

CONSERVANDO A HISTÓRIA EVOLUTIVA DE RADIAÇÕES RÁPIDAS E RECENTES: UM ESTUDO COM UM CLADO ENDÊMICO EM CAMPOS RUPESTRES

Raquel C. Pizzardo¹, Eimear Nic Lughadha², Juliana G. Rando³, Felix Forest², Barneby Walker², Luana S. Prochazka⁴, Anselmo Nogueira⁴, Thais N. C. Vasconcelos⁵

1. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo
2. Departamento de Ciência da Conservação, Royal Botanic Gardens, Kew, UK
3. Centro das Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Oeste da Bahia
4. Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal do ABC
5. Departamento de Ciências Biológicas, University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA / Orientadora

Resumo

A extinção de espécies em resposta às atividades humanas tem aumentado recentemente. Locais de grande biodiversidade são o foco de projetos de conservação, mas, agora, a conservação da história evolutiva também é um aspecto importante a ser considerado. Cadeias de montanhas têm chamado a atenção por sua grande biodiversidade, principalmente pela riqueza de espécies de plantas e sua associação com radiações recentes e rápidas. Pretendemos aqui avaliar a conservação da história evolutiva de radiações rápidas e recentes nos campos rupestres, um ecossistema associado a cadeias de montanhas no leste do Brasil. Para isso, foram implementados o método EDGE e a diversidade filogenética, no clado *Chamaecrista* ser. *Coriaceae* (Fabaceae). No geral, nosso estudo evidencia tanto a necessidade de conservação de campos rupestres quanto a carência de dados usando métodos explícitos de avaliação para seleção adequada de áreas a serem conservadas nos locais com evidência de radiação rápidas e recentes.

Autorização legal: Não se aplica.

Palavras-chave: Cadeias de Montanhas; EDGE; Diversidade filogenética.

Apoio financeiro: FAPESP

Trabalho selecionado para a JNIC: Pró-Reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo

Introdução

A biodiversidade global está sob extrema pressão por consequência da atividade humana, sendo o declínio da diversidade de plantas particularmente perceptível (Brummitt et al. 2015; Butchart et al. 2010). Segundo Humphreys et al. (2019), em uma análise global da extinção moderna em plantas, quase 600 espécies já foram extintas na modernidade. Esses resultados, combinados com outros estudos destacam a necessidade de políticas de conservação eficazes, incluindo a priorização de áreas, um dos maiores desafios na Biologia da Conservação. Apesar de muitas espécies estarem enfrentando várias ameaças, escolher quais são prioritárias para conservação é uma tarefa difícil, ainda mais quando se considera a questão de distribuição de recursos limitados (Pimm et al. 2001). Abordagens que consideram *hot spots* de biodiversidade, bem como áreas de endemismo, são comumente usadas para identificar regiões prioritárias para alocação de recursos. Porém, embora este seja um método eficaz, a conservação da chamada história evolutiva passou a ser importante, exigindo novas análises que incorporem essa característica (Mace et al. 2003). Métodos como o de Diversidade Filogenética (Faith 1992) e, mais recentemente, o EDGE (*Evolutionary Distinct and Globally Endangered*; Isaac et al. 2007), são exemplos de técnicas que tentam incorporar a história evolutiva dos organismos na conservação da biodiversidade.

Cadeias de montanhas têm chamado a atenção por englobar uma grande biodiversidade, principalmente na questão da riqueza de espécies de plantas e sua associação com radiações recentes e rápidas que ocorrem nessas regiões (Antonelli et al. 2018). No Brasil, podemos destacar os campos rupestres, um ecossistema associado às cadeias de montanhas no leste do Brasil, e, portanto, à radiações rápidas e recentes. O campo rupestre é composto principalmente pela Cadeia do Espinhaço e Chapada dos Veadeiros, bem como é caracterizado pelo alto endemismo, riqueza e composição única de espécies (Giulietti et al. 1997; Silveira et al. 2016). Considerando a questão da conservação da história evolutiva, bem como o que torna os campos rupestres um ecossistema único, nosso objetivo foi avaliar a conservação dos processos evolutivos nessas cadeias de montanhas a partir do uso dos métodos mencionados acima.

Metodologia

Considerando a aplicabilidade dos métodos de PD e EDGE, escolhemos como grupo modelo a série *Coriaceae* do gênero *Chamaecrista* (Fabaceae), já que esta possui uma filogenia robusta, calibrada para escala de tempo e previamente publicada, bem como por ter espécies distribuídas de modos distintos, ou seja, tanto endêmicas quanto de ampla distribuição pelos campos rupestres (Rando et al. 2016, 2019). Um banco de dados

de pontos de distribuição, partindo das plataformas públicas do speciesLink e ReFlora, foi construído para todas as espécies do grupo, considerando a exatidão dos pontos de ocorrência e a identificação correta das coletas. Esses pontos foram usados para: Avaliação de Risco (Lista Vermelha da IUCN) usando a plataforma ArcGIS, atribuindo assim uma categoria de risco de extinção para cada espécie, as quais variam de Menos Preocupante (LC) a Criticamente em Perigo (CR); e para a modelagem de distribuição de espécies (SDMs) com uso do pacote *sdm* na plataforma R, criando um modelo de distribuição por espécie. Tais modelos foram então binarizados e usados para cálculo da Riqueza de Espécies (SR) e mapeamento descritos a seguir.

O método EDGE une tanto a questão evolutiva quanto a de ameaça. Para isso, as categorias atribuídas a partir da Avaliação de Risco são convertidas a números previamente determinados (LC = 0.00005, NT = 0.004, VU = 0.05, EN = 0.42, CR = 0.97) e depois são unidas aos valores de singularidade evolutiva (ED), resultantes da filogenia já disponível, seguindo a fórmula: $EDGE = \ln(ED * ER)$ (Mooers et al. 2008). Assim, a partir dessa metodologia, criamos valores únicos de EDGE por espécie, o que permite o ranqueamento destas baseado nesse método. Utilizamos então os SDMs previamente construídos, bem como a filogenia, para calcular o valor de PD, que é a soma dos comprimentos de ramos da filogenia dentre todas as espécies em um determinado local, por quadricula nos modelos. Todos esses cálculos foram feitos com o uso da plataforma R.

Assim, com o intuito de identificar áreas relevantes para a conservação de *Chamaecrista ser. Coriaceae*, mapas de SR, ED, ER, EDGE, PD e resíduos resultantes de regressões lineares entre essas medidas, foram construídos a partir dos SDMs binarizados na plataforma R. Esses mapas resultam da soma dos valores para cada quadricula nos mapas, representando o valor total para cada parâmetro. Todos os mapas foram importados e manipulados usando a plataforma ArcGIS (versão 10.4.1). Para permitir a comparação entre os diferentes mapas, os mapas de SR foram construídos utilizando intervalos iguais, enquanto a classificação quantil foi utilizada para ED, ER, EDGE, PD e resíduos associados.

Resultados e Discussão

De todas as espécies de *Chamaecrista ser. Coriaceae* avaliadas, doze estão classificadas em categorias de ameaça. Nenhuma delas está como Criticamente em Perigo (CR), mas nove estão Em Perigo (EN), três em Vulnerável (VU) e sete em Pouco Preocupante (LC). As categorias que revelamos para *Chamaecrista ser. Coriaceae* destacaram a atual ameaça que o ecossistema do campo rupestre enfrenta. Segundo o PAN - Serra do Espinhaço Meridional (2015), cerca de 256 espécies ocorrentes no campo rupestre encontram-se em perigo relativo, que se enquadram nas categorias de CR, EN e VU. Em nosso trabalho avaliamos mais 17 espécies e reavaliamos duas das quais já estavam no PAN (*Chamaecrista lagotois* e *Chamaecrista aristata*), incorporando agora mais 12 espécies em situação de perigo apenas para a porção sul da Cadeia do Espinhaço (por exemplo, o Planalto Diamantina e o Serra do Cipó). Além disso, das 64 espécies de *Chamaecrista* descritas apenas no Planalto Diamantino (Cota et al. 2020), cerca de 15% (10 espécies da ser. *Coriaceae* aqui avaliadas) estão enquadrados na categoria de ameaçadas. Esse achado se alinha bem com o que era esperado, mas como a maioria das categorias são as mesmas e têm congruência com outros grupos de plantas avaliados anteriormente, não nos mostra uma priorização da conservação. Para isso, exploramos o ranque com base nos valores EDGE.

Quando comparadas as categorias de ameaça com as classificações de EDGE para as espécies, estas foram consistentes, de modo que todas as espécies categorizadas como de menor preocupação apresentaram baixos valores de EDGE. A espécie que ficou em primeiro lugar, ou seja, com maior valor de EDGE, foi *Chamaecrista aristata*, com EN de categoria e 0,9187 de EDGE. Entretanto, quando observamos todos os valores de EDGE atribuídos, em comparação com outros estudos usando o mesmo método (por exemplo, Forest et al. 2018; Hills et al. 2019), observamos que *Chamaecrista ser. Coriaceae* tem valores EDGE relativamente baixos. Como consequência das radiações rápidas e recentes características desta região montanhosa, a filogenia deste clado endêmico tem comprimentos de ramo curto, impactando diretamente nos valores de ED e, por consequência, nos de EDGE.

Em relação aos mapas de diversidade, houve congruência na distribuição dos valores ER, ED e EDGE e similaridade com a distribuição SR por quadricula. O mapa SR mostra que o número máximo de espécies por célula ocorre na porção sul da Serra do Espinhaço, especialmente nas regiões da Serra do Cipó e Planalto Diamantina, com diversidade menor, mas ainda evidente na região de Grão Mogol. Além disso, embora os valores máximos de ED também destaquem a parte sul, tem-se leve ênfase na porção norte da Cadeia do Espinhaço. De acordo com os resíduos dos mapas ED e EDGE, a região de Grão Mogol é a mais destacada. Essa evidência mostra que essa região possui os maiores valores de ambas as métricas por quadricula, mas não o maior número de espécies que ali ocorrem, suavizando o viés do SR causado pela soma dos valores por quadricula. A distribuição dos valores de PD seguiu um padrão semelhante ao descrito para os mapas de diversidade, de modo que os resíduos também destacam a região de Grão Mogol, corroborando a importância desta região para a diversidade de *Chamaecrista ser. Coriaceae* no campo rupestre.

Conclusões

De modo geral nossos resultados mostram a necessidade de conservação dos campos rupestres. Diversos trabalhos já publicados destacam a importância de preservação desse ecossistema por suas características únicas (e.g. Silveira et al. 2016), de modo que as categorias aqui evidenciadas corroboram essas premissas. Além disso, é notável que os campos rupestres necessitam de políticas de conservação que levem em consideração aspectos além dos pautados pela Lista Vermelha da IUCN. Os campos rupestres, bem como áreas montanhosas no geral, possuem taxas altas de especiação, relacionadas às radiações rápidas e recentes,

o que eleva esses locais a essenciais na geração de novas espécies. Tal aspecto em conjunto com o já descrito perigo enfrentado pela flora desse ecossistema, coloca em evidência os campos rupestres como prioritários para a conservação das espécies também por conta de sua história evolutiva. Assim, nossos resultados corroboram isso e dão robustez a necessidade de conservação desse ecossistema não apenas para uma mera preservação das espécies hoje lá existentes, mas também como local de potencial surgimento de novas linhagens, colocando ainda certas porções da cadeia de montanhas como prioritárias para conservação.

Ademais, quando comparamos nossos estudos com outros e observamos a diferença de valores em resposta às radiações rápidas e recentes já descritas, nosso trabalho também evidencia a carência de dados usando métodos explícitos de avaliação para seleção adequada de áreas a serem conservadas nesses locais. Mostramos assim que a aplicação pura do método, quando pensamos em ambientes heterogêneos como as Cadeias de Montanhas, não é o suficiente para o debate adequado da priorização de conservação. É necessário assim adequação dos métodos e exploração de metodologias mais adequadas.

Referências bibliográficas

- Antonelli, A., Kissling, W. D., Flantua, S. G. A. et. al (2018). Geological and climatic influences on mountain biodiversity. In Nature Geoscience (Vol. 11, Issue 10).
- Brummitt, N. A., Bachman, S. P., Griffiths-Lee, J. et. Al (2015). Green plants in the red: A baseline global assessment for the IUCN Sampled Red List Index for Plants. PLoS ONE, 10(8).
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B. et. al (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. Science, 328(5982).
- Cota, M.M.T., Rando, J.G., Melo-Silva, R. (2020). *Chamaecrista* (Leguminosae) of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil, with six new species and taxonomic novelties. Phytotaxa, 496(1), 1-82.
- Faith, D. P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. Biological Conservation, 61(1).
- Forest, F., Moat, J., Baloch, E. et. al (2018). Gymnosperms on the EDGE. Scientific Reports, 8(1).
- Giulietti, A. M., & Pirani, J. R. (1997). Espinhaço range region, eastern Brazil. In Centres of plant diversity: A guide and strategy for their conservation (Vol. 3).
- Hills, R., Bachman, S., Forest, F. et. al (2019). Incorporating evolutionary history into conservation assessments of a highly threatened group of species, South African Dioscorea (Dioscoreaceae). South African Journal of Botany, 123, 296–307.
- Humphreys, A. M., Govaerts, R., Ficinski, S. Z. et. al (2019). Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery. Nature Ecology and Evolution, 3(7), 1043–1047.
- Isaac, N. J. B., Turvey, S. T., Collen, B. et. al (2007). Mammals on the EDGE: Conservation priorities based on threat and phylogeny. PLoS ONE, 2(3).
- Mace, G. M., Gittleman, J. L., & Purvis, A. (2003). Preserving the tree of life. In Science (Vol. 300, Issue 5626, pp. 1707–1709).
- Mooers A.Ø., Faith D.P., Maddison W.P. (2008). Converting Endangered Species Categories to Probabilities of Extinction for Phylogenetic Conservation Prioritization. PLoS One, 3(e3700).
- Rando J.G., Zuntini A.R., Conceição A.S. et. al (2016). Phylogeny of *Chamaecrista* ser. *Coriaceae* (leguminosae) unveils a lineage recently diversified in brazilian campo rupestre vegetation. Chicago Journal 10585893/2016/17701.
- Rando J.G., Pirani J.R., Cota M.M.T. et al. (2019). New circumscription, morphology and synopsis of *Chamaecrista* sect. *Chamaecrista* ser. *Coriaceae* (Leguminosae). Brittonia ISSN 0007-196X.
- Pimm, S. L., Ayres, M., Balmford, A. et. al (2001). Can we defy nature's end? In Science (Vol. 293, Issue 5538, pp. 2207–2208).
- Pougy N., Verdi M., Martins E. et. al (2015). Plano de Ação Nacional (PAN) para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional. CNCFlores: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Andrea Jakobsson Estúdio, Rio de Janeiro. 100 p.
- Silveira, F. A. O., Negreiros, D., Barbosa, N. P. U. et. al (2016). Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. In Plant and Soil (Vol. 403, Issues 1–2).