

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 30/01/2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ZOOLOGIA

Juan Carlos Farias Pardo

Espécies-chave estuarinas em um mundo em mudança: como as fases mais vulneráveis dos caranguejos violinistas respondem ao aquecimento e acidificação global?

Apoio:



São Vicente,

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS DE BOTUCATU

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ZOOLOGIA

Juan Carlos Farias Pardo

Espécies-chave estuarinas em um mundo em mudança: como as fases mais vulneráveis dos caranguejos violinistas respondem ao aquecimento e acidificação global?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), do Instituto de Biociências de Botucatu – Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Tânia Márcia Costa

Coorientador: Prof. Dr. Stefano Cannicci

São Vicente,

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Pardo, Juan Carlos Farias.

Espécies-chave estuarinas em um mundo em mudança : como as fases mais vulneráveis dos caranguejos violinistas respondem ao aquecimento e acidificação global? / Juan Carlos Farias Pardo.
- Botucatu, 2018

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Tânia Marcia Costa
Coorientador: Stefano Cannicci
Capes: 20403003

1. Caranguejo - Pesquisa. 2. Mudanças climáticas. 3. Fatores abióticos. 4. Aquecimento global. 5. Stress (Fisiologia).

Palavras-chave: Ectotérmicos; Estressores múltiplos; Mudança Climática.

Dedico esse trabalho aos meus pais, Juan Luis e
Maria das Graças, e à minha vó, Maria Esther.

Agradecimentos

Agradeço aos meus mentores e queridos pais, Juan Luis e Maria das Graças, por me ensinarem como lidar com a vida e pelo imenso apoio durante toda minha trajetória;

À minha avó, Maria Esther, por todo amor oferecido e por ainda me inspirar até os dias de hoje;

À minha família, em especial para minha irmã, Ana Carla, por me ensinar, mesmo não sabendo que o faça, a ser uma pessoa melhor;

À minha orientadora Profa. Dra. Tânia M. Costa por todo suporte desde o momento que entrei na universidade. Um exemplo de gestora, pesquisadora, professora e pessoa. Sou imensamente grato por todo o período de orientação e amizade;

Ao meu coorientador Prof. Dr. Stefano Cannicci pelo auxílio científico durante o período de pesquisa no exterior;

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pelo suporte e estrutura para a elaboração desse estudo;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia) de Botucatu e seus funcionários, em especial ao Davi pela prestatividade e Prof. Antônio Castilho pela coordenação do Programa;

Aos amigos do Laboratório de Ecologia e Comportamento Animal (LABECOM) por todo auxílio em saídas de campo e laboratório, conversas científicas (ou não) e, principalmente, pela amizade;

À Universidade de Hong Kong pelo apoio durante o período de estágio no exterior, em especial a Sylvia, Cecily e Dr. Gray Willians pelo apoio técnico e estrutural;

À todos amigos das diversas fases da minha vida pelo imenso apoio;

À Profa. Dra. Alessandra Augusto pelas críticas construtivas feitas no trabalho e por compartilhar a infraestrutura do seu laboratório;

Aos membros do Laboratório de Sustentabilidade (LABSUSSA) em especial a Andressa e a Julia pelas dicas nas análises e amizade;

Aos membros da banca, Glauco Machado e Rafael Duarte, por aceitarem o convite de avaliar o nosso trabalho;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (processo nº 2017/00802-0, 2018/00577-0) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo nº 131970/2017-8) pelo apoio financeiro em diferentes períodos durante o mestrado.

Sumário

Resumo.....	8
Apresentação.....	9
Capítulo 1: Multiple stressors effects of warming and acidification in the embryonic development of an estuarine fiddler crab.....	11
Abstract.....	12
Introduction.....	13
Material and Methods.....	15
Results.....	23
Discussion.....	28
References.....	33
Acknowledges.....	43
Supplementary material.....	44
Capítulo 2: Maternal status carries species-specific responses to warming in fiddler crabs.....	49
Abstract.....	50
Introduction.....	51
Material and Methods.....	52
Results.....	53
Discussion.....	53
References.....	55
Acknowledges.....	58
Supplementary material.....	63
Considerações Finais.....	69
Referências bibliográficas.....	70

Resumo

A mudança climática antropogênica afeta a estrutura e funcionamento dos ecossistemas. O aquecimento e acidificação global estão entre os principais estressores. Habitats costeiros e estuarinos são dinâmicos e seus organismos são diretamente afetados pelas mudanças abióticas no ambiente. No presente estudo, verificamos como as fases potencialmente vulneráveis de organismos ectotérmicos estuarinos respondem às variações climáticas. Utilizando como modelo os caranguejos violinistas, um grupo-chave na conformação dos ambientes estuarinos, avaliamos respostas morfológicas e fisiológicas frente ao aumento da temperatura e/ou redução do pH. Inicialmente, caracterizamos o ambiente em que se desenvolvem os embriões do caranguejo do Atlântico *Leptuca thayeri*. Temperatura, pH e salinidade no microhabitat (tocas) foram diferentes do ambiente ao entorno. O desenvolvimento embrionário foi afetado por ambos estressores: o aumento da temperatura acelerou o desenvolvimento e diminuiu a sobrevivência independente do pH, sendo a concentração de amônia e volume dos ovos as variáveis resposta que evidenciam o efeito sinérgico entre pH e temperatura. Em uma abordagem interespecífica, demonstramos experimentalmente que a sensibilidade termal de fêmeas ovígeras varia de acordo com a espécie. Fêmeas ovígeras de *Gelasimus borealis* foram mais sensíveis ao aumento de temperatura do que não ovígeras, porém a tolerância termal de *L. thayeri* não variou independente do seu status reprodutivo. A temperatura média mensurada no habitat natural foi abaixo dos limites termais de ambas espécies, porém com extremos acima dos seus limites termais. Desse modo, demonstramos que fases vulneráveis dos caranguejos violinistas são sensíveis às variações abióticas previstas, porém as respostas podem ser individuais e espécie-específicas dependendo do estágio.

Apresentação

A mudança climática é inquestionável, sendo a ação antropogênica uma das suas principais causas nas últimas décadas (IPCC, 2014; Oreskes, 2018). A intensificação no aumento de gases pós era industrial alavancou o aumento da temperatura em escalas regionais e globais (Ahmed et al., 2013; IPCC, 2014). Grande parte do CO₂ emitido é absorvido pelos oceanos, alterando o balanço de carbonato (CO₃⁻²) e, conseqüentemente, reduzindo o pH (Feely et al., 2004). A acidificação e aquecimento global estão entre os principais estressores aos ambientes aquáticos, sobretudo os costeiros e estuarinos. Organismos encontrados nesses ambientes dinâmicos são adaptados às variações triviais (escalas diárias e sazonais) dos fatores abióticos e, usualmente, vivem perto aos seus limites fisiológicos, tornando-os suscetíveis a atual e futura variação de temperatura e pH (Helmuth et al., 2006; Vinagre et al., 2018).

Os padrões de fenologia, distribuição e plasticidade fisiológica e comportamental são reconhecidamente afetados pela mudança climática antropogênica (Sunday et al., 2012; Seebacher et al., 2015; Cohen et al., 2018). A variação acelerada dos fatores pode ser aquém a plasticidade fisiológica e comportamental ou adaptação a partir da seleção natural (Pistevos et al., 2011; Seebacher et al., 2015). Revisões demonstram a imensa lacuna no conhecimento acerca das respostas dos organismos frente às mudanças do clima nos trópicos e subtropicais, sobretudo do hemisfério sul (Sunday et al., 2012; Seebacher et al., 2015; Cohen et al., 2018). Segundo o IPCC (2014), a potência da circulação da corrente do Brasil pode ser reduzida em 44% até 2100, tornando a situação semelhante ao período de degelo. Somado ao aumento na frequência e intensidade de eventos extremos (e.g., ondas de calor, Oliver et al. (2018)), as implicações de tal variação climática aos habitats do Atlântico Sul, principalmente os costeiros e estuarinos, ainda são pouco conhecidas (Bernardino et al., 2015). Dessa forma, faz-se necessário estudos

comparativos e descritivos quanto a sensibilidade dos organismos frente aos futuros cenários climáticos.

Os capítulos desta dissertação visam preencher algumas dessas lacunas em fases reconhecidamente vulneráveis dos organismos, utilizando como modelo os caranguejos violinistas ou chama-maré. O grupo é utilizado em estudos comparativos e ecológicos dada sua importância na conformação dos habitats estuarinos (Cannicci et al., 2008; Natálio et al., 2017) e seus estágios de vida variarem de oceânico (fase larval) a semiterrestre (adultos). Embriões e larvas possuem adaptações fisiológicas e comportamentais aos estressores bióticos e abióticos, porém são tidas como fases potencialmente sensíveis aos estressores, sobretudo temperatura e pH (Przeslawski et al., 2015). Por outro lado, a sensibilidade de fêmeas ovígeras, uma fase de alto custo energético, frente ao aumento da temperatura, ainda não foi avaliada experimentalmente em ectotérmicos. Nesse sentido, no **Capítulo 1** verificamos como o aumento da temperatura e diminuição do pH, em níveis preditos para o final do século, pode afetar o desenvolvimento embrionário do caranguejo violinista *Leptuca thayeri*. No **Capítulo 2** avaliamos se as fêmeas ovígeras são mais sensíveis ao aumento da temperatura do que fêmeas não ovígeras. Nesse estudo, comparamos o limite termal de duas espécies, *L. thayeri* e *Gelasimus borealis*, de gêneros distintos, mas hábitos comportamentais semelhantes durante seu período reprodutivo. Dessa forma, a presente dissertação avaliou como as fases potencialmente vulneráveis de ectotérmicos estuarinos respondem as predições de aquecimento e acidificação global.

Considerações finais

“For centuries, scientists thought that earth processes were so large and powerful that nothing we could do would change them. This was a basic tenet of geological science: that human chronologies were insignificant compared with the vastness of geological time; that human activities were insignificant compared with the force of geological processes. And once they were. But no more. There are now so many of us cutting down so many trees and burning so many billions of tons of fossil fuels that we have become geological agents. We have changed the chemistry of our atmosphere, causing sea level to rise, ice to melt, and climate to change. There is no reason to think otherwise. And, in my view, there is, at this point in history, no excuse for not taking action to prevent the very significant losses that are likely to ensue—indeed, losses that are already becoming evident—if we sit around denying the reality that science has made clear.”

Oreskers, 2018

E.A. Lloyd, E. Winsberg
(eds.), *Climate Modelling*

Nossos resultados demonstram que as fases tidas como vulneráveis de caranguejos violinistas, ectotérmicos estuarinos de grande importância na conformação dos seus habitats, demonstram sensibilidade às variações abióticas atreladas à mudança climática antropogênica. Respostas fisiológicas e morfológicas revelam que o aumento da temperatura e redução do pH, preditos para o final do século, afetam negativamente e individualmente os organismos, podendo acarretar uma cascata de efeitos na dinâmica dos ecossistemas. Apesar de adaptados à constante variação abiótica, os organismos estuarinos, sobretudo as fases vulneráveis (embriões, larvas e fêmeas ovígeras), vivem perto dos seus limites fisiológicos com curtas janelas termais, resultando em uma tolerância limitada e sensível as variações preditas. Contudo, as respostas não ocorrem de forma absoluta e/ou são espécie-específicas, o que conduz a perguntas mais específicas quanto a tolerância e consequências nessas fases determinantes da ontogenia dos organismos. Apesar dos recentes esforços da comunidade científica, a literatura ainda

carece de informações mais realísticas sobre os efeitos das atuais e futuras mudanças nas condicionantes abióticas e suas interações nos ecossistemas. Estudos abordando estressores múltiplos ou isolados e seus efeitos a curto e longo prazo ao longo de gerações e interações tróficas são alguns exemplos de áreas a serem exploradas.

Referências

Ahmed, M., Anchukaitis, K.J., Asrat, A., Borgaonkar, H.P., Braidá, M., Buckley, B.M., Büntgen, U., Chase, B.M., Christie, D.A., Cook, E.R. and Curran, M.A., 2013. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nature Geoscience*, 6(5), p.339.

Bernardino, A.F., Netto, S.A., Pagliosa, P.R., Barros, F., Christofoletti, R.A., Rosa Filho, J.S., Colling, A. and Lana, P.C., 2015. Predicting ecological changes on benthic estuarine assemblages through decadal climate trends along Brazilian Marine Ecoregions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 166, pp.74-82.

Cannicci, S., Burrows, D., Fratini, S., Smith, T.J., Offenber, J., Dahdouh-Guebas, F., 2008. Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: a review. *Aquatic Botany* 89, 186–200.

Cohen, J.M., Lajeunesse, M.J. and Rohr, J.R., 2018. A global synthesis of animal phenological responses to climate change. *Nature Climate Change*, 8(3), p.224.

Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J. and Millero, F.J., 2004. Impact of anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ system in the oceans. *Science*, 305(5682), pp.362-366.

Helmuth, B., Mieszkowska, N., Moore, P. and Hawkins, S.J., 2006. Living on the edge of two changing worlds: forecasting the responses of rocky intertidal ecosystems to climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, pp.373-404.

IPCC, 2014. Climate change 2014: synthesis report. In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (Eds.), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Geneva, Switzerland (151 pp).

Natálio, L.F., Pardo, J.C., Machado, G.B., Fortuna, M.D., Gallo, D.G. and Costa, T.M., 2017. Potential effect of fiddler crabs on organic matter distribution: A combined laboratory and field experimental approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 184, pp.158-165.

Oliver, E.C., Donat, M.G., Burrows, M.T., Moore, P.J., Smale, D.A., Alexander, L.V., Benthuisen, J.A., Feng, M., Gupta, A.S., Hobday, A.J. and Holbrook, N.J., 2018. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, 9(1), p.1324.

Oreskes, N., 2018. The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong?. In *Climate Modelling* (pp. 31-64). Palgrave Macmillan, Cham.

Pistevos, J.C., Calosi, P., Widdicombe, S. and Bishop, J.D., 2011. Will variation among genetic individuals influence species responses to global climate change? *Oikos*, 120(5), pp.675-689.

Przeslawski, R., Byrne, M. and Mellin, C., 2015. A review and meta-analysis of the effects of multiple abiotic stressors on marine embryos and larvae. *Global Change Biology*, 21(6), pp.2122-2140.

Seebacher, F., White, C.R. and Franklin, C.E., 2015. Physiological plasticity increases resilience of ectothermic animals to climate change. *Nature Climate Change*, 5(1), p.61.

Sunday, J.M., Bates, A.E. and Dulvy, N.K., 2012. Thermal tolerance and the global redistribution of animals. *Nature Climate Change*, 2(9), p.686.

Vinagre, C., Mendonça, V., Cereja, R., Abreu-Afonso, F., Dias, M., Mizrahi, D. and Flores, A.A., 2018. Ecological traps in shallow coastal waters—Potential effect of heat-waves in tropical and temperate organisms. *PloS one*, 13(2), p.e0192700.