliads as bromelicolous or bromeligenes, these latter
170 being composed of species that use these plants in their reproductive cycle, and the former,
171 those which can sometimes be found in bromeliads, but do not use them for reproduction.
172 According to Peixoto's classification, *A. maranguapensis* is a bromeligen species. Although all
173 the clutches were found in bromeliads, vocal activity of males has been recorded in leaf litter,

174 indicating that this species has morphological adaptations to climbing (Reilly & Jorgensen
175 2011), and does not occurs only near the ground as suggested by Hoogmoed et al. (1994).

176 The more specialized reproductive modes among the Brazilian Atlantic Forest anurans
177 are commonly found in genera that have few species and are restricted to forest environments,
178 such as *Brachycephalus*, *Crossodactylodes*, *Dendrophryniscus*, *Flectonotus*, *Frostius*,
179 *Gastrotheca*, *Myersiella* and *Zachaenus* (*Ischnocnema* being an exception), and in species of
180 small body size (Haddad & Prado 2005). The genus *Adelophryne*, which until now has only six
181 described species, with individuals measuring less than 2 cm in SVL, seems to follow the
182 pattern described above, having also a specialized reproductive mode.

183 According to the observations reported here, *A. maranguapensis* shows the reproductive
184 mode²⁷ *sensu* Haddad & Prado (2005) and Pombal-Junior & Haddad (2007): arboreal eggs
185 hatching into froglets. Haddad & Prado (2005) emphasized that populations of frogs whose
186 reproductive modes depend on the forest moisture, tend to be suppressed by deforestation. The
187 areas where *A. maranguapensis* is found have had their original vegetation removed for the
188 installation of permanent crops and banana trees (Rodriguez & Smith2002), which has caused
189 the loss of large amounts of soil by erosion, especially in heavy rainy periods. Moreover, the
190 practice of local people to collect bromeliads for sale as ornamental plants (Cassiano-Lima &
191 Cascon 2008) is another major challenge for the conservation of *A. maranguapensis*, since the
192 frogs use these plants as a breeding site. These factors indicate the importance of conserving of
193 the natural vegetation of the Serra de Maranguape, the area of endemism of *A.*
194 *maranguapensis*.

195 **Acknowledgements**

196 We thank the following persons and entities: The Biodiversitas Foundation, the CEPAN
197 Foundation, the Critical Ecosystem Partnership Fund and the Municipality of Maranguape
198 (Mayor M. Silva) for financial support; F. Monteiro and V. dos Santos Gomes for the
199 identifying the bromeliads; A.C.O. de Queiroz Carnaval, J.C. Lima Melo, T.A. de Sousa, J. E.

200 Vasconcelos Carlos and E. V. Nascimento (ONG Serras Verdes) for helping in some of the
 201 field trips; the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources
 202 (IBAMA) and the Chico Mendes Institute for Conservation of Biodiversity (ICMBio) for
 203 granting collecting permits (Processes In. 2007.000965/04-10, In. 10893-1 and In. 22909-1); J.
 204 Kilder for his hospitality and help during field work; C.F. B. Haddad and C. P. de Almeida
 205 Prado for theoretical explanations; and T. Gomes dos Santos, M. Solé and J. F. de Araujo for
 206 manuscript review and suggestions. D. C. Lima is grateful to the Fundação Cearense de Apoio
 207 ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) for the doctor's degree fellowship
 208 (proc. BDS-0017-00003.01.18/10), and S. Z. Cechin is grate to CNPq for the research
 209 fellowship (proc. no 303359/2009-9).

210

References

- 211 Altig, R., Johnston, G.F. (1989): Guilds of anuran larvae: relationships among developmental
 212 modes, morphologies and habits. *Herpetological Monographs* 2: 81-109.
- 213 Andrade, E.V.E., Albertim, K.M., Moura, G.J.B. (2009): Primeiro registro do uso de
 214 Bromeliaceae por *Elachistocleis ovalis* (Schneider, 1799) (Anura: Microhylidae). *Biota*
 215 *Neotropica* 9: 257-259.
- 216 Ayarzagüena, J., Diego-Aransay, A. (1985): Primer reporte para Venezuela de *Adelophryne*
 217 *gutturosa* (Leptodactylidae) y datos sobre su biología. *Memoria de la Sociedad de Ciencias*
 218 *Naturales La Salle* 45: 159-160.
- 219 Borges-Nojosa, D.M. (2008): *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges e Cascon,
 220 1994. pp. 308-309. In: Machado, A.B.M., Drummond, G.M., Paglia, A.P. (eds), *Livro*
 221 *Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*, Ministério do Meio
 222 *Ambiente/Fundação Biodiversitas*.
- 223 Cassiano-Lima, D., Cascon, P. (2008): Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na
 224 APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. *Rede - Revista Eletrônica do PRODEMA*
 225 2: Art. # 4, 64-79.

- 226 Duellman, W.E., Trueb, L. (1994): *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, New York.
- 227 Elinson, R.P., Del Pino, E.M., Townsend, D.S., Cuesta, F.C., Eichhorn, P. (1990): A practical
228 guide to the developmental biology of terrestrial-breeding frogs. *The Biological Bulletin*
229 179:163-177.
- 230 Elinson, R.P., Walton, Z., Nath, K. (2008): *Raldh* expression in embryos of the direct
231 developing frog *Eleutherodactylus coqui* and the conserved retinoic acid requirement for
232 forelimb initiation. *Journal of Experimental Zoology* 310B: 588-595.
- 233 Eterovick, P.C., Carnaval, A.C.Q., Borges-Nojosa, D.M., Silvano, D.L., Segalla, M.V., Sazima,
234 I. (2005): Amphibian declines in Brazil: an overview. *Biotropica* 37: 166-179.
- 235 Haddad, C.F.B., Prado, C.P.A. (2005): Reproductive modes in frogs and their unexpected
236 diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55: 207-217.
- 237 Hedges, S.B., Duellman, W.E., Heinicke, M.P. (2008): New World direct-developing frogs
238 (Anura: Terrarana): Molecular phylogeny, classification, biogeography, and conservation.
239 *Zootaxa* 1737: 1-182.
- 240 Heinicke, M.P., Duellman, W.E., Trueb, L., Means, D.B., MacCulloch, R.D., Hedges, S.B.
241 (2009): A new frog family (Anura: Terrarana) from South America and an expanded direct
242 developing clade revealed by molecular phylogeny. *Zootaxa* 2211: 1-35.
- 243 Hoogmoed, M.S., Borges, D.M., Cascon, P. (1994): Three new species of the genus
244 *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on
245 the species of the genus. *Zoologische Mededelingen* 68: 271-300.
- 246 Hoogmoed, M.S., Lescure, J. (1984): A new genus and two species of minute leptodactylid
247 frogs from northern South America, with comments upon *Phyzelaphryne* (Amphibia: Anura:
248 Leptodactylidae). *Zoologische Mededelingen* 58: 85-115.
- 249 Kopp, K., Signorelli, L., Bastos, R.P. (2010): Distribuição temporal e diversidade de modos
250 reprodutivos de anfíbios anuros no Parque Nacional das Emas e entorno, estado de Goiás,
251 Brasil. *Iheringia (Sér. Zool.)* 100:192-200.

- 252 Laessle, A.M. (1961): A micro-limnological study of Jamaican bromeliads. *Ecology* 42: 499-
253 517.
- 254 Loebmann, D., Haddad, C.F.B. (2010): Amphibians and reptiles from a highly diverse area of
255 the Caatinga domain: Composition and conservation implications. *Biota Neotropica* 10: 227-
256 256.
- 257 Lopez, L.C.S., Rodrigues, P.J.F.P., Rios, R.I. (1999): Frogs and snakes as phoretic dispersal
258 agents of bromeliad ostracods (Limnocytheridae: *Elpidium*) and annelids (Naididae: *Dero*).
259 *Biotropica* 31: 705-708.
- 260 MacCulloch, R.D., Lathrop, A., Kok, P.J.R., Minter, L.R., Khan, S.Z., Barrio-Amorós, C.L.
261 (2008): A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from Guyana, with
262 additional data on *A. gutturosa*. *Zootaxa* 1884: 36-50.
- 263 Mestre, L.A.M., Aranha, J.M.R., Esper, M.L. (2001): Macroinvertebrate fauna associated to the
264 bromeliad *Vriesea inflata* of the Atlantic Forest (Paraná State, Southern Brazil). *Brazilian*
265 *Archives of Biology and Technology* 44: 89-94.
- 266 Peixoto, O.L. (1995): Associação de anuros a bromeliáceas na Mata Atlântica. *Revista da*
267 *Universidade Rural* 17: 75-83.
- 268 Pombal-Júnior, J.P. (1999): Oviposição e desenvolvimento de *Brachycephalus ephippium*
269 (Spix) (Anura, Brachycephalidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 16: 967-976.
- 270 Pombal-Júnior, J.P., Haddad, C.F.B. (2007): Estratégias e modos reprodutivos em anuros. pp.
271 101-116. In: Nascimento, L. B., Oliveira, M.E. (eds), *Herpetologia no Brasil II*. Sociedade
272 Brasileira de Herpetologia.
- 273 Reilly, S.M., Jorgensen, M.E. (2011): The evolution of jumping in frogs: morphological
274 evidence for the basal anuran locomotor condition and the radiation of locomotor systems in
275 crown group anurans. *Journal of Morphology* 272: 149-168.

- 276 Reynolds, R., Rodrigues, M.T., Mijares, A., MacCulloch, R. (2004): *Adelophryne guttuosa*.
277 Red List of Threatened Species. <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56301/0>>
278 accesse dat 2010.08.03.
- 279 Rodriguez, J.M.M., Silva, E.V. (2002): A classificação das paisagen sa partir de uma visão
280 geossistêmica. Mercator 1: 95-112.
- 281 Sabo, M.C., Nath, K., Elinson, R.P. (2009): *Lbx1* expression and frog limb development.
282 Development Genes and Evolution 219: 609-612.
- 283 Salthe, S.N., Duellman, W.L. (1973): Quantitative constraints associated with reproductive
284 mode in anurans. pp. 229-249. In: Vial, J.L. (ed.), Evolutionary biology of the anurans:
285 Contemporary research on major problems. University of Missouri Press.
- 286 Schineider, J.A.P., Teixeira, R.L. (2001): Relacionamento entre anfíbios anuros e bromélias da
287 restinga de Regência, Linhares, Espírito Santo, Brasil. Iheringia (Série Zoologia) 91: 41-48.
- 288 Silvano, D., Borges-Nojosa, D. (2004 a): *Adelophryne baturitensis*. Red List of Threatened
289 Species, <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56300/0>> accessed at 2010.08.03.
- 290 Silvano, D., Borges-Nojosa, D. (2004b): *Adelophryne maranguapensis*. Red List of Threatened
291 Species, <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56302/0>> accessed at 2010.08.03.
- 292 Thibaudeau, G., Altig, R. (1999): Endotrophic anurans. pp. 170-188. In: McDiarmid, R.W.,
293 Altig, A. (eds.) Tadpoles. The biology of anuran larvae. University of Chicago Press.
- 294 Wells, K.D. (2007): The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago Press,
295 Chicago.
- 296
- 297
- 298
- 299
- 300
- 301

Table 1. General data for clutches of *A. maranguapensis*.

Clutch	# of eggs	Diameter ^x	Date ⁺	Distance [*]	Bromeliad species	Height [#]
1	5	n.d.	28.II.1998	2.0	<i>Guzmania lingulata</i> (Linnaeus) Mez	1.5
2	3	n.d.	12.I.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	0.5
3	5	n.d.	26.IV.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.8
4	6	n.d.	26.IV.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.8
5	3	5.18	21.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.4
6	6	5.18	21.IV.2010	10.0	<i>Vriesea ccarensis</i> L. B. Smith	1.6
7	7	4.46	21.IV.2010	n.d.	<i>G. lingulata</i>	1.6
8	8	5.74	21.IV.2010	8.0	<i>Aechmea pernambucoensis</i> J. A. Siqueira & Leme	4.4
9	5	5.98	21.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	2.5
10	6	4.52	22.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.5
11	6	4.51	22.IV.2010	2.0	<i>Guzmania sanguinea</i> (André) André ex Mez	1.3
12	3	5.70	22.IV.2010	3.0	<i>G. sanguinea</i>	1.3
Mean	5.5	5.15		3.36		1.76

Legend: (x) Mean egg diameter (mm); (+) Eggs finding date; (*) Distance from nests to the water accumulated in bromeliads (cm); (#) Bromeliad height above the ground (m); (n.d.) no data.



Figure 1. A- Clutch (No. 6) of *Adelophryne maranguapensis* on *Vriesea cearensis* leaves; B- Translucent eggs of *A. maranguapensis* (clutch No.8), with visible embryos; C- Newly hatched froglet (right) (SVL 4,6mm), and froglet about to hatch (left) (clutch No. 9).

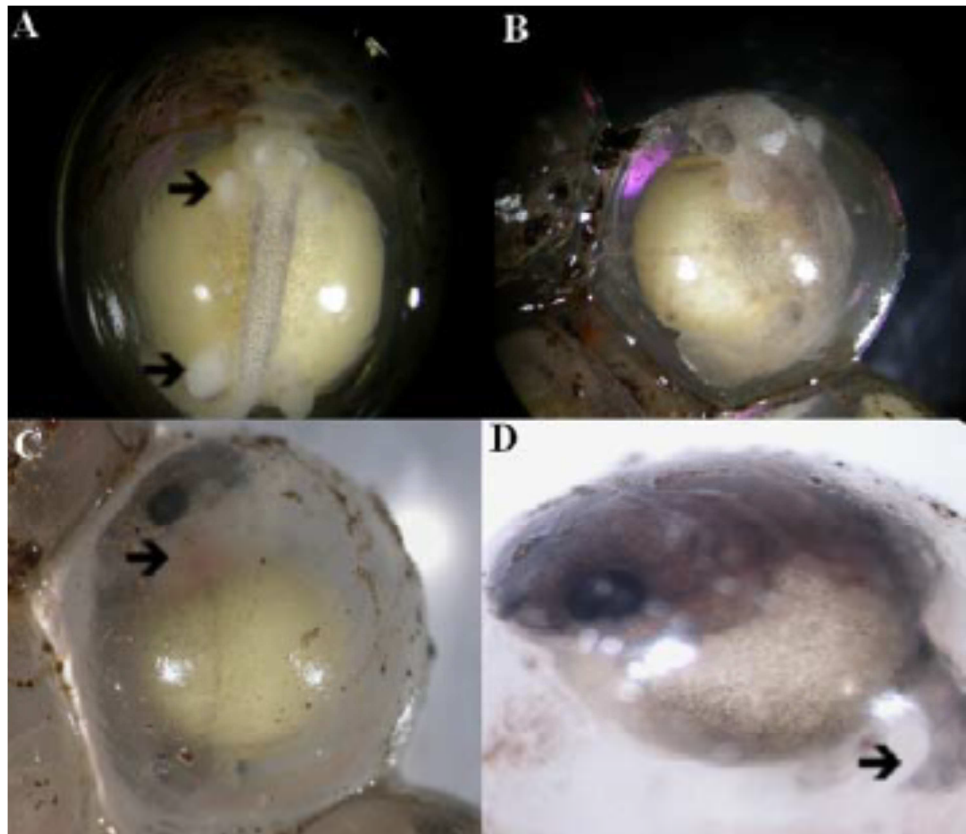


Figure 2. *Adelophryne maranguapensis*: **A-** Eggs and embryos with discrete dark dorsal spots, and stumps of the forelimbs and hindlimbs (arrows); **B-** Embryo with spots on the cephalic region and eyes easily discernible; **C-** Embryo with a noticeable heart (arrow); **D-** Embryo with developed arms and legs (arrow).

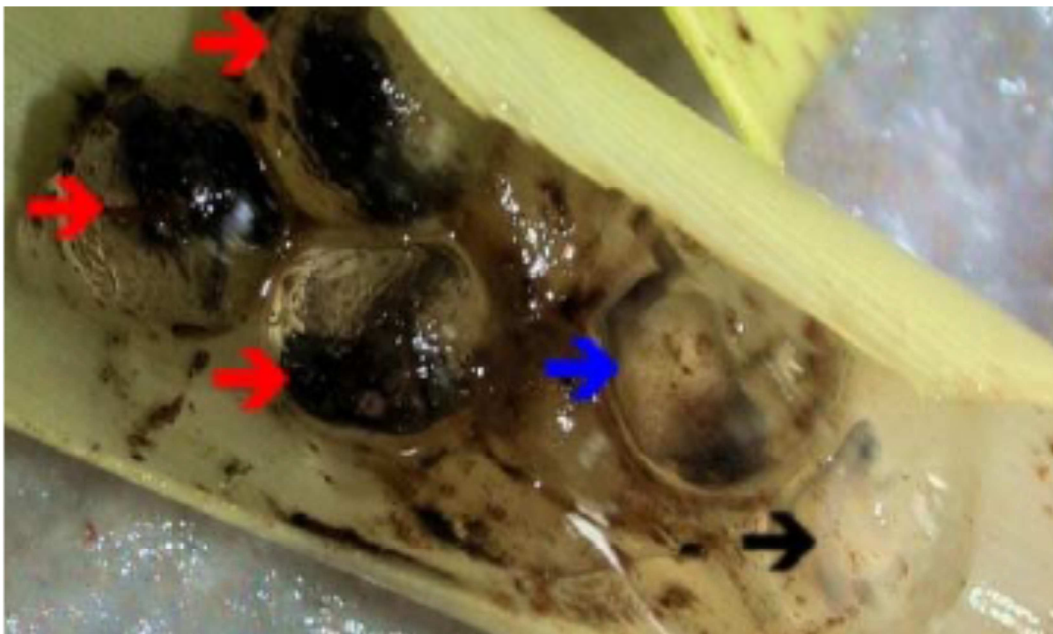


Figure 3. Clutch 9 showing *A. maranguapensis* embryos in three distinct developmental stages: Three froglets some minutes before hatching (red arrows); Embryo with distinct legs and arms but still with the yolk (blue arrow); Younger embryo with color pattern of early stages (black arrow).

**CAPÍTULO 4 – Um novo modo reprodutivo para anuros, em espécie
endêmica e ameaçada do Bioma Caatinga (*Adelophryne
maranguapensis*, Anura, Eleutherodactylidae)**

Um novo modo reprodutivo para anuros, em espécie endêmica e ameaçada do Bioma Caatinga (*Adelophryne maranguapensis*, Anura, Eleutherodactylidae)

Daniel Cassiano Lima^{1,2*}, Ana Valesca Pinto Lima³, Márcia Emanuelle Madruga Fortunato⁴, Diva Maria Borges-Nojosa⁵, Sonia Zanini Cechin¹

¹ Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Animal, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, 1000. Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, CEP 97.105-900.

² Faculdade de Educação de Itapipoca, Universidade Estadual do Ceará. Av. Monsenhor Tabosa, s/n. Itapipoca, Ceará, Brasil. CEP 62.500-000.

³ Programa de Pós-graduação em Ciências Morfológicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Carlos Chagas Filho, 737. Cidade Universitária, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. CEP 21.941-902.

⁴ Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 906, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP 60.455-760.

⁵ Núcleo Regional de Ofiologia, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 905, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP 60.455-760.

* Autor para correspondência: dancassiano@gmail.com

Resumo

A região neotropical encerra a maior quantidade de espécies de anfíbios, e muitas delas têm sua biologia completamente desconhecida. Este estudo aborda a biologia reprodutiva de *Adelophryne maranguapensis*, espécie endêmica da Serra de Maranguape, um dos brejos-de-altitude do Domínio das Caatingas, ameaçada de extinção e pouco estudada. Nossos objetivos foram verificar se há preferências quanto à escolha do sítio de oviposição, e descrever detalhadamente o comportamento reprodutivo da espécie. O estudo foi realizado entre os meses de abril de 2010 e 2012. Nossos resultados sugerem que embora bromelígena, a espécie não é seletiva quanto à bromélia onde faz oviposição. Além disso, propomos um novo modo reprodutivo para Anura, incluindo a ocorrência de cuidado parental, pela primeira vez registrado para o gênero. O novo modo reprodutivo caracteriza-se pela (1) deposição de ovos bromelígenos; (2) com desenvolvimento direto; (3) não-aquáticos; (4) cuidado parental com atendimento dos ovos pela fêmea. Este estudo evidencia a necessidade mais estudos de história natural de espécies de anuros neotropicais, especialmente aquelas com desenvolvimento direto.

Palavras-chave: anuros neotropicais, desenvolvimento direto, bromelígena, perifitotelmo, cuidado parental

Abstract

The neotropical region has the largest number of amphibian species, and many of them have their biology completely unknown. This study focuses the reproductive biology of *Adelophryne maranguapensis* an endangered and poor studied species, endemic to Maranguape mountain, an altitudinal swamp from Caatinga Domain. Our objectives were verify if there is some preference on the choice of oviposition site, and describe in the reproductive behavior of the species. The study was conducted between of April 2010 and April 2012. Our results suggest that although bromeligen, the species is not selective about bromeliad species for oviposition. We also propose a new reproductive mode for Anura, and relate for first time the occurrence of parental care for this first genus. The new reproductive mode is characterized by (1) deposition bromelígenos eggs , (2) with direct development, (3) non-aquatic , (4) parental care of eggs by the female attention. This study shows the need for further studies on the natural history of neotropical frogs, especially those with direct development.

Keywords: neotropical anurans, direct development, bromeligen, periphytotelm, parental care.

Introdução

O conceito de modos reprodutivos em anuros envolve dados de história natural relativos ao sítio de oviposição, características do ovo, desova e desenvolvimento, e cuidado parental, caso exista (DUELLMAN; TRUEB, 1986; POMBAL JR; HADDAD, 2007). Haddad & Prado (2005) compilaram pelo menos 39 modos reprodutivos para anuros, e consideraram como basais aqueles que envolvem oviposição aquática, fecundação externa, girinos exotróficos e ausência de cuidado parental (veja também WELLS, 2007; VITT & CALDWELL, 2009).

Especializações reprodutivas podem representar modos reprodutivos derivados em diversas linhagens filogenéticas, embora não necessariamente estejam presentes em grupos filogeneticamente avançados (POMBAL JR; HADDAD, 2007). Mais recentemente surgiram evidências de que a transição entre modos reprodutivos basais e derivados pode ter ocorrido repentinamente, e a rápida transição entre ovos aquáticos e com desenvolvimento direto, era totalmente inesperada (GOMEZ-MESTRE; PYRON; WIENS, 2012). Tais especializações, na maioria dos casos estão relacionadas aos ambientes florestais tropicais, e provavelmente surgiram como resposta à pressão da predação (MAGNUSSON; HERO, 1991; PRADO; UETANABARO; HADDAD, 2002), ou à topografia dos locais que, por apresentarem fortes inclinações, impedem a formação de grandes reservatórios hídricos naturais. Esta característica é particularmente dominante em boa parte da Floresta Atlântica, tornando desfavorável a reprodução de muitas espécies de anuros, sobretudo as que compartilham dos modos reprodutivos basais (HADDAD & PRADO, 2005).

No desenvolvimento direto há a tendência de depositar ovos relativamente grandes e em pequena quantidade (THIBAUDEAU; ALTIG, 1999; GOMEZ-MESTRE; PYRON; WIENS, 2012), sendo esta a estratégia mais comum entre as espécies com larvas endotróficas (WELLS, 2007), e que ocorre nas famílias Brachycephalidae, Ceuthomantidae, Craugastoridae, Eleutherodactylidae e Strabomantidae Terrarana (HEINICKE et al., 2009).

Para gênero *Adelophryne* Hoogmoed & Lescure, 1984, largamente distribuído entre a Amazônia e a Floresta Atlântica, a história natural das espécies é praticamente desconhecida, com exceção de suposições quanto à ocorrência de desenvolvimento direto, confirmada apenas recentemente para *A. maranguapensis*, sendo também relatado o uso de bromélias como sítio reprodutivo (CASSIANO-LIMA et al., 2011). Bromélias e outras estruturas vegetais acumuladoras de água, podem ser usadas por anuros como sítios reprodutivos, pois suas águas apresentam menores incidências de competição e predação de ovos e larvas (LEHTINEN; LANNON; WASSERSUG, 2004). Estas estruturas constituem ambientes limnológicos, conhecidos como

fitotelmos, e estabelecem complexas relações ecológicas (RICHARDSON, 1999; KITCHING, 2000; MESTRE et al., 2001). Dos 39 modos reprodutivos conhecidos para anuros (cf. HADDAD & PRADO, 2005), apenas cinco (6, 8, 14, 26 e 36) estão associados a fitotelmos, porém sem referência direta a espécies com desenvolvimento direto na água ou ao microclima gerado no fitotelmo.

A aparente preferência de *Adelophryne maranguapensis* por bromélias como sítio reprodutivo (LIMA et al, 2011) levou-nos a investigar a biologia reprodutiva dessa espécie. Neste estudo fornecemos dados sobre o período reprodutivo, escolha de bromélias como sítio de oviposição, além do relato de cuidado parental. Estes dados são inéditos e poderão nortear futuras pesquisas que envolvam a história natural das demais espécies de *Adelophryne*.

Material e Métodos

Área de estudo

A Serra de Maranguape é um maciço residual de natureza granítica que apresenta dois tipos predominantes de vegetação: Arboreto Climático Estacional Semicaducifólio (matas secas) e Arboreto Climático Perenifólio (matas úmidas) (FERNANDES, 1998). O regime climático da serra possui duas estações distintas, uma seca e outra úmida, dividida por um período menos chuvoso (setembro-novembro) e um com chuvas fortes que normalmente iniciam em dezembro e tem seu auge entre março e maio. Devido à altitude máxima (920m) e proximidade do Oceano Atlântico, a serra apresenta médias chuvosas anuais acima de 1300 mm e temperaturas médias mensais que variam entre 23 e 26°C (CEARÀ, 2002), condições climáticas diferentes das que ocorrem na maior parte do nordeste brasileiro. No domínio da Caatingas, a Serra de Maranguape apresenta alta prioridade para a conservação de anfíbios (CAMARDELLI; NAPOLI, 2012).

Registro das desovas

As atividades de campo ocorreram entre os meses de abril de 2010 e abril de 2012, quando foram realizadas expedições mensais que duraram entre dois e quatro dias. O trabalho ocorreu nos turnos diurno e noturno, sendo que as buscas diurnas ocorriam entre 6:00 e 12:00, e as noturnas entre 19:00 e 21:00. Em todas elas, a busca por desovas foi feita em bromélias e outros ambientes como serapilheira, cavidades em troncos, buracos e musgos, que poderiam ser utilizados para oviposição. Desovas encontradas tiveram seus ovos medidos com paquímetro digital, e foram anotadas a quantidade de ovos, local e altura em que originalmente estavam.

Por duas ocasiões foi verificado cuidado parental. Bromélias onde este comportamento foi observado foram destacadas e levadas à base de campo, juntamente com as desovas e o adulto, e permaneceram sob observação direta. Posteriormente os ovos foram levados ao laboratório, imersos em cisteína 3% por 2 minutos (cf. RICHARDSON et al, 1998; HANKEN et al, 2001), e preparados de acordo com as técnicas para microscopia eletrônica de varredura.

Disponibilidade de bromélias

Para verificar a disponibilidade de bromélias nas áreas onde foram encontradas as desovas, foram realizados em 29 de outubro de 2012 dois transectos nas proximidades do Riacho Beija-Flor (03°53'48,2"S; 38°43'19,3"W; 878 m de altitude), e outro transecto no Pico da Rajada (03°53'40,6"S; 38°43'21,2"W; 920 m de altitude), seguindo as orientações de Brower; Zar (1984) e Cullen Jr; Rudran (2004). Cada transecto tinha 50 m de comprimento, e foram contadas todas as bromélias localizadas até 4 m de altura, e no máximo 1 m para ambos os lados. A quantidade e extensão dos transectos, ocorreu devido à forte inclinação e disponibilidade de cada terreno.

Dados meteorológicos

Os dados referentes à umidade e temperatura máxima e mínima usados neste trabalho foram obtidos com um termohigrômetro de bulbo úmido, localizado na base de campo (03°54'11,3"S; 38°43'12,6"W; 719 m de altitude), e as precipitações mensais obtidas no posto Maranguape, disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME).

Resultados

Período reprodutivo

A reprodução de *Adelophryne maranguapensis* é prolongada (cf. WELLS, 2007), mas concentrada no período chuvoso (janeiro-junho) (Figura 1). Nesse período a emissão do canto de anúncio foi intensa por parte dos machos, podendo serem ouvidos os sons de mais de 100 indivíduos em cada ponto do percurso de 2,5 km que separa a linha da serra (03°54'18,1"S; 38°43'07,1"W; 727 m) do Pico da Rajada. Em janeiro de 2011 foram ouvidos três machos em uma área (03°54'07,6"S; 038°42'50,2"W) com 473 m de altitude, sendo este o registro da área de ocorrência mais baixa para *A. maranguapensis*.

As vocalizações ocorreram ininterruptamente durante as horas claras do dia (5:00-17:30 h), diminuindo gradativamente até o escurecimento total. No período noturno, apenas na estação chuvosa, era possível ouvir entre um e três animais em plena atividade de vocalização, e nos meses

com precipitações abaixo de 100 mm, a quantidade de machos vocalizando não ultrapassou dez indivíduos agrupados em pontos distintos e espaçados entre 100 e 300 m.

As desovas de *Adelophryne maranguapensis* foram registradas somente no período chuvoso, quando as chuvas mensais estiveram acima de 150 mm (figura 1). Neste período (entre janeiro a maio de cada ano), também foram observadas as menores diferenças entre as umidades relativas do ar máxima e mínima (especialmente em abril de 2011 e março e abril de 2012), uma consequência direta das chuvas que foram mais intensas nos meses anteriores. Esta pequena variação na umidade durante o dia é provavelmente o principal fator para a sobrevivência das desovas. Excepcionalmente, em janeiro de 2012 foram encontradas três desovas de *A. maranguapensis*, quando as chuvas foram inferiores a 50 mm, e a umidade do ar variou entre 45 e 94%, porém, todos os ovos estavam mortos e tomados por fungos. Embora as primeiras chuvas anuais já tivessem ocorrido, é provável que as condições climáticas, sobretudo a grande variação diária na umidade relativa do ar foram desfavoráveis ao desenvolvimento dos embriões. Em fevereiro e março de 2012 não foram feitas saídas de campo, e não pudemos confirmar a presença de desovas. Porém, as altas precipitações chuvosas, e encontro de desovas e animais vocalizando nos meses anterior (janeiro) e posterior (abril) sugerem a ocorrência de ovos nas bromélias durante este período.

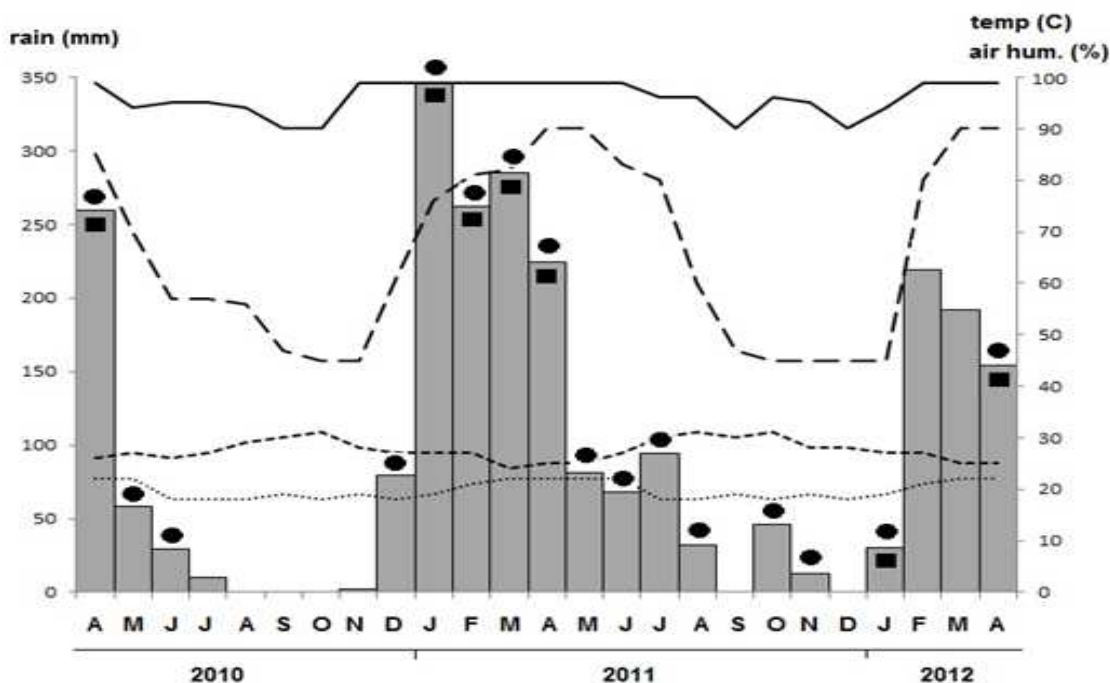


Figura 1: Parâmetros climáticos na serra de Maranguape entre os meses de abril de 2010 e abril de 2012. Precipitações (colunas); umidade relativa do ar máxima (linha), umidade relativa do ar mínima (traços longos), temperatura máxima (traços curtos), pontos (temperatura mínima), círculos (ocorrência de vocalizações), quadrados (presença de desovas).

A bromélia com maior frequência de desovas foi *Guzmania lingulata* (85,4% dos registros; Tabela 1). No Pico da Rajada, 75% (três desovas) dos registros ocorreram em *Vriesea cearensis*, e somente um registro (25%) para *G. lingulata* (Tabela 1). O predomínio de *G. lingulata* no riacho Beija-Flor foi claramente perceptível, com esta espécie correspondendo a 98,1% das espécies de bromélias no local. As demais espécies registradas (1,9%) no Riacho Beija-Flor corresponderam a dois indivíduos das espécies *Guzmania monostachia* e *Racinia spiculosa*. Já no Pico da Rajada, *G. lingulata* correspondeu a 7,1% das bromélias, sendo largamente superada pela grande quantidade de *Vriesea cearensis* (90,5%). Estes dados sugerem que *Adelophryne maranguapensis* não seja seletivo quanto à espécie utilizada como sítio de oviposição, fazendo uso das bromélias mais abundantes em cada local.

Tabela 1: Dados gerais sobre as desovas de *Adelophryne maranguapensis* para cada local, com a quantidade de desovas encontrada em cada espécie de bromélia (N), número de ovos de cada desova, e altura da bromélia.

Bromélia (espécie)	N	Nº de ovos ($\bar{x} \pm sd$)	Altura da bromélia ($\bar{x} \pm sd$)
Riacho Beija-Flor (03° 53'44,3" S; 38° 43'20,8" W; 890 m alt.)			
<i>Guzmania lingulata</i>	33	3-8 (4,82±1,4)	0,5-2,5 (1,5±0,5)
<i>G. sanguínea</i>	02	3-6 (4,5±2,12)	1,3 (ambas)
<i>Aechmea maranguapensis</i>	01	8	4,4
Pico da Rajada (03° 53'44,2" S; 38° 43'20,8" W; 920m alt.)			
<i>Vriesea cearensis</i>	03	4-6 (4,67±1,15)	1,5-1,6 (1,56±0,05)
<i>Guzmania lingulata</i>	01	5	0,3
Mirante (03°53'57,1" S; 38°43'18,0" W; 810 m.)			
<i>Guzmania lingulata</i>	01	6	1,9

Cuidado parental

Este comportamento foi registrado em duas ocasiões, quando as fêmeas de *Adelophryne maranguapensis* estavam sobre suas desovas recentes. O primeiro registro ocorreu em 25 de janeiro de 2011 às 8:00 h, no Pico da Rajada, quando encontramos uma fêmea estava assentada sobre quatro ovos localizados nas folhas murchas mais externas de uma *Vriesea cearensis* a 1,6 m de

altura. A fêmea permaneceu sobre os ovos, praticamente imóvel, permitindo inclusive o manuseio da folha e aproximação dos ovos. Com a aproximação para o registro fotográfico, o animal locomoveu-se lentamente procurando deixar todos os ovos sob si (Figura 2A). Um dos ovos era menor que os demais, e não apresentava a camada gel aparente, sendo suas dimensões restritas às da gema (aproximadamente 2 mm de diâmetro), enquanto os demais eram morfologicamente semelhantes ao padrão de ovos já descrito para a espécie (CASSIANO-LIMA et al, 2011). A bromélia juntamente com os ovos e a fêmea foram transportados para a base de campo, onde a fêmea continuou a exercer o mesmo comportamento por pelo menos, mais uma hora, antes de abandonar os ovos. Nessa ocasião, já não havia diferenças notáveis entre os ovos, e todos exibiam a camada de gel desenvolvida. Através de microscopia eletrônica de varredura constatou-se que todos os ovos estavam fertilizados (Figura 3).

O segundo registro ocorreu em 26 de março de 2011, também pela manhã, por volta das 10:00 h, na mata ao redor do Riacho Beija-Flor. Neste episódio a fêmea (Figura 2B) comportou-se de modo semelhante ao narrado anteriormente. A desova estava em um exemplar de *Guzmania lingulata* a 1,5m de altura, e era composta por seis ovos, sendo que dois deles tinham as dimensões reduzidas, semelhantes à situação narrada anteriormente. De maneira semelhante, após aproximadamente uma hora, a camada gel já estava constituída, e a fêmea deixou o local.



Figura 2: Fêmeas de *Adelophryne maranguapensis* em atividade de cuidado parental.

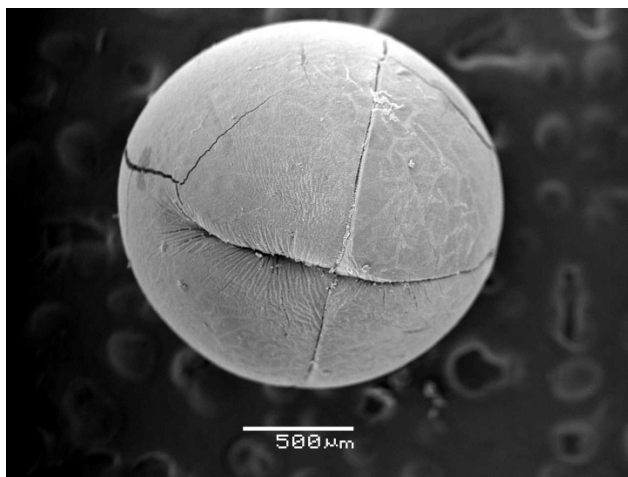


Figura 3: Ovo de *Adelophryne maranguapensis*, de desovas que receberam cuidado parental, apresentando a segunda clivagem.

Discussão

Sítio e período reprodutivo

Fitotelmos podem ser definidos como pequenos corpos d'água formados em folhas, flores ou cavidades em plantas (MAGUIRRE JR, 1971; FRANK; LOUNIBOS, 1987). Este ambiente diferenciado pode ser utilizado como recurso temporário ou permanente por diversos animais, possibilitando a formação de complexas cadeias tróficas (WALKER et al, 1991, 1995; KITCHING, 2000; WALDEMAR; IRGANG, 2003; OLIVEIRA, 2004). Bromélias estão entre os principais formadores de fitotelmos, nos quais tem sido amplamente relatada a ocorrência de anfíbios (NEILL, 1951; LANNOO et al, 1987; SCHINEIDER; TEIXEIRA, 2001). Os estudos que envolvem a associação entre anfíbios e bromélias no Brasil ainda são incipientes, e em muitas regiões é necessária a elaboração de inventários tanto das espécies de anfíbios como de bromélias.

As desovas de *Adelophryne maranguapensis* foram encontradas somente nas bromélias *Guzmania lingulata* e *Vriesea cearensis*. Na Serra de Maranguape, estas espécies têm distribuição restrita, ocorrendo apenas nas partes úmidas, e *G. lingulata* ocorre na vertente úmida entre 638 e 897 m de altitude, enquanto *V. cearensis* apenas na cimeira da serra, sob a proteção arbórea de uma espécie de *Clusia* sp., conhecida no local como mangue-de-serra (MONTEIRO, 2005).

Os resultados indicaram que a prevalência de desovas em *G. lingulata* (98,1%) no riacho Beija-Flor, e em *V. cearensis* (75%) no Pico da Rajada, não ocorre por seleção específica, mas sugerem que *A. maranguapensis* utiliza as espécies de bromélias mais abundantes em cada local. Em anuros, a seleção de ambientes para oviposição aumenta a possibilidade de sucesso nas atividades relacionadas à reprodução, alimentação, proteção contra predadores e inconstâncias climáticas

(AFONSO; ETEROVICK, 2007), e o ambiente bromelícola propicia todas estas vantagens (LEHTINEN; LANNOO; WASSERZUG, 2004; LIN; LEHTINEN; KAM., 2008). A colocação de ovos com desenvolvimento direto em bromélias por *A. maranguapensis*, talvez seja o fator primordial para o pleno estabelecimento desta espécie na serra, pois evita competição direta com outros anfíbios, já que é a única espécie bromelígena local (D. C. Lima, dados não publicados).

Embora *Adelophryne maranguapensis* não utilize a água acumulada nas bromélias para oviposição, há uma estrita relação da reprodução da espécie com o período chuvoso, como ocorre com os demais anfíbios em áreas secas do nordeste brasileiro (AICHINGER, 1987; ARZABE, 1999; XAVIER; NAPOLI, 2011). Os resultados apontaram que as oviposições ocorrem em períodos com temperatura e umidade do ar menos oscilantes (temp. máx 27-28° C, u.r. mínima acima de 70%). Com exceção de janeiro de 2012, as desovas ocorreram apenas em meses cuja umidade mínima do ar superou 70%, mesmo em períodos com chuvas menos intensas (p. ex. em abril de 2012; Figura 1), sugerindo que a elevação da umidade relativa mínima do ar seja o fator que favorece a reprodução da espécie. O ocorrência de modos reprodutivos especializados está diretamente relacionada à umidade do ar (SILVA et al., 2012), e a instabilidade climática local resultante de ação antrópica constituem riscos principalmente para anfíbios com posturas arbóreas (TOUCHON; WARKETIN, 2010). Na Serra de Maranguape, atividades como a substituição de florestas por bananais e coleta de bromélias e outras epífitas (LIMA & CASCON, 2008) trazem impactos diretos sobre a população de *A. maranguapensis*, ao submeterem as áreas desflorestadas à perda de umidade, ativação de fenômenos morfogênicos, e supressão dos locais de oviposição do anfíbio.

As vocalizações dos machos foram ouvidas em praticamente todos os meses em que ocorreram as maiores chuvas, com exceção de julho e novembro de 2010, que registraram poucas precipitações (10,4 e 2,2 ml, respectivamente). Ainda que tenham sido reportadas vocalizações durante os meses menos chuvosos, os coros com centenas de machos por todo o percurso, foram registrados apenas durante as épocas chuvosas, confirmando ser este o melhor período para a reprodução de *A. maranguapensis*, ainda que a espécie não necessite diretamente da água para a reprodução.

Um novo modo reprodutivo para os anuros

Anuros apresentam uma das maiores diversidades de modos reprodutivos entre os vertebrados, sendo superados apenas pelos peixes (DUELLMAN; TRUEB, 1986; VAZZOLER, 1996). O conceito de modos reprodutivos em anfíbios envolve a combinação de eventos relacionados à oviposição, sítio de desova, desenvolvimento embrionário, características do ovo e

postura, duração do desenvolvimento, estágio e tamanho no momento da eclosão, e cuidado parental, caso exista (SALTHER, 1969; SALTHER; DUELLMAN, 1973). Atualmente são conhecidos 39 modos reprodutivos para anuros (HADDAD; PRADO, 2005; TOLEDO et al., 2012), e os modos considerados mais basais envolvem oviposição em ambientes aquáticos, fecundação externa, e ausência de cuidado parental (WELLS, 2007; VITT; CALDWELL, 2009; GOMEZ-MESTRE; PYRON; WIENS, 2012). Os mais especializados, envolvem a supressão de estágios aquáticos (MAGNUSSON; HERO, 1991; PRADO, UETANABARO; HADDAD, 2002).

A maioria dos trabalhos que listam os modos reprodutivos em anuros (p. ex. SALTHER & DUELLMAN, 1973; DUELLMAN; TRUEB, 1986; HADDAD; PRADO, 2005; POMBAL JR; HADDAD, 2007; WELLS, 2007) forneceram detalhes específicos sobre cada um deles. Este detalhamento, porém, é pouco evidente para espécies com ovos arbóreos e desenvolvimento direto (modo 27), provavelmente devido à dificuldade na obtenção de dados ecológicos e de história natural da maioria das espécies que apresentam desenvolvimento direto (TOWNSEND & STEWART, 1985). Em estudo anterior, Cassiano-Lima et al. (2011) sugeriram a inserção de *Adelophryne maranguapensis* no modo reprodutivo 27 (sensu HADDAD & PRADO, 2005; ovos arbóreos dos quais emergem sapinhos formados). À época foi levada em consideração a breve descrição do modo reprodutivo, e também as espécies de anuros citadas como exemplos (*Ischnocnema nasuta* e *I. venancioi*), que também utilizam as folhas de bromélias como local de oviposição (PEIXOTO, 1995). Porém, sobre o uso de bromélias por estas espécies, existem apenas referências pontuais e pouco detalhadas, que não permitiram maiores conclusões (LYNN; LUTZ, 1946; LUTZ, 1947; IZECKSOHN; ALBUQUERQUE, 1972).

O termo “arborícola” é bastante abrangente com relação à reprodução de anfíbios, podendo se referir a desovas depositadas em qualquer parte de uma planta aérea, incluindo buracos de árvores, bromélias, folhas e vegetais rasteiros como musgos (CRUMP, 2009). Seu uso sem qualquer detalhamento encobre características que podem evidenciar a existência de modos reprodutivos mais específicos. Buracos de árvores e bromélias, por exemplo, são ambientes largamente conhecidos pela capacidade de acumular água, formando os fitotelmos (LAESSLE, 1961; LOUTON; GELHAUS; BOUCHARD, 1996; RICHARDSON, 1999; KITCHING, 2000, MESTRE et al., 2001). Em anfíbios, o uso de fitotelmos tem sido amplamente investigado (LANNON et al., 1987; SCHNEIDER; TEIXEIRA, 2001; LOPEZ et al., 2002; JUNCÁ; BORGES, 2002; LEHTINEN, 2002; OLIVEIRA; NAVAS, 2004; LIN; LEHTINEN; KAM, 2008; LACERDA et al., 2009; STUCKERT et al., 2009; ANDREONE et al., 2010), e tem sido demonstrado que anuros podem se relacionar com essas plantas de forma eventual, habitual ou obrigatória (PEIXOTO, 1985). Dos 39 modos reprodutivos elencados para anuros, cinco (6, 8, 14, 26 e 36, sensu HADDAD

& PRADO, 2005) estão relacionados ao uso de fitotelmos, mas, nenhum deles está claramente ligado a espécies com desenvolvimento direto, ou relacionam a estratégia ao uso de fitotelmos.

Para *Adelophryne maranguapensis* parece evidente que a utilização do ambiente bromelícola não é apenas uma opção reprodutiva, pois a oviposição e o desenvolvimento embrionário parecem ser dependentes das condições estabelecidas pelas bromélias.

Com base nisso, propomos a inclusão de *A. maranguapensis* em um modo reprodutivo específico, derivado do modo 27 (“ovos arborícolas: dos ovos eclodem sapinhos formados”; cf. HADDAD; PRADO, 2005). Para uma melhor definição do modo reprodutivo de *A. maranguapensis*, sugerimos o uso do termo “bromelígena” (cf. PEIXOTO, 1995), por especificar e restringir o ambiente arborícola às bromélias, e propomos o uso de um termo inédito, PERIPHYTOTELMATA (gr. *peri*=ao redor), por indicar o local específico de oviposição na bromélia. Dessa forma, o modo reprodutivo de *A. maranguapensis* passaria a ser uma subdivisão da categoria de ovos arbóreos (cf. HADDAD & PRADO, 2005), mencionado da seguinte forma: “Ovos bromelígenos, perifitotelmos, com desenvolvimento direto”.

O termo “bromelígena” proposto por Peixoto (1995) para designar as espécies que utilizam obrigatoriamente as bromélias para reprodução pareceu-nos útil para ser aplicado também aos ovos depositados e desenvolvidos nas bromélias, mesmo não sendo restrito a animais com desenvolvimento direto. O termo PERIPHYTOTELMATA, proposto neste artigo, delimita o tipo de planta em associação com o anuro, indicando que ela obrigatoriamente forma um fitotelmo (cf. CRUMP, 2009), porém com ovos não aquáticos. Estes ovos retratam uma adaptação evolutiva que amplia suas chances de sobrevivência, diante de três problemas: baixa concentração de oxigênio dissolvido no fitotelmo (LEHTINEN, 2004); ocorrência de predadores e parasitas aquáticos associados a estes reservatórios (LEHTINEN, 2004; TODD, 2007; LIN; LEHTINEN; KAM, 2008); e ressecamento das desovas pela ação direta dos raios solares (POMBAL JR, 1999). Como em animais com ovos terrestres e arbóreos, a camada gel que os envolve possui compostos que impedem o ressecamento (ALTIG & MCDIARMID, 2007), é provável que esta camada possua substâncias hidrofílicas que permitam a captação de umidade do meio ambiente, sem necessariamente estar em contato direto com a água acumulada (cf. ELKAN, 1976).

Cuidado parental

Cuidado parental pode ser definido como qualquer comportamento pré ou pós-zigótico por parte dos pais, que aumente da possibilidade de sobrevivência dos descendentes (KVARNEMO, 2010). Em anfíbios, este comportamento é bastante complexo, e está associado a eventos que

envolvem ovos ou filhotes, onde atuam o macho ou a fêmea, solitariamente, ou em conjunto (MCDIARMID, 1978; DUELLMAN & TRUEB, 1986).

Devido à grande complexidade de comportamentos, não há consenso quanto à sua quantidade, e os trabalhos que buscaram listá-los identificaram até 12 tipos diferentes (LAMOTTE & LESCURE, 1977; MCDIARMID, 1978; WELLS, 1981, 2007; DUELLMAN; TRUEB, 1986, STEBBINS; COHEN, 1995; CRUMP, 1995). Porém, de uma maneira geral os comportamentos parentais podem ser agrupados em categorias gerais que envolvem as desovas (assistência e/ou transporte de ovos), larvas (assistência e/ou transporte de girinos), sapinhos recém-eclodidos (assistência e/ou transporte), e deglutição das larvas (cf. WELLS, 2007).

Beck (1998) negou a ocorrência de cuidado parental para as espécies do gênero *Adelophryne*, porém discordamos de suas conclusões pelas seguintes razões: 1) Toda a literatura sobre o gênero *Adelophryne* anterior ao trabalho de Beck (1998) não afirmava ou negava a ocorrência de cuidado parental (HOOGMOED; LESCURE, 1984; AYARZAGUENA; DIEGO-ARANSAY, 1985; HOOGMOED et al., 1994). 2) Duellman & Trueb (1986), informaram ser bastante comum o comportamento de cuidado parental nas espécies que possuem desenvolvimento direto que, mesmo sendo confirmado para o gênero apenas recentemente (CASSIANO-LIMA et al, 2011), era tida como bastante provável pelos trabalhos de descrição das espécies. 3) O registro de duas observações neste estudo (fig. 4), são fortes indícios de que fêmeas de *A. maranguapensis* exibiram comportamento que envolve assistência aos ovos.

A assistência aos ovos é a forma mais comum de comportamento parental entre anfíbios, sendo bastante frequente para espécies que realizam oviposição em ambientes terrestres e arborícolas (LEHTINEN, 2003), e ocorre quando um dos pais permanece junto às desovas em um local fixo por todo o período de incubação, ou por tempo limitado (CRUMP, 1995). É comum neste caso que um dos pais se posicione assentado sobre os ovos, pressionando-os com o corpo (DUELLMAN & TRUEB, 1986; CRUMP, 1995; WELLS, 2007), exatamente como registramos para *A. maranguapensis*.

Crump (1995) listou pelo menos seis funções da assistência aos ovos, das quais cinco podem ter relação direta com espécies com reprodução terrestre e desenvolvimento direto, e envolvem proteção contra predadores e patógenos, prevenção contra anomalias durante o desenvolvimento embrionário, auxílio de filhotes no momento da eclosão e hidratação.

Provavelmente o atendimento às desovas em *A. maranguapensis* está relacionado à prevenção da dessecação (cf. STEBBINS & COHEN, 1995), e supomos que este comportamento ocorre até a plena formação da camada gel em todos os ovos. Nossa conclusão é reforçada pelo fato de 39 (95,12%) desovas observadas que, em alguns casos continham embriões ainda

indiferenciados, não possuem fêmeas sobre elas ou nas proximidades. É possível que o contato da fêmea seja necessário, e ela transfira água para a cápsula do ovo por osmose, como relatado para outros Eleutherodactylidae (TAIGEN, 1981), até que todos os ovos reúnam as condições de serem mantidos pela umidade gerada no fitotelmo.

As espécies que realizam o atendimento às desovas também podem ser classificadas quanto à quantidade de tempo que desempenham o cuidado parental, sendo consideradas espécies com alto atendimento aquelas que permanecem por longos períodos junto aos ovos durante o dia, e as de baixo atendimento, as que permanecem por pouco tempo (CHENG & KAM, 2010). Nossos resultados sugerem que em *A. maranguapensis* o período do atendimento está relacionado ao grau de desenvolvimento dos ovos. A abordagem de custo-benefício corrobora o cuidado parental pela fêmea, considerando os custos para o macho ao ajudar crias de paternidade incerta, situação que não ocorre para a fêmea, pois a mesma está geneticamente relacionada à desova (ALCOCK, 2013).

Este trabalho será útil para as estratégias de conservação de *Adelophryne maranguapensis* e demonstra a necessidade de maiores investimentos em trabalhos cujo enfoque seja a história natural dos anfíbios neotropicais, sobretudo aquelas menos estudadas, e que na maioria das vezes possuem modos reprodutivos especializados.

Referências

- AFONSO, L. G.; ETEROVICK, P. C. Spatial and temporal distribution of breeding anurans in streams in southeastern Brazil. **Journal of Natural History**.41(13):949-963, 2007.
- AICHINGER, M. Annual activity patterns of anurans in a seasonal neotropical environment. **Oecologia**.71:583-592, 1987.
- ALCOCK, J. **Animal behavior**: an evolutionary approach. 10 ed., Sunderland: Sinauer Associates, 2013.
- ALTIG, R.; MCDIARMID, R. W. Morphological diversity and evolution of egg and clutch structure in amphibians. **Herpetological Monographs**, 21:1-32, 2007.
- ANDREONE, F.; ROSA, G. M.; NOEL, J.; CROTTINI, A.; VENCES, M.; RAXWORTHY, C. J. Living within fallen palm leaves: the discovery of an unknown *Blommersia* (Mantellidae: Anura)

reveals a new reproductive strategy in the amphibians of Madagascar. **Naturwissenschaften** 97:525–543, 2010.

ARZABE, C. Reproductive activity patterns of anurans in two different altitudinal sites within the Brazilian Caatinga. **Revista Brasileira de Zoologia**. 3(16):851-864, 1999.

AYARZAGUENA, J.; DIEGO-ARANSAY, A. Primer reporte para Venezuela de *Adelophryne gutturosa* (Leptodactylidae y datos sobre su biología. **Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle** 45: 159-160, 1985.

BECK, C. W. Mode of fertilization and parental care in anurans. **Animal Behavior**, 55:439–449, 1998.

BROWER, J.E.; ZAR, J.H. **Field & laboratory methods for general ecology**. 2 ed. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 1984.

CAMARDELLI, M.; NAPOLI, M. Amphibian Conservation in the Caatinga Biome and Semiarid Region of Brazil. **Herpetologica**, 68(1):31-47. 2012.

CASSIANO-LIMA, D.; BORGES-NOJOSA, D. M.; CASCON, P.; CECHIN, S. Z. The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994, (Anura, Eleutherodactylidae) an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil. **North-western Journal of Zoology**, 7 (1): 92-97, 2011.

CHENG, W. C.; KAN, Y. C. Paternal Care and Egg Survivorship in a Low Nest-Attendance Rhacophorid Frog. **Zoological Studies** 49(3): 304-310, 2010.

CRUMP, M. L. Parental care. In: HEATWOLE, H.; SULLIVAN, B. K. (ed.). **Amphibian biology**. Vol. 2 (Social behavior), New South Wales: Surrey Beatty and Sons, 1995.

CRUMP, M. L. Amphibian diversity and life history. In DODD JR, C. K. **Amphibian ecology and conservation: a handbook of technics**. Oxford University Press, London, 2009.

CULLEN-JR., L.; RUDRAN, R. Transectos lineares na estimativa de densidade de mamíferos e aves de médio e grande porte. In: Cullen-Jr., L. *et al.*, (orgs), **Métodos de estudo em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Editora da UFPR. Curitiba, 2004.

DUELLMAN, W.E., TRUEB, L. Biology of Amphibians. McGraw-Hill, New York, 1986.

ELKAN, E. Ground substance: an anuran defense against desiccation. In: LOFTS, B. (Ed.). **Physiology of Amphibia**, Vol. 3. New York, Academic Press, 1976.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza. Multigraf, 1998.

FRANK, J. H.; LOUNIBOS, L. P. Phytotelmata: swamps or islands? **Insect behavioral ecology**. 70(1): 14-20, 1987.

GOMEZ-MESTRE, I.; PYRON, R. A.; WIENS, J. J. Phylogenetics analyses reveal unexpected patterns in the evolution of reproductive modes in frogs. **Evolution**.1-14, 2012.

HADDAD, C.F.B., PRADO, C.P.A. Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. **BioScience**, 55:207-217, 2005.

HANKEN, J.; CARL, T. F.; RICHARDSON, M. K.; OLSSON, L.; SCHLOSSER, G.; OSABUTEY, C. K.; KLYMKOWSKY, M. W. Limb Development in a “Nonmodel” Vertebrate, the Direct-Developing Frog *Eleutherodactylus coqui*. **Journal of Experimental Zoology (MOL DEV EVOL)**, 291:375–388, 2001.

HOOGMOED, M.S.; LESCURE, J. A new genus and two species of minute leptodactylid frogs from northern South America, with comments upon *Phyzelaphryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae). **Zoologische Mededelingen**, 58: 85-115, 1984.

HOOGMOED, M.S., BORGES, D.M., CASCON, P. Three new species of the genus *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on the species of the genus. **Zoologische Mededelingen**, 68: 271-300, 1994.

IZECKSOHN, E.; ALBUQUERQUE, S. T. Algumas observações sobre o desenvolvimento de *Eleutherodactylus venancioi* B. Lutz (Amphibia, Anura). **Arquivos da Universidade Federal Rural**, 2(1):13-15, 1972.

JUNCÁ, F. A.; BORGES, C. L. S. Fauna associada a bromélias terrícolas da Serra da Jibóia, Bahia. **Sitientibus**, 2(1/2): 73-81, 2002.

KITCHING, R. L. **Food webs and container habitats**: The natural history and ecology of phytotelmata. Cambridge: University Press, 2000.

KVARNEMO, C. Parental care. In: WESTNEAT, D. F.; FOX, C. W. (Ed.). **Evolutionary behavioral ecology**. New York: Oxford, 2010.

LACERDA, J. V. A.; ASSIS, B.; SANTANA, D. J.; FEIO, R. N. Anurans in bromeliads, Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, state of Minas Gerais, southeastern Brazil. **Check List**, Campinas, 5(4): 800–806, 2009.

LAESSLE, A. M. A micro-limnological study of Jamaican bromeliads. **Ecology** 42:499-517, 1961.

LANNOO, M. J.; TOWNSEND, D. S.; WASSERSUG, R. J. Larval life in the leaves: Arboreal tadpole types, with special attention to the morphology, ecology and behavior of the oophagous *Osteophilus brunneus* (Hylidae) larva. **Fieldiana (Zoology)** 38:1-31, 1987.

LEHTINEN, R. M. The use of screw pines (*Pandanus* spp.) by amphibians and reptiles in Madagascar. **Herpetological Bulletin**, 82:20-25, 2002.

LEHTINEN, R. M. Parental Care and Reproduction in Two Species of *Mantidactylus* (Anura: Mantellidae). **Journal of Herpetology**, 37(4): 766-768, 2003.

LEHTINEN, R. M.; LANNOO, M. J.; WASSERSUG, R.J. Phytotelin-breeding anurans: past, present, and future research. In: LEHTINEN, R. M. (Ed.). **Ecology and evolution of phytotelm-breeding anurans**. Miscellaneous publications of the Museum of Zoology.193:1-10, 2004 .

LIMA, D. C.; CASCON, P. Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. **REDE** (Revista Eletrônica do Prodepa). 2(1):64-79, 2008.

LIN, Y. S.; LEHTINEN, R. M.; KAM, Y. C. Time- and context-dependent oviposition site selection of a phytotelm-breeding frog in relation to habitat characteristics and conspecific cues. **Herpetologica**, 64(4):413–421, 2008.

LOPEZ, L. C. S.; GONÇALVES, D. A.; MANTOVANI, A.; RIOS, R. I. Bromeliad ostracods pass through amphibian (*Scinax perpusillus*) and mammalian guts alive. **Hydrobiologia**, 485:209–211, 2002.

LOUTON, J. GELHAUS, J.; BOUCHARD, R. The aquatic macrofauna of water-filled bamboo (Poaceae: Bambusoideae: *Guardea*) internodes in a Peruvian tropical lowland forest. **Biotropica**, 28:228-242, 1996.

LUTZ, B. Trends Towards non-aquatic and direct development in frogs. **Copeia**, 1947(4):242-252, 1947

LYNN, W. G.; LUTZ, B. the development of *Eleutherodactylus nasutus* Lutz. **Boletim do Museu Nacional**. 79:1-30, 1946.

MAGUIRRE JR, B. Phytotelmata: Biota and Community Structure Determination in Plant-Held Waters. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 2:439-464, 1971.

MCDIARMID, R. W. Evolution of Parental Care in Frogs. In; BURGHARDT, G.M.; BEKHOFF, M. (Eds.). **The development of behavior**, New York, Garland STPM Press, 1978.

MESTRE, L.A.M., ARANHA, J.M.R., ESPER, M.L. Macroinvertebrate fauna associated to the bromeliad *Vriesea inflata* of the Atlantic Forest (Paraná State, Southern Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology** 44: 89-94, 2001.

MONTEIRO, F. J. S. **Bromeliáceas da Serra de Maranguape, CE: riqueza, distribuição altitudinal e similaridade em diferentes ambientes**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Estadual do Ceará, 2005.

NEILL, W. T. A bromeliad herpetofauna in Florida. **Ecology**, 32(1):140-143, 1951.

OLIVEIRA, R. R. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. **Acta bot. bras.** 18(4): 793-799, 2004.

OLIVEIRA, F. B.; NAVAS, C. A. Plant selection and seasonal patterns of vocal activity in two populations of the bromeligen treefrog *Scinax perpusillus* (Anura, Hylidae). **Journal of Herpetology**, 38(3):331–339, 2004.

PEIXOTO, O.L. Associação de anuros a bromeliáceas na Mata Atlântica. **Revista da Universidade Rural**, 17: 75-83, 1985.

POMBAL JR, J.P. Oviposição e desenvolvimento de *Brachycephalus ephippium* (Spix) (Anura, Brachycephalidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 16: 967-976, 1999.

POMBAL JR, J.P.; HADDAD, C.F.B. Estratégias e modos reprodutivos em anuros. pp. 101-116. In: Nascimento, L.B., Oliveira, M.E. (eds), **Herpetologia no Brasil II**. Sociedade Brasileira de Herpetologia, 2007.

PRADO, C. P.; UETANABARO, M.; HADDAD, C. F. B. Description of a new reproductive mode in *Leptodactylus* (Anura, Leptodactylidae), with a review of the reproductive specialization toward terrestriality in the genus. **Copeia**, 2002(4):1128-1133, 2002.

RICHARDSON, B. A. The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a neotropical forest. **Biotropica**, 31(2):321-336, 1999.

RICHARDSON, M. K.; CARL, T. F.; HANKEN, J.; ELINSON, R. P.; COPE, C.; BAGLEY, P. Limb development and evolution: a frog embryo with no apical ectodermal ridge (AER). **J. Anat.**, 192:379-390, 1998.

SALTHER, S. N. Reproductive Modes and the Number and Sizes of Ova in the Urodeles. **American Midland Naturalist**, 81(2):467-490, 1969.

SALTHER, S.N., DUELLMAN, W.L. Quantitative constraints associated with reproductive mode in anurans. pp. 229-249. In: Vial, J.L. (ed.), **Evolutionary biology of the anurans**: Contemporary research on major problems. University of Missouri Press, 1973.

SCHINEIDER, J.A.P., TEIXEIRA, R.L. Relacionamento entre anfíbios anuros e bromélias da restinga de Regência, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Iheringia** (Série Zoologia) 91: 41-48, 2001.

SILVA, F. R. ALMEIDA-NETO, M.; PRADO, V. H. M.; HADDAD, C. F. B.; ROSSA-FERES, D. C. Humidity levels drive reproductive modes and phylogenetic diversity of amphibians in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Biogeography**, 1-12, 2012.

STEBINS, R. C.; COHEN, N. W. **A natural history of amphibians**. Princeton, Princeton University Press, 1995.

STUCKERT, A. M. M.; STONE, J. P.; ASPER, J. R.; RINKER, M. G.; RUTT, C. L.; TRIMMER, N. C.; LINDQUIST, E. D. microhabitat use and spatial distribution in Picado's bromeliad treefrog *Istmohyla picadoi* (Anura, Hylidae). **Phyllomedusa**, 8(2):125-134, 2009.

TAIGEN, T. L. Water balance of the eggs of *Eleutherodactylus coqui*; importance of parental brooding. In Annual meeting SSAR/HL, Memphis, Tennessee, 1981.

THIBAUDEAU, G., ALTIG, R.. Endotrophic anurans. In: MCDIARMID, R.W., ALTIG, A. (Eds.) **Tadpoles**. The biology of anuran larvae. University of Chicago Press, 1999.

TODD, B. D. Parasites Lost? An Overlooked Hypothesis for the Evolution of Alternative Reproductive Strategies in Amphibians. **The American Naturalist**, 170(5):793-799, 2007.

TOLEDO, L. F.; GAREY, M. V.; COSTA, T. R. N.; LOURENÇO-DE-MORAES, R.; HARTMANN, M. T.; HADDAD, C. F. B. Alternative reproductive modes of Atlantic forest frogs. **Journal of Ethology**, 30:331–336, 2012.

TOUCHON, J. C.; WARKENTIN, K. M. Reproductive mode plasticity: Aquatic and terrestrial oviposition in a treefrog. **PNAS** 105(21):7495-7499, 2008.

TOWNSEND, D. S.; STEWART, M. M. Direct Development in *Eleutherodactylus coqui* (Anura: Leptodactylidae): A Staging Table. **Copeia**, 1985(2): 423-436, 1985.

VAZZOLER, A. E. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos**: Teoria e prática. Maringá: EDUEM, 1996.

VITT, L. J.; CALDWELL, J. P. **Herpetology**, 3 ed., 2009.

WALDEMAR, C. C.; IRGANG, B. E. A ocorrência do mutualismo facultativo entre *Dickia marítima* Backer (Bromeliaceae) e o cupim *Cortaritermis silvestrii* (Holmgren), Nasutitermitinae, em afloramentos rochosos no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, RS. **Acta bot. bras.** 17(1): 37-48, 2003.

WALKER, E. D.; LAWSON, D. L.; MERRITT, R. W.; MORGAN, W. T.; KLUG, M. J. Nutrient Dynamics, Bacterial Populations, and Mosquito Productivity in Tree Hole Ecosystems and Microcosms. **Ecology**, 72(5):1529-1546, 1991.

WELLS, K. D. Parental behavior of male and female frogs. In: ALEXANDER, R. D.; TINKLE, D. W (ed.). **Natural selection and social behavior**. New York: Chiron Press, 1981.

WELLS, K.D. **The ecology and behavior of amphibians**. University of Chicago Press, Chicago, 2007.

XAVIER, A. L.; NAPOLI, M. F. Contribution of environmental variables to anuran community structure in the Caatinga Domain of Brazil. **Phyllomedusa**.10(1):45-64, 2011.

CAPÍTULO 5 – “Description of two calls of *Adelophryne maranguapensis* (Anura, Eleutherodactylidae)”

(Conforme as normas do periódico: Zootaxa)

Description of two calls of *Adelophryne maranguapensis* (Anura, Eleutherodactylidae)

DANIEL CASSIANO LIMA^{1,3}, DIVA MARIA BORGES-NOJOSA², SONIA ZANINI CECHIN¹

¹*Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.*

²*Núcleo Regional de Ofiologia (NUROF-UFC), Fortaleza, Ceará, Brazil*

³*Corresponding author*

The genus *Adelophryne* consists of eight species of small frogs with direct development, which occur in Amazon, Atlantic Forest, and humid forested mountains of Northeast Brazil (Hedges et al., 2008). Recently, a study demonstrated the monophyly of the group and indicated at least other seven species still unknown (Fouquet et al., 2012).

Frog calls are species-specific and are used as tools in taxonomic differentiation of species (Santana et al., 2011). For the genus *Adelophryne* species, only the advertisement calls of *A. adiaastola*, *A. gutturosa*, *A. patamona* (MacCulloch et al., 2008) and *A. mucronatus* (Lourenço-de-Moraes et al., 2012) are known. Here, we describe two calls of *A. maranguapensis* an endangered species endemic to Maranguape mountain in Ceará, northeastern Brazil (Borges-Nojosa, 2008).

On March 5, 2012, we recorded four males *A. maranguapensis* calling in the litter, between 09:00 a.m. and 11:00 a.m. (air temp. 23°C) in a place known as Riacho Beija-Flor (03°53'44.3"S, 38°43'18.8"W, 890 m alt.), at Maranguape mountain range. The sounds were recorded at 1 m distance with digital recorder Edirol R-09. For description of the calls, we used the parameters used for other species of *Adelophryne* (MacCulloch et al., 2008): call duration, inter-call interval, number of notes, note period, note repetition rate, inter-note interval, number of pulses, dominant harmonic and dominant frequency. Digital recordings were sampled at 44100 Hz and 16 bit resolution and saved in uncompressed wave format. We analyzed calls in software SoundRuler, version 0.9.6.0 (Gridi-Papp, 2004) and constructed audio spectrograms with the following parameters: FFT window width = 256,

Frame = 100, Overlap = 75, and flap top filter. Numerical parameters are as follows: range followed by mean \pm standard deviation in parentheses; 5 calls analyzed.

The advertisement call (n=5; Figure 1) consists of 5 - 8 multi pulsed notes (6 ± 1.3), note duration 0.663 - 1.075 s (0.798 ± 0.159 s) and dominant frequency ranging from 4483.64 to 4830.67 Hz (4824.36 ± 187.23 Hz). The interval between notes was 0.092 - 0.484 s (0.129 ± 0.087 s), with a repetition rate of 6.45 - 5.55 notes/s (7.49 ± 0.47). Each note was formed by 3 - 6 pulses (4 ± 0.588) with a duration of 0.016 - 0.059 s (0.025 ± 0.014 s) and emission of 71.3 - 310.6 pulses/s (168.1 ± 62.2). Note distribution and structure of the advertisement call of *A. maranguapensis* are closer to the values obtained for *A. gutturosa*, except for the fact of MacCulloch et al., 2008 consider each note of *A. gutturosa* advertisement call as harmonics. We interpreted these harmonics as side-band artifacts generated by the pulsatile nature of the call (see Vielliard 1993), and a similar interpretation occurs in the description of advertisement call of *A. mucronatus* (Lourenço-de-Moraes et al. 2012).

We also obtained a different call (n=1; Figure 2 A, B, C) recorded under the same conditions and periods of the advertisement call. Here, a male in a bromeliad *Guzmania lingulata* approximately 1.5 m tall (Figure 2D), emitted three times a vocalization completely different of the advertisement call, being named by us as “unusual” call because its function is unknowing. Each call was formed by a single multi-pulsed note with duration of 0.0173 - 0.0223 s (0.02 ± 0.0028 s) and dominant frequency of 4306.97 - 4313.28 Hz (4309.07 ± 3.64 Hz). The number of pulses varied 4 - 6 (5.33 ± 1.15) at a rate 180.18 - 346.82 pulses/s (265.35 ± 83.38). The “unusual” call was heard on more than one occasion, but for a few times. This vocalization is likely related to a courtship call, because *A. maranguapensis* uses bromeliads as oviposition sites (Cassiano-Lima et al. 2011), or could be an agonistic call emitted by the male when we approached the bromeliad.

We are grateful to Diego José Santana, Vinicius Caldart, Cynthia Prado and Marília Hartmann for help, revision and suggestions on manuscript; ICMBio for collection permits 22909-1. DCL is grateful to Funcap and SZC thanks CNPq for the research Fellowship (proc. No. 304929/2012-3).

References

- Borges-Nojosa, D.M. (2008) *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994. In Machado, A.B.M., Drummond, G.M. & Paglia, A.P. (Eds.) *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*. Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas, Brasília, 308-309.
- Cassiano-Lima, D.C., Borges-Nojosa, D.M., Cascon, P. & Cechin, S.Z (2011) The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994, (Anura,

- Eleutherodactylidae) an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil. *North-Western Journal of Zoology*, 7,92-97.
- Fouquet, A., Loebmann, D., Castroviejo-Fisher, S, Padial, J.M., Orrico, V.G.D., Lyra, M.L., Roberto, I.J., Kok, P.J.R., Haddad, C.F.B., Rodrigues, M.T. (2012) From Amazonia to the Atlantic forest: Molecular phylogeny of Physelaphryninae frogs reveals unexpected diversity and a striking biogeographic pattern emphasizing conservation challenges. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 65,547-561.
- Gridi-Papp, M. (2004) SoundRuler: Acoustic analysis for research and teaching. Availed from: <http://soundruler.sourceforge.net> (july 30th 2012).
- Hedges, S.B., Duellman, W.E. & Heinicke, M.P. (2008) New-world direct developing frogs (Anura: Terrarana): Molecular phylogeny, classification, biogeography and conservation. *Zootaxa*, 1737, 1-182.
- Lourenço-de-Moraes, R., Solé, M., Toledo, L.F. (2012) A new species of *Adelophryne* Hoogmoed & Lescure 1984 (Amphibia: Anura: Eleutherodactylidae) from the Atlantic rainforest of southern Bahia, Brazil. *Zootaxa*, 3441, 59-68.
- MacCulloch, R.D., Lathrop, A., Kok, P.J.R., Minter, L.R., Khan, S.Z. & Barrio-Amorós, C.L. (2008) A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from Guyana, with additional data on *A. gutturosa*. *Zootaxa*, 1884, 36-50.
- Santana, D.J., Mesquita, D.O., Garda, A.A. (2011) Advertisement call of *Dendropsophus oliveirai* (Anura, Hylidae). *Zootaxa*, 2997, 67-68.
- Vielliard, J. (1993) 'Side-bands' artifact and digital sound processing. *Bioacoustics*, 159-162.

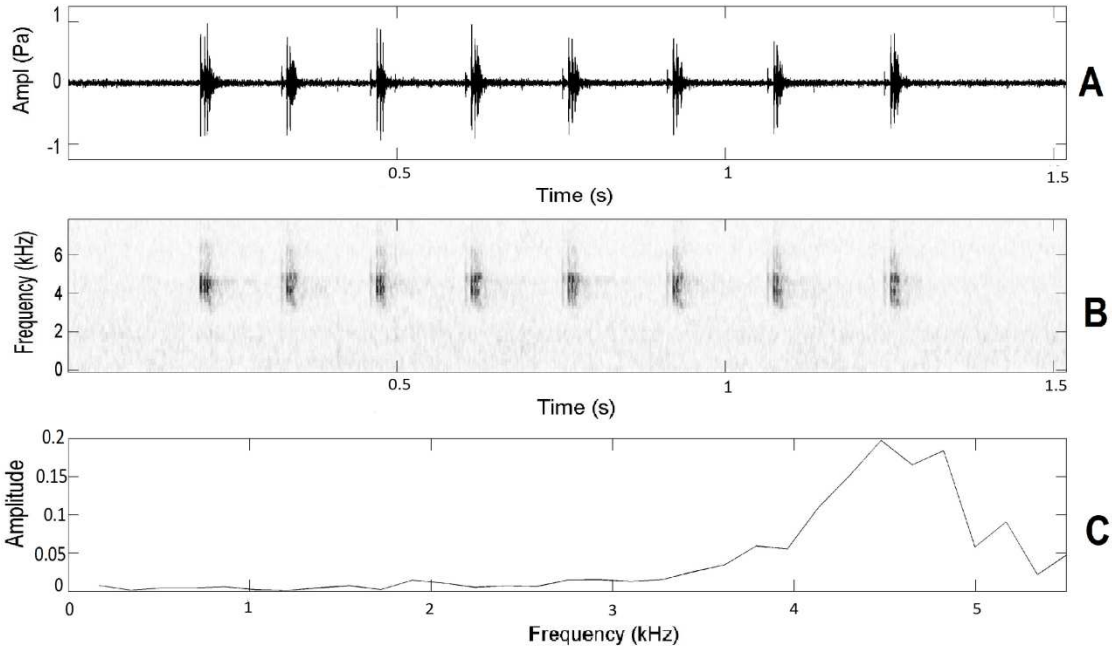


Figure 1: Advertisement call of *Adelophryne maranguapensis*, recorded at Maranguape mountain range, Ceará, northeastern Brazil: (A) oscilogram, (B) audiospectrogram and (C) power spectrum (air temp. 23°C).

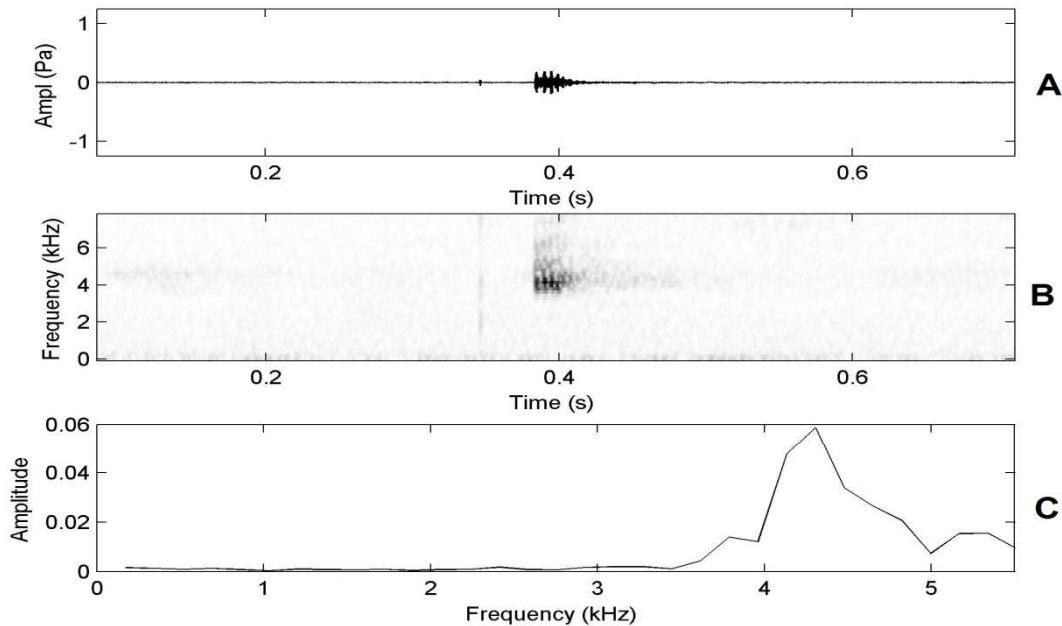


Figure 2: “Unusual” call of *Adelophryne maranguapensis*, recorded at Maranguape mountain range, Ceará, northeastern Brazil: (A) oscilogram, (B) audiospectrogram and (C) power spectrum; and (D) adult male in life (unvouchered) in a *Guzmania lingulata* at Riacho Beija-Flor.

CONCLUSÃO GERAL

Concluimos que na serra de Maranguape ocorrem pelo menos 22 espécies de anfíbios, com distribuições locais que seguem os padrões altitudinais previamente registrados para outras áreas elevadas. A maioria das espécies é generalista e tem ampla distribuição geográfica na Caatinga ou em outros brejos-de altitude no nordeste brasileiro. *Adelophryne maranguapensis* e *Pristimantis ramagii*, espécies com desenvolvimento direto, são as mais abundantes, e ocorrem por toda a área de mata úmida.

Constatamos que *Adelophryne maranguapensis* apresenta dimorfismo sexual, sendo as fêmeas maiores que os machos quanto ao comprimento corporal, largura da cabeça e distância do olho à narina. Estas medidas estão relacionadas à fecundidade e obtenção de presas com maior valor nutricional pelas fêmeas. *A. maranguapensis* também apresentou dicromatismo sexual, onde machos apresentaram coloração escura enquanto fêmeas tendiam ao bronze, e manchas vermelhas na virilha e parte inferior das coxas.

Confirmamos a ocorrência de desenvolvimento direto para o gênero *Adelophryne*, e concluimos que *A. maranguapensis* é uma espécie bromelígena, de desenvolvimento direto com ovos não aquáticos. A oviposição é realizada na face adaxial das folhas das bromélias mais abundantes, durante a estação chuvosa do Ceará. Pela primeira vez constatamos cuidado parental no gênero, através do atendimento às desovas por parte das fêmeas de *A. maranguapensis*, até que ocorra desenvolvimento da camada gel de todos os ovos. Concluimos também que as particularidades na reprodução de *A. maranguapensis* constituem um novo modo reprodutivo para anfíbios anuros.

Descrevemos o canto de anúncio de *Adelophryne maranguapensis*, que é emitido durante a estação chuvosa, e é composto por 5-8 notas multipulsionadas. Também

registramos um canto diferente composto por uma única nota multipulsionada, que pode ser agonístico, ou relacionado à reprodução.

APÊNDICE

The reproductive mode of *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges & Cascon, 1994, (Anura, Eleutherodactylidae) an endemic and threatened species from Atlantic Forest remnants in northern Brazil

Daniel CASSIANO-LIMA^{1,2,*}, Diva Maria BORGES-NOJOSA³,
Paulo CASCON³ & Sonia Zanini CECHIN¹

1. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Animal, Centro de Ciências
Naturais e Exatas, Prédio 17, sala 1140-D, Cidade Universitária, Camobi,
Km 9, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil.

2. Faculdade de Educação de Itapipoca, Universidade Estadual do Ceará, Itapipoca, Ceará, Brazil.

3. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Departamento de Biologia,
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil.

* Corresponding author, D. Cassiano-Lima, E-mail: dancassiano@yahoo.com.br

Received: 21. October 2010 / Accepted: 04. February 2011 / Available online: 14. February 2011

Abstract. The genus *Adelophryne* is presently constituted by six species of minute anurans that inhabit leaf litter and are distributed in the Amazon region and in the Brazilian Atlantic Forest. The present study aims to contribute to the knowledge of the reproductive mode of this genus, by presenting information about the oviposition site, egg and clutch characteristics, and type of development of *A. maranguapensis*. This species is listed as in danger of extinction because it is endemic to the Serra de Maranguape, a small remnant of Atlantic Forest in northeastern Brazil that is under severe pressure of anthropic degradation. The study is based on twelve *A. maranguapensis* egg clutches found on leaves of bromeliads at heights of 0.5 to 4.4 m from the ground. The clutches contained 3 to 8 eggs, each approximately 5 mm in diameter, with a vitreous surface and dark material in its interior, and were all located in bromeliad leaf axils. The eggs from one of the clutches hatched into fully formed froglets in the first 48 hours after collection, confirming that *A. maranguapensis* has direct development. These observations stress the conservation importance of the threatened natural remnants of the Serra de Maranguape, because *A. maranguapensis* uses arboreal sites to reproduction.

Keywords: *Adelophryne maranguapensis*, direct development, bromeligen.

Introduction

Amphibians have the most diversified modes of reproduction among vertebrates. This fact probably reflects evolutive patterns related to the first experiments in the conquest of terrestrial environments (Duellman & Trueb 1994). The concept of reproductive mode in amphibians was proposed by Salthé & Duellman (1973) based on the oviposition site, structural characteristics of the eggs and nests, the stage and size of newborn and the type of parental care, if any. For anurans alone, Pombal-Junior & Haddad (2007) recorded 39 different types of reproduction, of which 27 occur among anurans of the Brazilian Atlantic Forest (Haddad & Prado 2005). This great diversity of reproductive modes among amphibians of the Atlantic Forest may be related to heterogeneity of this ecosystem, which have rocky coastlines, mountain streams, wet litter, lots of epiphytes and montane forests (Kopp et al. 2010, Loebmann & Haddad 2010).

In the original description of the genus *Adelo-*

phryne, Hoogmoed & Lescure (1984) reported females with well-developed oviducts, but had no information about the reproductive mode. Later, Ayarzagüena & Diego-Aransay (1985) found two large eggs (2mm in diameter) in a female of *A. gutturosa*, and considered this trait to be an indicator of direct development.

Hoogmoed et al. (1994), in describing *A. pachydactyla*, *A. baturitensis* and *A. maranguapensis* reported that females of the latter two species contained large eggs, and also mentioned the possible occurrence of direct development in the genus.

Thibaudeau & Altig (1999) included *Adelophryne* in a list of genera in which direct development is likely to occur, however without indicating in which category of endotrophic frogs as defined by Altig & Johnson (1989; viviparous, ovoviviparous, direct development, paraviviparous, exoviviparous or nidicolous) the genus should be included.

Hedges et al. (2008) included *Adelophryne* in a new anuran taxon of the New World named *Terrarana*, characterized by direct development and

ground-breeding, but they emphasized that these characteristics had not been confirmed for all genera of Terrarana, and are only assumed for some of them. Heinicke et al. (2009) reported that direct development has not yet been confirmed for most members of Terrarana, including all the species of *Adelophryne*.

Although the large size of the oviducal eggs seems to indicate the existence of direct development in this genus, some authors, rather prematurely, stated this as a fact (Reynolds et al. 2004, Silvano & Borges-Nojosa 2004a,b, Eterovick et al. 2005, Wells 2007). MacCulloch et al. (2008) were the first to record the oviposition (under artificial conditions after capture) of a large egg (4.63mm) by *A. guttuosa*. The authors suggested that this finding supported the hypothesis of direct development for the species. Thibaudeau & Altig (1999) emphasized that the size of eggs is not sufficient to conclude that any species of anuran possesses direct development, or indeed any other category of endotrophic development, because of the overlap in the sizes of endotrophic and exotrophic eggs in about 25% of species of anurans.

This study contributes to knowledge of the reproductive biology of the little studied genus *Adelophryne*, and confirms the occurrence of direct development in the genus based on information on the oviposition site, egg characteristics, spawning and hatching of *A. maranguapensis*, an endangered species (Borges-Nojosa 2008). *Adelophryne maranguapensis* is endemic to a small remnant of the Atlantic Forest in northeastern Brazil, which is under severe pressure by anthropic degradation.

Material and Methods

This study is part of a research program on the herpetofauna of the Serra de Maranguape, a mountainous area about 920 m above sea level, located in the state of Ceará, northeastern Brazil. The study has been carried out since the year 1995, in discontinuous periods. These observations result from sampling carried out in each month, from 1998 to 2003, and during the first half of 2010.

Active daily and nightly searches were carried out in leaf litter, under rocks, in mosses, along streambanks and lake shores, in holes in the ground, in trees, bromeliads, and other places where clutches of *A. maranguapensis* might be found. The positions of all identified nests were recorded, and the eggs were counted and measured with a digital caliper (0.1 mm accuracy). Some spawnings were collected and housed in Petri dishes containing moist cotton or pieces of paper towel, similarly to the method for culture of *Eleutherodactylus coqui* embryos, proposed by Elinson et al. (1990, 2008) and Sabo et al. (2009). Later

some of the clutches were transferred to the laboratory and kept at room temperature of approximately 23°C and protected from sunlight, simulating the environment where they were found. The eggs were photographed every two days.

Three newly hatched animals were obtained from one only spawning. They were measured, euthanized, fixed in 10% formalin, and stored in vials containing 70% ethanol. All material was deposited in the Herpetological Collection of the Núcleo Regional de Ofiologia, of the Federal University of Ceará (NUROF-UFC) (CHUFC 5806-09).

Results

Clutches of *A. maranguapensis* were found at only two points, one near the Riacho Beija-Flor (03°53'44.3"S; 38°43'18.8"W, 890m), and one on the top of the mountain, known as Pico da Rajada (3°53'44.2"S; 38°43'20.8"W, 920m). To date, 12 egg masses of *A. maranguapensis* have been obtained, in the local rainy season (first quarter of each year) (Table 1). They were located only on the adaxial side of leaves of four species of bromeliads, with an average height of 1.76 m above the ground (Table 1). The clutches consisted of 3-8 eggs, translucent with a vitreous surface, and about 5mm in diameter. Three eggs (clutch 9) with embryos in advanced stages were larger (6.6, 7.4 and 6.9mm) several minutes before hatching (Table 1, Fig. 1).

The eggs from clutch 1 (Table 1) hatched into fully formed froglets 48 hours after collection, but we could not obtain any meristic data because the newborns were rapidly attacked and ate by ants. Clutches 2, 3 and 4 (Table 1) were attacked by fungus and were totally destroyed, but these latter two (3 and 4) could be observed in the laboratory for 14 days. They had embryos with a distinct head region, dorsally with discrete dark spots bordering the yolk, and undifferentiated stumps of the forelimbs and hindlimbs, of the same size (Fig. 2A). After 48 hours (April 30), the heads of the embryos began to show dark spots similar to those on the back, and their eyes were easily discernible (Fig. 2B). After another 48 hours (May 2), the embryos were colored brown, and their eyes were darker than before. The heartbeat could also be observed at this stage (Fig. 2C). After 72 hours (May 5), the anterior and posterior limbs were well developed, and it was possible to observe the edges of the disks at the ends of elongated fingers, a characteristic of the genus (Hoogmoed & Lescurre 1984). At this stage, the coloration of the embryos was similar to that of newly hatched froglets

Table 1. General data for clutches of *A. maranguapensis*.

Clutch	# of eggs	Diameter ^x	Date ⁺	Distance ⁺	Bromeliad species	Height [#]
1	5	n.d.	28.II.1998	2.0	<i>Guzmania lingulata</i> (Linnaeus) Mez	1.5
2	3	n.d.	12.I.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	0.5
3	5	n.d.	26.IV.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.8
4	6	n.d.	26.IV.2003	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.8
5	3	5.18	21.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.4
6	6	5.18	21.IV.2010	10.0	<i>Vriesea cearensis</i> L. B. Smith	1.6
7	7	4.46	21.IV.2010	n.d.	<i>G. lingulata</i>	1.6
8	8	5.74	21.IV.2010	8.0	<i>Aechmea pernambucensis</i> J. A. Siqueira & Leme	4.4
9	5	5.98	21.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	2.5
10	6	4.52	22.IV.2010	2.0	<i>G. lingulata</i>	1.5
11	6	4.51	22.IV.2010	2.0	<i>Guzmania sanguinea</i> (André) André ex Mez	1.3
12	3	5.70	22.IV.2010	3.0	<i>G. sanguinea</i>	1.3
Mean	5.5	5.15		3.36		1.76

Legend: (x) Mean egg diameter (mm); (+) Eggs finding date; (*) Distance from nests to the water accumulated in bromeliads (cm); (#) Bromeliad height above the ground (m); (n.d.) no data.

(Fig. 2D). After this stage, embryos showed no noticeable morphological changes, and the eggs gradually changed from glassy to opaque, probably because of fungus infestation that eventually destroyed the culture of embryos. The clutches obtained in 2010 were all registered and measured during the field work, and only the spawnings 7-10 were collected.

To date the only adult female *A. maranguapensis* was collected by Hoogmoed et al. (1994), and it has SVL 17.4mm, and some of the nests found in the present study possibly were not made by only one female due to the big diameter and number of eggs (3-8) found in the clutches. The clutch 9 apparently supports this hypothesis because the embryos were in different development stages, indicating that ovipositions were not made in the same time. Three eggs from this clutch hatched in newborn froglets (mean: 4.53mm, 0.014g) in the same day of collection while one of the other embryos presented arms and legs and a big yolk quantity, and the other one was in an early stage presenting the stumps of forelimbs and hindlimbs (Fig. 3).

Discussion

This study, by monitoring the positions of clutches and recording the hatching of small, fully formed froglets from eggs of *A. maranguapensis*, confirms the occurrence of direct development in this species, and suggests that this pattern most likely also occurs in other species of *Adelophryne*. Although it is presumed that all *Terrarana* species have direct development, this is not confirmed for the major-

ity of the members of the group, including all species of *Adelophryne* (Heinicke et al. 2009).

Although the egg masses of *A. maranguapensis* were not found in direct contact with the accumulated water in bromeliads, this water reservoir is likely to be an important factor in the reproduction of the species, helping to increase the relative humidity and preventing the eggs from drying, besides hosting adults during the reproductive period. The depigmentation observed in the eggs of *A. maranguapensis* is probably associated with poor lighting at the site of oviposition, as reported by Pombal-Junior (1999) for eggs of *Brachycephalus ephippium*. In both cases, the vegetation appears to function to shade the clutches from sunlight, reducing the risk of dehydration and the need for pigmentation of the eggs.

The association of some species of amphibians with bromeliads has been the subject of several studies (Laessle 1961, Peixoto 1995, Lopez et al. 1999, Schineider & Teixeira 2001, Andrade et al. 2009). The accumulation of organic matter and water in the leaf axils of tank-bromeliads makes them isolated aquatic environments (Mestre et al. 2001). Peixoto (1995) classified the amphibians found in bromeliads as bromeliculous or bromeligenes, these latter being composed of species that use these plants in their reproductive cycle, and the former, those which can sometimes be found in bromeliads, but do not use them for reproduction. According to Peixoto's classification, *A. maranguapensis* is a bromeligen species. Although all the clutches were found in bromeliads, vocal activity of males has been recorded in leaf litter, indicating that this species has morphological adaptations to climbing (Reilly & Jorgensen 2011), and does not



Figure 1. A- Clutch (No. 6) of *Adelophryne maranguapensis* on *Vriesea cearensis* leaves; B- Translucent eggs of *A. maranguapensis* (clutch No.8), with visible embryos; C- Newly hatched froglet (right) (SVL 4,6 mm), and froglet about to hatch (left) (clutch No. 9).

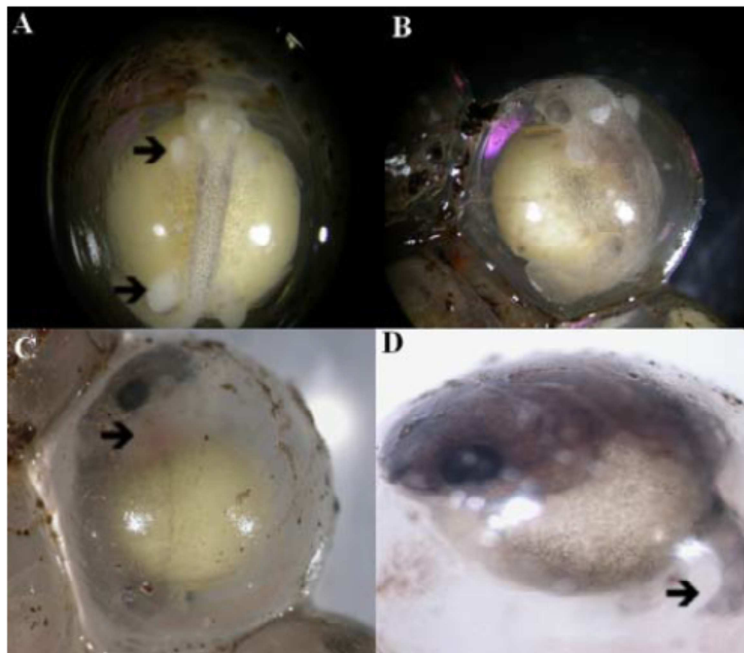


Figure 2. *Adelophryne maranguapensis*:
 A- Eggs and embryos with discrete dark dorsal spots, and stumps of the forelimbs and hindlimbs (arrows);
 B- Embryo with spots on the cephalic region and eyes easily discernible;
 C- Embryo with a noticeable heart (arrow);
 D- Embryo with developed arms and legs (arrow).

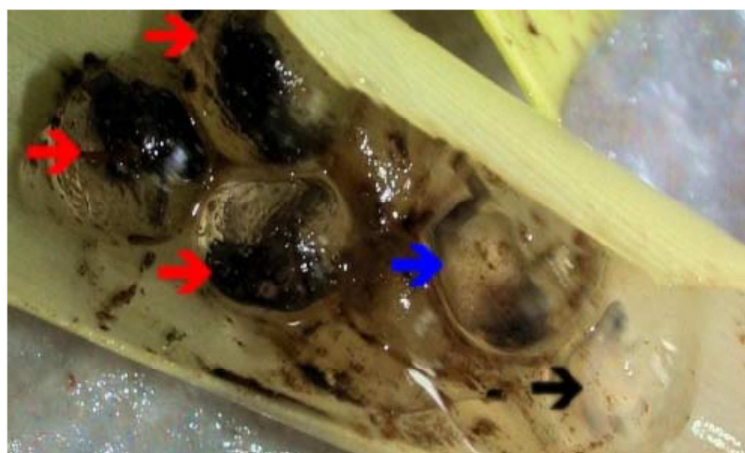


Figure 3. Clutch 9 showing *A. maranguapensis* embryos in three distinct developmental stages: Three froglets some minutes before hatching (red arrows); Embryo with distinct legs and arms but still with the yolk (blue arrow); Younger embryo with color pattern of early stages (black arrow).

occurs only near the ground as suggested by Hoogmoed et al. (1994).

The more specialized reproductive modes among the Brazilian Atlantic Forest anurans are commonly found in genera that have few species and are restricted to forest environments, such as *Brachycephalus*, *Crossodactylodes*, *Dendrophryniscus*, *Flectonotus*, *Frostius*, *Gastrotheca*, *Myersiella* and *Zachaeus* (*Ischnocnema* being an exception), and in species of small body size (Haddad & Prado 2005). The genus *Adelophryne*, which until now has only six described species, with individuals measuring less than 2 cm in SVL, seems to follow the pattern described above, having also a specialized reproductive mode.

According to the observations reported here, *A. maranguapensis* shows the reproductive mode 27 *sensu* Haddad & Prado (2005) and Pombal-Junior & Haddad (2007): arboreal eggs hatching into froglets. Haddad & Prado (2005) emphasized that populations of frogs whose reproductive modes depend on the forest moisture, tend to be suppressed by deforestation. The areas where *A. maranguapensis* is found have had their original vegetation removed for the installation of permanent crops and banana trees (Rodriguez & Smith 2002), which has caused the loss of large amounts of soil by erosion, especially in heavy rainy periods. Moreover, the practice of local people to collect bromeliads for sale as ornamental plants (Cassiano-Lima & Cascon 2008) is another major challenge for the conservation of *A. maranguapensis*, since the frogs use these plants as a breeding site. These factors indicate the importance of conserving of the natural vegetation of the Serra de Maranguape, the area of endemism of *A. maranguapensis*.

Acknowledgements. We thank the following persons and entities: The Biodiversitas Foundation, the CEPAN Foundation, the Critical Ecosystem Partnership Fund and the Municipality of Maranguape (Mayor M. Silva) for financial support; F. Monteiro and V. dos Santos Gomes for the identifying the bromeliads; A.C.O. de Queiroz Carnaval, J.C. Lima Melo, T.A. de Sousa, J. E. Vasconcelos Carlos and E. V. Nascimento (ONG Serras Verdes) for helping in some of the field trips; the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and the Chico Mendes Institute for Conservation of Biodiversity (ICMBio) for granting collecting permits (Processes In. 02007.000965/04-10, In. 10893-1 and In. 22909-1); J. Kilder for his hospitality and help during field work; C.

F. B. Haddad and C. P. de Almeida Prado for theoretical explanations; and T. Gomes dos Santos, M. Solé and J. F. de Araujo for manuscript review and suggestions. D. C. Lima is grateful to the Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) for the doctor's degree fellowship (proc. BDS-0017-00003.01.18/10), and S. Z. Cechin is grate to CNPq for the research fellowship (proc. nº 303359/2009-9).

References

- Altig, R., Johnston, G.F. (1989): Guilds of anuran larvae: relationships among developmental modes, morphologies and habits. *Herpetological Monographs* 2: 81-109.
- Andrade, E.V.E., Albertim, K.M., Moura, G.J.B. (2009): Primeiro registro do uso de Bromeliaceae por *Elachistocleis ovalis* (Schneider, 1799) (Anura:Microhylidae). *Biota Neotropica* 9: 257-259.
- Ayarzaguena, J., Diego-Aransay, A. (1985): Primer reporte para Venezuela de *Adelophryne gutturosa* (Leptodactylidae) y datos sobre su biología. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 45: 159-160.
- Borges-Nojosa, D.M. (2008): *Adelophryne maranguapensis* Hoogmoed, Borges e Cascon, 1994. pp. 308-309. In: Machado, A. B.M., Drummond, G.M., Paglia, A.P. (eds), *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*, Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas.
- Cassiano-Lima, D., Cascon, P. (2008): Aspectos socioambientais e legais da bananicultura na APA da Serra de Maranguape, Estado do Ceará. *Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA* 2: Art. # 4, 64-79.
- Duellman, W.E., Trueb, L. (1994): *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, New York.
- Elinson, R.P., Del Pino, E.M., Townsend, D.S., Cuesta, F.C., Eichhorn, P. (1990): A practical guide to the developmental biology of terrestrial-breeding frogs. *The Biological Bulletin* 179: 163-177.
- Elinson, R.P., Walton, Z., Nath, K. (2008): *Raldh* expression in embryos of the direct developing frog *Eleutherodactylus coqui* and the conserved retinoic acid requirement for forelimb initiation. *Journal of Experimental Zoology* 310B: 588-595.
- Eterovick, P.C., Carnaval, A.C.Q., Borges-Nojosa, D.M., Silvano, D.L., Segalla, M.V., Sazima, I. (2005): Amphibian declines in Brazil: an overview. *Biotropica* 37: 166-179.
- Haddad, C.F.B., Prado, C.P.A. (2005): Reproductive modes in frogs and their unexpected diversity in the Atlantic Forest of Brazil. *BioScience* 55: 207-217.
- Hedges, S.B., Duellman, W.E., Heinicke, M.P. (2008): New World direct-developing frogs (Anura:Terrarana): Molecular phylogeny, classification, biogeography, and conservation. *Zootaxa* 1737: 1-182.
- Heinicke, M.P., Duellman, W.E., Trueb, L., Means, D.B., MacCulloch, R.D., Hedges, S.B. (2009): A new frog family (Anura: Terrarana) from South America and an expanded direct-developing clade revealed by molecular phylogeny. *Zootaxa* 2211: 1-35.
- Hoogmoed, M.S., Borges, D.M., Cascon, P. (1994): Three new species of the genus *Adelophryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) from northeastern Brazil, with remarks on the species of the genus. *Zoologische Mededelingen* 68: 271-300.
- Hoogmoed, M.S., Lescure, J. (1984): A new genus and two species of minute leptodactylid frogs from northern South America, with comments upon *Phyzelaphryne* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae). *Zoologische Mededelingen* 58: 85-115.
- Kopp, K., Signorelli, L., Bastos, R.P. (2010): Distribuição temporal e diversidade de modos reprodutivos de anfíbios anuros no

- Parque Nacional das Emas e entorno, estado de Goiás, Brasil. *Iheringia* (Sér. Zool.) 100:192-200.
- Laessle, A.M. (1961): A micro-limnological study of Jamaican bromeliads. *Ecology* 42: 499-517.
- Loebmann, D., Haddad, C.F.B. (2010): Amphibians and reptiles from a highly diverse area of the Caatinga domain: Composition and conservation implications. *Biota Neotropica* 10: 227-256.
- Lopez, L.C.S., Rodrigues, P.J.F.P., Rios, R.I. (1999): Frogs and snakes as phoretic dispersal agents of bromeliad ostracods (Limnocytheridae: *Elpidium*) and annelids (Naididae: *Dero*). *Biotropica* 31: 705-708.
- MacCulloch, R.D., Lathrop, A., Kok, P.J.R., Minter, L.R., Khan, S.Z., Barrio-Amorós, C.L. (2008): A new species of *Adelophryne* (Anura: Eleutherodactylidae) from Guyana, with additional data on *A. gutturosa*. *Zootaxa* 1884: 36-50.
- Mestre, L.A.M., Aranha, J.M.R., Esper, M.L. (2001): Macro-invertebrate fauna associated to the bromeliad *Vriesea inflata* of the Atlantic Forest (Paraná State, Southern Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44: 89-94.
- Peixoto, O.L. (1995): Associação de anuros a bromeliáceas na Mata Atlântica. *Revista da Universidade Rural* 17: 75-83.
- Pombal-Júnior, J.P. (1999): Oviposição e desenvolvimento de *Brachycephalus ephippium* (Spix) (Anura, Brachycephalidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 16: 967-976.
- Pombal-Júnior, J.P., Haddad, C.F.B. (2007): Estratégias e modos reprodutivos em anuros. pp. 101-116. In: Nascimento, L.B., Oliveira, M.E. (eds), *Herpetologia no Brasil II*. Sociedade Brasileira de Herpetologia.
- Reilly, S.M., Jorgensen, M.E. (2011): The evolution of jumping in frogs: morphological evidence for the basal anuran locomotor condition and the radiation of locomotor systems in crown group anurans. *Journal of Morphology* 272: 149-168.
- Reynolds, R., Rodrigues, M.T., Mijares, A., MacCulloch, R. (2004): *Adelophryne gutturosa*. Red List of Threatened Species. <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56301/0>> accessed at 2010.08.03.
- Rodriguez, J.M.M., Silva, E.V. (2002): A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. *Mercator* 1: 95-112.
- Sabo, M.C., Nath, K., Elinson, R.P. (2009): *Lbx1* expression and frog limb development. *Development Genes and Evolution* 219: 609-612.
- Salthe, S.N., Duellman, W.L. (1973): Quantitative constraints associated with reproductive mode in anurans. pp. 229-249. In: Vial, J.L. (ed.), *Evolutionary biology of the anurans: Contemporary research on major problems*. University of Missouri Press.
- Schneider, J.A.P., Teixeira, R.L. (2001): Relacionamento entre anfíbios anuros e bromélias da restinga de Regência, Linhares, Espírito Santo, Brasil. *Iheringia* (Série Zoologia) 91: 41-48.
- Silvano, D., Borges-Nojosa, D. (2004a): *Adelophryne baturitensis*. Red List of Threatened Species, <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56300/0>> accessed at 2010.08.03.
- Silvano, D., Borges-Nojosa, D. (2004b): *Adelophryne maranguapensis*. Red List of Threatened Species, <<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/56302/0>> accessed at 2010.08.03.
- Thibaudeau, G., Altig, R. (1999): Endotrophic anurans. pp. 170-188. In: McDiarmid, R.W., Altig, A. (eds) *Tadpoles. The biology of anuran larvae*. University of Chicago Press.
- Wells, K.D. (2007): *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press, Chicago.
-