

Ensaio:

# SE EXTINÇÕES ASSOCIADAS A MUDANÇAS CLIMÁTICAS SÃO EVENTOS NATURAIS, POR QUE DEVEMOS NOS PREOCUPAR COM O CENÁRIO ATUAL?

Carlos A. Navas<sup>1</sup> e Ariovaldo Cruz-Neto<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fisiologia, Instituto de Biociências, USP – São Paulo, SP, Brasil

<sup>2</sup>School of Animal Biology, University of Western Australia – Perth, WA, Austrália

<sup>3</sup>Endereço permanente: Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP - Rio Claro, SP, Brasil

Recebido 06nov08 / Aceito 05dez08 / Publicação 30dez08

<sup>1</sup>carlos.a.navas@gmail.com

**Resumo.** O clima da Terra está mudando e, simultaneamente, presenciamos uma acelerada perda da biodiversidade. Grandes extinções derivadas de mudanças climáticas já aconteceram na vida na Terra. Estamos, então, presenciando mais um evento natural de extinção em massa? Este ensaio visa discutir essa pergunta.

**Palavras-chave.** Extinção, fisiologia, mudanças climáticas, sinergismo.

## IF EXTINCTIONS LINKED TO CLIMATE CHANGE ARE NATURAL EVENTS, WHY SHALL WE WORRY ABOUT THE CURRENT SCENARIO?

**Abstract.** The climate of Earth is changing in parallel to an accelerated biodiversity lost. Massive extinctions associated with climate change happened already along the history of life in the Earth. So, are we witnessing one more event of natural mass extinction? This essay aims to discuss this question.

**Keywords:** Extinction, physiology, climate change, synergism.

Ao longo da história da vida na Terra, os organismos sempre foram expostos a variações climáticas que têm sido, em boa parte, responsáveis pelos padrões atuais de diversidade, distribuição e abundância das espécies. Essas variações incluem as de caráter cíclico, como as estações, as abruptas, como tempestades, e as imprevisíveis e drásticas, como as decorrentes do impacto de corpos celestes, que possivelmente reformularam os padrões de diversidade da vida na Terra. A diversidade biológica é evidente na riqueza de espécies, mas também na enorme diversidade comportamental, morfológica e fisiológica presente nos organismos, o que os torna adequados para a vida sob certas condições. Se as condições climáticas mudam, podem ocorrer diferentes tipos de ajustes à nova condição, mudanças na distribuição das espécies ou até mesmo extinção local ou total. De fato, grandes extinções em massa foram possivelmente causadas por mudanças climáticas que aconteceram no passado (Hughes et al., 1997; Crowley et al. 1988; Myers & Knoll, 2001). No presente, vemos também o clima da Terra mudando e, simultaneamente, presenciamos uma acelerada perda da biodiversidade (Parmesan & Yohe, 2003; Hansen et al., 2006). Esse paralelo aparece ocasionalmente no debate interdisciplinar sobre mudanças climáticas globais, acompanhado às vezes da idéia, explícita ou implícita, de que estamos presenciando mais um dos muitos eventos naturais de extinção em massa que ocorreram e continuarão ocorrendo na Terra. Essa discussão merece um posicionamento por parte da comunidade atuante nas Ciências Biológicas.

Seria a alta taxa de extinção que vemos hoje um processo natural, isto é, uma continuidade ao que tem sido parte do histórico da vida na Terra desde o período Pré-cambriano? Para responder à pergunta acima é necessário definir primeiro o que é natural. Este adjetivo é aplicado, no seu senso mais amplo, a todos os fenômenos que são parte da natureza e, em um sentido mais restrito, aos que não são diretamente causados pelo homem. Se optarmos pela primeira acepção é conveniente esclarecer que natural não significa desejável, pois naturais são as extinções em massa, as erupções vulcânicas e os impactos de asteróides sobre a Terra. A discussão, então, é mais interessante quando o termo natural é aplicado aos processos não diretamente causados pela atividade humana contemporânea, que é o uso adotado a partir de agora neste texto. Sob esta ótica, o adjetivo natural não caberia às mudanças climáticas atuais, pois essas parecem decorrentes de uma complexa rede de causas, que incluem tanto processos eventualmente naturais quanto outros claramente derivados da atividade humana, com inúmeros e complexos nuances regionais (Hughes, 2000; Parmesan & Yohe, 2003). Agora, se a causa das mudanças climáticas atuais não é exclusivamente natural, também não são exclusivamente naturais os seus efeitos. Fenômenos biológicos decorrentes da ação antrópica não podem ser considerados naturais com base no argumento de que fatos análogos acontecem por causas naturais. Causas e efeitos não podem ser separados, sob o risco de se cair em uma discussão baseada em sofismas.

Outra pergunta é como se compara a escala temporal do atual processo de extinção de

espécies com aquelas de eventos do passado. Cabe diferenciar aqui as taxas de extinção durante as grandes extinções massivas das chamadas taxas de extinção de fundo, calculadas a partir do registro fóssil entre os grandes eventos de extinção. Já houve na Terra eventos de extinção massiva de espécies em curtos períodos de tempo, mas esses parecem ter sido causados por acontecimentos dramáticos e pontuais. Um exemplo é a extinção que aconteceu durante a transição Cretáceo-Terciário, aparentemente causada pelo impacto de um asteróide sobre a Terra que modificou abruptamente o clima alterando inúmeros processos ecológicos (McLeod et al, 1997). Fora desses períodos, as taxas de extinção de fundo calculadas são de aproximadamente um evento de extinção por ano para cada um milhão de espécies (Pimm & Raven, 2000). Para certos grupos sistemáticos as atuais taxas de extinção de espécies são muito maiores do que as taxas de fundo, tanto que alguns autores defendem a idéia de que observamos um evento comparável às cinco grandes extinções do passado (Pimm & Raven, 2000; Wake & Vredenburg, 2008). Por exemplo, calcula-se que, desde o ano 1500, a taxa de extinção de espécies de aves tem atingido 100 vezes os valores da taxa de fundo, o que evidencia o crescente impacto da ação antrópica (Pimm et al., 2006). As mudanças climáticas contemporâneas parecem ser o principal agente responsável pela aceleração marcada e recente da taxa de extinção de espécies (Sekercioglu et al., 2008; Wake & Vredenburg, 2008).

Para entender por que as mudanças climáticas podem acelerar taxas de extinção é necessário pensar em ajustes morfofisiológicos, pois são esses a principal ferramenta que permite aos organismos se adequar a modificações no entorno físico. As extinções do passado associadas às taxas de fundo operaram ao longo de uma janela temporal compatível com processos macro evolutivos em diversas linhagens é lícito supor que foram acompanhadas de surgimentos de novas linhagens. Esse tipo de cenário permite o surgimento de ajustes talhados por seleção natural e apropriados para novas contingências climáticas que venham aparecer naturalmente. Se, pelo contrário, mudanças climáticas acontecem em escalas temporais que fogem das possibilidades de ajuste evolutivo, como parece ser o caso do fenômeno atual, muitas linhagens podem não acompanhar as mudanças ora em curso. Quanto maior o tempo inter-geracional das espécies, e quão mais rápidas são as mudanças ambientais, menor a capacidade de resposta adaptativa por parte dos organismos. Algumas linhagens eventualmente conseguirão adaptar-se evolutivamente às rápidas mudanças climáticas atuais, e outras poderão responder via ajustes fisiológicos individuais. Esses ajustes, apesar de rápidos,

são limitados em escopo em comparação aos decorrentes de processos de adaptação evolutiva. A comunidade científica não dispõe ainda de dados suficientes para generalizar sobre as taxas de evolução da fisiologia, o escopo das respostas de aclimatização e a diversidade associada a ajustes fenotípicos no contexto fisiológico. Essas áreas de pesquisa, porém, vêm crescendo de forma acelerada e adquirindo enorme importância no panorama contemporâneo de mudanças climáticas (Wikelski & Cook, 2006; Portner & Farrell, 2008).

Conforme elaborado acima, as recentes mudanças no clima parecem de fato ser a causa de muitas das extinções que vemos atualmente (ver também Thomas et al. 2004), mas existem complicações e nuances que devem ser levados em consideração. A pesquisa em ecofisiologia sugere que muitas espécies têm amplitudes de resposta insuficientes para resistir às variações previstas nos cenários de mudanças climáticas globais, e que os ajustes comportamentais, que a priori parecem convenientes, não ocorrem obrigatoriamente. Um grande número de espécies de aves do hemisfério norte, por exemplo, não conseguiu ajustar seu padrão reprodutivo em face das rápidas mudanças climáticas ora em curso, reproduzindo-se em condições sub-ótimas (Moller et al., 2008). Além disso, linhagens que evoluíram sob condições de pouca variação na temperatura parecem ter um leque restrito de respostas a alterações termais e alta probabilidade de extinção quando expostas à mudanças climáticas (Carpenter et al. 2008; Wilson & Franklin, 2002). Um exemplo clássico são os ecossistemas coralinos (Carpenter et al., 2008). Outras linhagens, em contraste, habitam ambientes termais variáveis, exibindo menor sensibilidade à variação ambiental e um repertório de respostas mais amplo frente às mudanças climáticas. Essas respostas se enquadram geralmente no conceito de aclimatização, nome dado a diversos ajustes abrangentes que ocorrem em diferentes níveis celulares e requerem dispêndio de energia (Spicer & Gaston, 1999). Espécies com alta capacidade de aclimatização são em geral tolerantes a mudanças climáticas, mas, em situações crônicas o balanço energético dos indivíduos pode se tornar desfavorável, prejudicando o crescimento populacional e causando extinção local.

Um ponto que merece especial destaque é que as mudanças climáticas que estão acontecendo atualmente atuam paralelamente a inúmeras outras pressões ambientais sobre a biota (Lewis, 2006). Assim, temos no presente um complexo cenário de efeitos sinérgicos que muito possivelmente dificultam mais ainda os ajustes fisiológicos à nova situação. Mesmo sendo concebível pensar em ajustes de parte da biota a pequenas mudanças de clima em cenários locais, um contexto realista e contemporâneo de

variação ambiental pode incluir alterações simultâneas na temperatura média, nos extremos de temperatura, no padrão de chuva, na intensidade da radiação ultravioleta, na concentração de poluentes e muitas outras variáveis relevantes. Mais ainda, convém lembrar que essas variações ocorrem em um contexto de habitat descontínuo, fragmentado e exposto continuamente a agentes patogênicos e espécies exóticas (Brook et al., 2008). O ajuste simultâneo a este conjunto de variáveis pode constituir um desafio fisiológico formidável ou simplesmente inatingível. Voltando à discussão original, tal nível de sinergia em escalas de tempo micro-evolutivas é, muito possivelmente, uma conjuntura exclusiva do contexto contemporâneo.

Em resumo, presenciamos uma época de mudanças climáticas em escala global e regional que acontecem de maneira extremamente rápida e associada a muitos outros tipos de impacto ambiental. Pela sua velocidade, esse conjunto de mudanças limita as possibilidades de repostas da biota, acelerando neste cenário sinérgico a taxa de extinção das linhagens biológicas. Tal fenômeno não pode ser considerado natural, pois é substancialmente decorrente da atividade humana, e difere das grandes extinções em massa que aconteceram no passado não só nas causas, mas também na escala temporal e na própria índole do fenômeno. Essa é a primeira vez, na história da Terra, que nós, espécie humana, temos consciência da destruição em larga escala de outras espécies e, ao ser a causa ciente do fenômeno, temos responsabilidade sobre o mesmo. Respondendo ao título, concluímos que a extinção de linhagens associada às mudanças climáticas atuais não pode ser considerada como um evento natural, nem como mais um episódio de extinção em massa comparável a outros que aconteceram no passado histórico da vida na Terra. É um fenômeno de perda de diversidade biológica sem precedentes, acelerada pela sinergia e reduzida escala temporal. E isso é, certamente, preocupante.

**Agradecimentos.** Desejamos consignar nossos agradecimentos à diretoria do IB pelo apoio a esta iniciativa de comunicação científica e ao corpo editorial da mesma. Felipe Bandoni Oliveira e José Eduardo Marian fizeram importantes e detalhadas contribuições ao manuscrito original que melhoraram significativamente a qualidade do texto final.

## Bibliografia

- Brook, B.W.; N.S. Sodhi, & J.A.C. Bradshaw. Synergies among extinction drivers under global change. *Trends in Ecology and Evolution* v.23 p.453-460. 2008.
- Carpenter, K.E. et al. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science* v.321 p.560-563. 2008.
- Crowley, T.J., North, G.R. Abrupt climate change and extinction events in Earth history. *Science* v.240 p.996-1002. 1988.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea & M. Medina-Elizade. Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.103 p.14288 – 14293. 2006.
- Hughes, J.B., G.C. Daily & P. R. Ehrlich. Population diversity: its extent and extinction. *Science* v.278 p.689-692. 1997.
- Hughes, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution* v.15 p.56-61. 2000.
- Lewis, O.T. Climate change, species-area curves and the extinction crisis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* v.361 p.163-171. 2006.
- McLeod, N., P.F. Rawson, P.L. Forey, F.T. Banner, M.K. Boudagher-Fadel, P.R. Brown, J.A. Burnett, P. Chambers, S. Culver, S.E. Evans, C. Jeffrey, M.A. Kaminski, A.R. Lord, A.C. Milner, A.R. Milner, N. Morris, E. Owen, B.R. Rosen, A.B. Smith, P.D. Taylor, E. Urquhart & J.R. Young. The Cretaceous-Tertiary biotic transition. *Journal of the Geological Society, London* v.154 p.265-292. 1997.
- Moller, A.P.; D. Rubolini, & E. Lehikoinen. Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.105 p. 16195-16200, 2008.
- Myers, N.H. & A.H. Knoll. The biotic crisis and the future of evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.98 p.5389-5392. 2001.
- Parmesan, C. & G. Yohe. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* v.421 p.37-42. 2003.
- Pimm, S. & P. Raven. Extinction by numbers. *Nature* v.403 p.843-845. 2000.
- Pimm, S., P. Raven, A. Peterson, C.H. Sekercioglu & P.R. Ehrlich. Human impacts on the rates of recent, present, and future bird extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.103 p.10941-10946. 2006.
- Portner, H.O. & A.P. Farrell. Physiology and climate change. *Science* v.322 p.690 – 692. 2008.
- Sekercioglu, C.H., H.S. Scheneider, J.P. Fay & S.R. Loarie. Climate Change, Elevational Range Shifts, and Bird Extinctions. *Conservation Biology* v.22 p.140-150. 2008.
- Spicer, J.I. & K.J. Gaston. *Physiological Diversity and its Ecological Implications*. Blackwell Science, Oxford. 1999.
- Thomas, C.D. et al. Extinction risk from climate change. *Nature* v.427 p.145-148. 2004.
- Wake, D.B. & Vredenburg, V.T. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.105 p.11466–11473. 2008.
- Wilson, R.W. & C.E. Franklin. Testing the beneficial acclimation hypothesis. *Trends in Ecology and Evolution* v.17 p.66-70. 2002.
- Wikelski, M. & S.J. Cook. Conservation Physiology. *Trends in Ecology and Evolution* v.21 p.38-46. 2006.