



ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA) DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DE *KRAMERIA* LOEFL. (KRAMERIACEAE)

T. C. Giannini¹

A. Takahasi¹; M. C. M. P. Medeiros¹; A. M. Saraiva²; I. Alves - dos - Santos¹

¹Instituto de Biociências da USP. Rua do Matão, trav. 14, n. 321. Cidade Universitária, São Paulo, SP. 05508 - 900.

²Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158. Cidade Universitária, São Paulo, SP. 05508 - 900. giannini@usp.br

INTRODUÇÃO

O gênero *Krameria* Loeff. (Krameriaceae) possui 18 espécies herbáceas ou arbustivas com distribuição Neotropical. O centro primário de diversidade específica está localizado no México onde ocorrem onze espécies, e o secundário no Brasil com cinco espécies. Existem duas características diferenciadas deste gênero. Uma delas consiste no hábito hemiparasita pouco seletivo com relação ao hospedeiro (plantas herbáceas ou arbustivas), e a outra consiste em um sistema reprodutivo que envolve a relação obrigatória com abelhas do gênero *Centris* (Centridini, Apidae) (Vogel 1974, Simpson 1989). As *Krameria* apresentam glândulas especializadas na produção de óleo floral atrativo para as abelhas que, ao coleta - lo, polinizam as flores.

A distribuição das espécies de *Krameria* em relação às diferentes regiões das Américas é caracterizada por algumas particularidades. As espécies da América do Norte ocorrem predominantemente em solos rochosos e estão associadas a áreas secas ou desérticas do México e dos EUA. As espécies da América do Sul estão associadas com áreas sazonalmente secas, principalmente no cerrado e caatinga do Brasil, ou com regiões de altas altitudes nos Andes (Simpson 1989). Esses grupos que englobam as espécies da América do Norte e do Sul também foram evidenciados na análise filogenética do gênero (Simpson *et al.*, 2004) que resultou em dois cladogramas principais.

Porém, a caracterização e a importância das variáveis climáticas de cada uma dessas regiões ainda não foram discutidas, o que poderia facilitar a compreensão da ecologia e biogeografia do grupo. O clima tem um papel significativo em limitar a distribuição de uma espécie (Gaston 2003, Kühn *et al.*, 2006) e é um dos fatores que define seu nicho ecológico (Hutchinson 1957). A importância da análise do nicho ecológico e das variáveis ambientais na filogenia de um gênero diverso que ocorre em regiões heterogêneas foi demonstrada no estudo de Rice *et al.*, (2003). Brown e Lomolino (2006) afirmaram que, em geral, a dis-

tribuição das plantas parece ser limitada por padrões na temperatura em associação com outras condições ambientais, como a disponibilidade de água e composição química do solo. Padrões diferenciados de associação entre clima e distribuição têm sido encontrados, especialmente em nível regional (Fang e Lechowicz 2006).

OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho foram analisar quais variáveis climáticas explicam melhor a distribuição geográfica das espécies de *Krameria* e discutir os resultados encontrados em relação à filogenia apresentada por Simpson *et al.*, (2004).

MATERIAL E MÉTODOS

Os pontos de ocorrência das 18 espécies de *Krameria* foram obtidos a partir de sítios na Internet que apresentam dados de herbários, especialmente o Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org/>), Southwest Environmental Information Network (<http://seinet.asu.edu/>), Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (<http://www.conabio.gob.mx/>) e speciesLink (<http://splink.cria.org.br/>). Também foram feitas consultas a herbários paulistas e aos artigos de Simpson (1989) e Simpson *et al.*, (2004). Quando a informação sobre as coordenadas geográficas não estava presente nas fontes consultadas utilizou - se as coordenadas dos municípios onde as coletas foram feitas. Esses dados foram conferidos e corrigidos, quando necessário, através das ferramentas disponíveis no sítio do speciesLink.

A partir das coordenadas encontradas foi feita a modelagem de nicho ecológico utilizando - se o sistema computacional openModeller versão 1.0.6. (Santana *et al.*, 2008) e o algoritmo GARP (*Genetic Algorithm for Rule - set Production*)

(Stockwell e Peters 1999; Stockwell *et al.*, 2006). Foram utilizadas 37 camadas de variáveis ambientais com resolução de 9km2 obtidas no Worldclim (<http://www.worldclim.org>) que apresentam médias para os últimos 50 anos para temperaturas máximas e mínimas e precipitação (12 meses) e altitude (Hijmans *et al.*, 2005). Como um subproduto da modelagem por meio do openModeller obtém - se uma planilha na qual, para cada ponto de ocorrência utilizado, são atribuídas as variáveis ambientais encontradas para aquele ponto. Estes valores foram utilizados para analisar as faixas de amplitude das variáveis climáticas obtidas e para conduzir a PCA (*Principal Component Analysis*) com o intuito de examinar quais variáveis climáticas estão mais associadas com a distribuição geográfica de *Krameria*.

Inicialmente, a matriz original obtida pela modelagem, contendo a totalidade dos pontos de ocorrência, foi reduzida através de sorteio de 10 pontos para cada espécie e seus dados foram centralizados e padronizados. Como diversas variáveis apresentaram alto valor de correlação (valores superiores a 0,90), algumas foram excluídas da análise selecionando - se apenas uma entre os pares altamente correlacionados. Assim, obteve - se uma matriz final para a análise de PCA com 176 pontos de ocorrência e seis variáveis ambientais: precipitação e temperaturas máxima e mínima nos meses de novembro e maio. A fim de obter uma configuração mais facilmente interpretável das variáveis nos eixos da PCA procedeu - se à rotação dos dados *a posteriori*, do tipo Varimax, através do programa SPSS v.13.0 (SPSS for Windows, Chicago, Illinois, EUA).

RESULTADOS

Foram localizados 2.748 pontos de ocorrência para as 18 espécies analisadas. As espécies com maior número de pontos foram *K. erecta* (762 pontos), *K. grayi* (512) e *K. lanceolata* (467) e com menor número foram *K. paucifolia* (7 pontos), *K. bahiana* (17) e *K. sonorae* (19).

As áreas de ocorrência das espécies do Hemisfério Norte (*K. cytisoides*, *K. erecta*, *K. grayi*, *K. lanceolata*, *K. pauciflora*, *K. paucifolia*, *K. ramosissima*, *K. secundiflora*, *K. sonorae*) apresentaram maior amplitude de temperatura e menor amplitude de precipitação.

As áreas de ocorrência das espécies andinas (*K. cistoidea* e *K. lappacea*) apresentaram temperaturas mais baixas e baixas precipitações. As demais espécies da América Central e do Sul (*K. ixine*, *K. revoluta*, *K. argentea*, *K. bahiana*, *K. grandiflora*, *K. spartioides*, *K. tomentosa*) ocorrem em áreas que apresentaram menor amplitude de temperatura e maior amplitude de precipitação que as do Hemisfério Norte.

Os dois primeiros componentes principais obtidos com a PCA explicaram respectivamente, 57% da variação dos dados e 19%, totalizando 76%.

A variável climática mais associada à distribuição das espécies ao longo do eixo 1 do diagrama da PCA foi a temperatura mínima em novembro (*loading value* = 0,4976), enquanto que o eixo 2 esteve associado à temperatura máxima em maio (*loading value* = 0,6668).

A interpolação entre os eixos 1 e 2 mostrou que as espécies de *Krameria* da América do Norte (*K. erecta*, *K. grayi*,

K. pauciflora, *K. paucifolia*, *K. ramosissima*, *K. sonorae*, *K. cytisoides*, *K. lanceolata* e *K. secundiflora*) estão associadas ao lado positivo do eixo 1 enquanto as espécies andinas (*K. cistoidea* e *K. lappacea*) polarizam o lado negativo desse mesmo eixo. Nas áreas analisadas do Hemisfério Norte, as temperaturas mínimas obtidas nos meses mais frios (novembro a fevereiro) podem atingir valores negativos. Já as regiões de ocorrência das espécies andinas apresentam baixa amplitude térmica e os valores mais baixos de temperaturas mínimas e máximas ao longo do ano. Essas características da temperatura, evidenciadas pela Análise dos Componentes Principais, são as que mais influenciam a distribuição dessas espécies. Já as espécies da América do Sul, excetuando - as as andinas, (*K. argentea*, *K. bahiana*, *K. grandiflora*, *K. spartioides* e *K. tomentosa*) foram associadas ao lado positivo do eixo 2. Esse grupo de espécies ocorre em áreas onde as temperaturas máximas obtidas para os meses mais frios (maio a julho) podem chegar até 30oC, definindo condições diferentes das encontradas para as espécies de *Krameria* do Hemisfério Norte. Estas últimas espécies estão associadas ao lado negativo do eixo 2, e ocorrem em regiões onde as máximas nos meses mais quentes (maio a julho) podem atingir até 38oC.

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que as temperaturas máximas e mínimas apresentaram maior influência na distribuição das espécies de *Krameria* do que as precipitações. Por outro lado, a influência da precipitação sobre a distribuição do gênero tem um caráter mais geral, e provavelmente, propiciou a ocupação dos ambientes secos ou sazonalmente secos pelas plantas.

A análise filogenética das espécies de *Krameria* baseada em caracteres morfológicos e moleculares apresentada por Simpson *et al.*, (2004) também discutiu as diferenças na distribuição das espécies que ocorrem nos dois hemisférios. Foram sugeridos dois clados principais, compostos cada um, por dois subclados.

O clado 1 apresenta as duas espécies andinas em um subclado (C1S1), e no outro, as espécies de ocorrência predominante nos desertos dos EUA e México (C1S2). O clado 2 apresenta as espécies da América do Sul (exceto Andes) e *K. ixine* em um subclado (C2S1), enquanto que no outro, estão as outras espécies dos EUA e México mais a espécie *K. revoluta* (C2S2) (Simpson *et al.*, 2004).

Os autores rejeitaram a hipótese de um clado totalmente norte - americano e outro sul - americano, sugerindo a existência de um ancestral comum que, a partir de uma divisão inicial, conduziu aos ancestrais dos dois clados, que subsequentemente, produziram radiações no norte e sul das Américas. Provavelmente, teriam ocorrido dois eventos de dispersão independentes ou dois episódios de vicariância envolvendo a América do Sul e América do Norte (Simpson *et al.*, 2004).

O subclado C2S1 corresponde às espécies cuja distribuição foram mais influenciadas pela temperatura máxima de maio (eixo 2 da PCA) enquanto que as espécies dos três outros subclados foram mais influenciadas pela temperatura mínima de novembro (eixo 1 da PCA). Polarizando as temperaturas mais baixas desse grupo, estão as espécies *K. cistoidea* e *K. lappacea* (C1S1).

As duas espécies de ampla distribuição (*K. revoluta* e *K. ixine*), colocadas separadamente nos subclados C2S1 e C2S2, não apresentaram resultados consistentes na análise de PCA e mereceriam uma análise em separado para determinar outras variáveis que poderiam influenciar sua distribuição.

CONCLUSÃO

A Análise de Componente Principais, usando como variáveis climáticas os valores mensais de temperaturas e precipitação, demonstrou que os limites de distribuição das espécies de *Krameria* estão associados primariamente com temperaturas máximas e mínimas. Em particular, a distribuição das espécies da América do Sul sofre maior influência das temperaturas máximas de maio e as do Hemisfério Norte, das temperaturas mínimas em novembro, sendo que esses meses estão entre os meses mais frios dos respectivos hemisférios. As espécies andinas foram influenciadas pelas temperaturas mínimas em novembro, e as espécies de ampla distribuição (*K. ixine* e *K. revoluta*) não apresentaram padrão discernível.

Agradecimentos

O presente trabalho teve origem no Curso de Biogeografia de Plantas Vasculares do Departamento de Botânica do IBUSP, ministrado pelo Prof. José Rubens Pirani, a quem somos muito gratos pelo incentivo. Agradecemos também aos Profs. Sergio Tadeu Meirelles e Roberto Shimizu do Departamento de Ecologia do IBUSP, ao mestrando Jaime Rissi Passarini Jr. e a FAPESP (processos 04/15801 - 0 e 04/11012 - 0).

REFERÊNCIAS

Brown, J. H. & Lomolino, M. V. 2006. *Biogeografia*. 2a edição. Funpec. Ribeirão Preto. 692p.
Fang, J. & Lechowicz, M. J. 2006. Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *Journal of Biogeography* 33: 1804–1819.

Gaston, K. J. 2003. *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford University Press, Oxford. 280p.
Hijmans, J. R.; Cameron, S. E.; Parra, J. L.; Jones, P. G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22: 415–427.
Kühn, I.; Bierman, S. M.; Durka, W. & Klotz, S. 2006. Relating geographical variation in pollination types to environmental and spatial factors using novel statistical methods. *New Phytologist* 172: 127–139.
Rice, N. H.; Martinez - Meyer, H. & Peterson, A. T. 2003. Ecological niche differentiation in the *Aphelocoma* jays: a phylogenetic perspective. *Biological Journal of the Linnean Society* 80: 369–383.
Santana, F. S.; Siqueira, M. F.; Saraiva, A. M. & Correa, P. L. P. 2008. A reference business process for ecological niche modeling. *Ecological Informatics* 3: 75 - 86.
Simpson, B. B. 1989. Krameriaceae. *Flora Neotropica*. Monograph 49: 1 - 109.
Simpson, B. B.; Weeks, A.; Helfgott, D. M. & Larkin, L. L. 2004. Species relationships in *Krameria* (Krameriaceae) based on ITS sequences and morphology: implications for character utility and biogeography. *Systematic Botany* 29: 97 - 108.
Stockwell, D. & Peters, D. 1999. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13: 143 - 158.
Stockwell, D. R. B.; Beach, J. H.; Stewart, A.; Vorontsov, G.; Vieglais, D. & Pereira, R. C. 2006. The use of the GARP genetic algorithm and Internet grid computing in the Lifemapper world atlas of species biodiversity. *Ecological Modelling* 195: 139 - 145.
Vogel, S. 1974. Ölblumen und ölsammelnde Bienen. *Trop. Subtrop. Pflanzenwelt* 7: 285 - 547.