

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NOS MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE PALMEIRAS (FAMÍLIA: ARECACEAE) NO BRASIL

Luciana Satiko Arasato

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Divisão de Processamento de Imagens (DPI), São José dos Campos, SP, luarasato@dpi.inpe.br

Silvana Amaral

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – Divisão de Processamento de Imagens (DPI), São José dos Campos, SP, silvana@dpi.inpe.br

Projeto de mestrado em Sensoriamento Remoto e Projeto Cenários da Amazônia

RESUMO – Neste trabalho, apresentam-se três estudos de modelagem de distribuição das palmeiras que utilizam diferentes ferramentas e escalas de observação. Em escala local, estudou-se a distribuição de *Euterpe edulis* Mart. no Parque Estadual Serra do Mar por regressão simples e múltipla, utilizando dados do projeto Gradiente Funcional (BIOTA/FAPESP) e variáveis ambientais provenientes do sensoriamento remoto. O modelo que utilizou as variáveis distância vertical a drenagem e curvatura vertical representou a melhor descrição da distribuição da espécie ($R^2 = 0,914$). Em escala regional, apresenta-se o estudo da distribuição das palmeiras de ampla distribuição no Brasil e Amazônicas utilizando-se de modelos de distribuição de espécie (MDE). Para o Brasil, 58 espécies de palmeiras foram modeladas a partir de um conjunto de variáveis ambientais único selecionado para a família, e como resultado cerca de metade das espécies apresentaram modelos adequados. Para a Amazônia, das 21 espécies estudadas apenas 4 apresentaram MDE incompatíveis com a descrição de distribuição da literatura, uma vez que os as variáveis ambientais foram selecionadas especificamente para cada espécie. Cada estudo apresentou suas limitações com relação a prever a distribuição das palmeiras. No entanto, realizando os aprimoramentos necessários para cada metodologia, estes podem ser utilizados efetivamente nas discussões sobre a biogeografia do grupo no Brasil e a influência das mudanças climáticas na distribuição espacial das espécies.

Palavras-chave: palmeiras, modelagem, distribuição potencial, mudanças climáticas, Brasil, Amazônia Mata Atlântica.

INTRODUÇÃO

Modelar a distribuição da flora pode contribuir para o entendimento de fenômenos históricos biogeográficos,

formação das florestas (Couvreur *et al.*, 2011), condições ambientais que influenciam o estabelecimento das espécies nos continentes (Bjorholm *et al.*, 2005) e processos relacionados à diversificação das espécies de plantas (Bjorholm *et al.*, 2006). A modelagem de distribuição no espaço geográfico da biodiversidade de diversos grupos e previsões para cenários futuros, aliados aos estudos filogeográficos ajudam na compreensão da influência das mudanças climáticas sob os ambientes naturais (Aleixo *et al.*, 2010; Colombo, 2007).

A distribuição espacial da comunidade de plantas pode ser estimada por diferentes variáveis abióticas ou bióticas (de forma conjunta ou única), como temperatura, tamanho de fruto, etc, sendo a escala espacial de observação um item que deve ser considerado, pois, para uma mesma região, as variáveis que são relacionadas com a estrutura e dinâmica da comunidade diferem de acordo com a escala considerada (Eiserhardt *et al.*, 2011b; Salm *et al.*, 2007; Tuomisto *et al.*, 2003).

As palmeiras são monocotiledôneas e pertencem à família Arecaceae. Podem ser encontradas por todas as regiões dos trópicos e subtropicais. A história biogeográfica das palmeiras está relacionada principalmente a climas quentes (Eiserhardt *et al.*, 2011a; Harley, 2006; Kahn & Granville, 1992). Para Svenning *et al.* (2008) a variação da distribuição geográfica e a diversificação das palmeiras no Novo Mundo se deu próximo ao equador pela persistência de áreas relativamente quentes e úmidas nessas regiões.

A modelagem da distribuição das palmeiras pode ser feita em diferentes escalas de observação. A escolha dessa escala de observação é importante, pois, a partir dela, se define a técnica a ser utilizada para modelagem, os dados de ocorrência, as variáveis ambientais a serem utilizadas e as limitações dos modelos gerados. O objetivo deste trabalho foi estudar a distribuição espacial de palmeiras a partir de variáveis ambientais usando as ferramentas de modelagem disponíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho são apresentadas 3 formas de se estudar a distribuição espacial de palmeiras. Em escala local, aproveitando os dados de flora levantados pelo projeto Gradiente Funcional (BIOTA/FAPESP) e a proximidade da área de estudo ao INPE, estudou-se a distribuição da densidade de *Euterpe edulis* Mart. (juçara) ao longo do gradiente altitudinal do Parque Estadual Serra do Mar - PESM. Foram utilizados os dados de *E. edulis* adquiridos em parcelas de 1ha, em diferentes faixas altitudinais do PESM, pelo projeto

Gradiente Funcional; e os dados descritores de estrutura de habitat (altitude, declividade, orientação de vertente, curvatura vertical, curvatura horizontal, distância horizontal à drenagem e distâncias verticais gerados a partir do HAND unidirecional e HAND multidirecional) provenientes de sensoriamento remoto. Nesta escala, utilizou-se a regressão simples e múltipla para modelar a distribuição da espécie ao longo do parque.

Em escala regional, a modelagem de distribuição de habitat (MDE) de palmeiras foi proposta como uma ferramenta para a discussão da distribuição da família Arecaceae. Para discutir a distribuição da família no Brasil, gerou-se MDEs para as palmeiras no Brasil, buscando um sub-conjunto de variáveis que pudessem ser aplicadas a família e que pudessem ser usadas para discutir a distribuição biogeográfica geral do grupo. Neste estudo, a partir de um banco de dados formado com dados de herbário compilados por Arasato *et al.* (2008) foram separados 58 espécies de Arecaceae, com no mínimo 10 registros de ocorrência. Os MDEs foram gerados usando o algoritmo Maxent, disponível no programa de mesmo nome, considerando um conjunto único de variáveis ambientais, compatíveis com as restrições fisiológicas da família.

A terceira forma de análise da distribuição das palmeiras aprofunda o estudo das variáveis ambientais para as espécies amazônicas (projeto Cenários/CNPq), com objetivo de subsidiar exercícios de modelagem futura para avaliação dos efeitos de mudanças climáticas (MC). Para a Amazônia, foram separadas 21 espécies de palmeiras com ocorrências na área. Também foram gerados MDEs com o algoritmo Maxent. Contudo, para cada espécie, foi selecionado um conjunto de variáveis ambientais, que estavam de acordo com sua ecofisiologia. Para a seleção das variáveis, foram considerados também a correlação entre elas e os resultados das análises de jackknife, porcentagem de contribuição e permutação gerados no programa Maxent.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo de escala local, os modelos de regressão com maiores valores de coeficiente de determinação (R^2) foram os modelos com a variável distância vertical da drenagem proveniente do algoritmo HAND multidirecional ($R^2 = 0,878$), para a abordagem de somente uma variável; e as variáveis distância vertical da drenagem e curvatura vertical ($R^2 = 0,914$), com duas variáveis. Estas variáveis são relacionadas com a disponibilidade de água no solo. Para a estimativa da densidade ao longo do gradiente altitudinal do PESM, foi escolhido o modelo que relacionou a densidade da *E. edulis* com as duas variáveis. Neste caso, para reduzir as incertezas presentes no modelo final, recomenda-se ampliar a amostragem de campo e testar diferentes funções de regressão.

Considerando o estudo em escala regional para análise da distribuição das palmeiras no Brasil, cerca de metade das espécies (34 espécies) apresentaram MDE compatível

com a descrição de ocorrência descrita na literatura, e então avaliados como adequados. Nestes casos, o conjunto de variáveis ambientais único foi adequado para descrever o nicho ecológico da espécie. Para as análises e discussões a respeito biogeografia do grupo no Brasil ainda é necessário aprimoramentos e ajustes dos MDEs de algumas espécies.

No terceiro estudo, 17 MDEs de palmeiras com ocorrência na Amazônia apresentaram sucesso na descrição das áreas de distribuição da espécie. A avaliação dos MDEs foi feita pela sobreposição de mapas de presença da espécie gerados a partir dos MDEs sobre os mapas de distribuição publicados por Henderson *et al.* (1995). A partir desta avaliação e seleção dos MDEs bem ajustados pode-se ser realizado os exercícios de modelagem de predição de distribuição considerando os cenários de clima futuro.

Neste contexto e considerando a distribuição atual da família Arecaceae, sabe-se que diferentes variáveis ambientais podem ser relacionadas à distribuição das diferentes espécies. Além disso, o outro fator importante para a determinação dessas variáveis e das técnicas utilizadas para o estudo de modelagem de distribuição também é a escala de observação. Jardim *et al.* (2007) e Montufar & Pintaud (2006) propõem que numa escala regional as diferenças das comunidades de palmeiras em distintas regiões da Floresta Amazônica estão relacionadas a mudanças ecológicas locais como topografia, drenagem, fluxo hídrico, umidade, qualidade do solo e incidência luminosa, além de alguns elementos biogeográficos. Em escala continental, Salm *et al.* (2007) encontraram, a partir dos modelos gerados, que a pressão de vapor é a variável que explica a maior variância na riqueza (53%) de palmeiras, seguida de forma negativa pela amplitude dos ciclos anuais das temperaturas máximas e as médias das temperaturas máximas registradas por mês. Para Svenning (2001) os modelos de diversidade e abundância das palmeiras são modulados pelas sazonalidades de precipitação, temperatura e condições edáficas. A disponibilidade de água é de modo geral um fator condicionante para a distribuição de palmeiras (Bjorholm *et al.*, 2006; Blach-Overgaard *et al.*, 2010). Para Kristiansen *et al.* (2011) a variabilidade da diversidade está relacionada com o clima atual e a estabilidade do habitat a longo prazo, reforçando a ideia de que a dinâmica da história da região é um fator importante. Portanto, a disponibilidade de água, junto com características de solo e processos históricos biogeográficos, podem controlar a distribuição das palmeiras.

CONCLUSÕES

Cada metodologia apresentou suas limitações com relação a predizer a distribuição da *E. edulis* e das palmeiras em geral. No entanto, é fundamental a observação dessas diferentes escalas para melhorar o entendimento sobre a distribuição de palmeiras, incluindo-se a densidade e riqueza, além de presença e ausência das espécies.

Recomenda-se que os MDEs para todas as espécies sejam aprimorados, de forma que sejam formados conjuntos de variáveis ambientais específicos para cada espécie, assim como foi feito para região Amazônica. Deste modo, com MDEs ajustados as distribuições conhecidas hoje, estes podem ser utilizá-los efetivamente nas discussões sobre a biogeografia do grupo no Brasil e a influência das mudanças climáticas na distribuição espacial das espécies.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à CAPES e CNPq, pelo apoio financeiro, e a Dra. Simey Thury Vieira Fish, pelo fornecimento dos dados do projeto Gradiente altitudinal (BIOTA-FAPESP) e apoio durante a execução do trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A.L.; GRELLE, C.E.V.; VALE, M.M.; RANGEL, T.F. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro. **Natureza; Conservação**, vol. 8, n. 2, p. 194-196, 2010.
- ARASATO, L. S.; AMARAL, S.; COSTA, C. B. Banco de dados de palmeiras para modelagem de distribuição de espécies. *In: Conferência científica internacional: Amozônia em perspectiva - ciência integrada para um futuro sustentável*. Manaus 2008. <http://Iba.inpa.gov.br/conferencia/apresentacoes/resumos/15.html> (acesso em 21/02/2010)
- BJORHOLM, S.; SVENNING, J.C.; BAKER, W.J.; SKOV, F.; BALSLEV, H. Historical legacies in the geographical diversity patterns of New World palm (Arecaceae) subfamilies. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 113-125, 2006.
- BJORHOLM, S.; SVENNING, J.C.; SKOV, F.; BALSLEV, H. Environmental and spatial controls of palm (Arecaceae) species richness across the Americas. **Global Ecology and Biogeography**, v. 14, n. 5, p. 423-429, 2005.
- BLACH-OVERGAARD, A.; SVENNING, J.C.; DRANSFIELD, J.; GREVE, M.; BALSLEV, H. Determinants of palm species distributions across Africa: the relative roles of climate, non-climatic environmental factors, and spatial constraints. **Ecography**, v. 33, p. 380-391, 2010.
- BURNHAM, R. J.; JOHNSON, K. R. South American palaeobotany and the origins of neotropical rainforests. **Philosophical transactions of the Royal Society of London: Series B, Biological sciences** 359(1450):1595-610, 2004
- COLOMBO, A.F. **Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas da Mata Atlântica**. 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000432885>>. Acesso em: 25 ago 2009.
- COUVREUR, T. L. P.; FOREST, F.; BAKER, WILLIAM J. Origin and global diversification patterns of tropical rain forests: inferences from a complete genus-level phylogeny of palms. **BMC biology**, v. 9, n. 1, p. 44, 2011.
- EISERHARDT, W. L.; PINTAUD, J.C.; ASMUSSEN-LANGE, C.; *et al.* Phylogeny and divergence times of Bactridinae (Arecaceae, Palmae) based on plastid and nuclear DNA sequences. **Taxon**, v. 60, p. 485-498, 2011a.
- EISERHARDT, W.F.; SVENNING, J.-C.; KISSLING, W.D.; BALSLEV, H. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): determinants of diversity and distributions across spatial scales. **Annals of Botany**, p.1-26, 2011b.
- HARLEY, M. M. A summary of fossil records for Arecaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 39-67, 2006.
- JARDIM, M. A. G.; SANTOS, G. C.; MEDEIROS, T. D. S.; COSTA FRANCEZ, D. DA. Diversidade e estrutura de palmeiras em floresta de várzea do estuário amazônico. **Amazônia: Ci. e Desenv. Belém**, v. 2, n. 4, p. 66-84, 2007.
- KAHN, F.; GRANVILLE, J.-J. DE. **Palms in forest ecosystems of Amazonia**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 226 p, 1992.
- KRISTIANSEN, T.; SVENNING, J.C.; PEDERSEN, D.; EISERHARDT, W.L.; GRÁNDEZ, C.; BALSLEV, H. Local and regional palm (Arecaceae) species richness patterns and their cross-scale determinants in the western Amazon. **Journal of Ecology**, p. 1-15, 2011.
- MONTUFAR, R.; PINTAUD, J.C. Variation in species composition, abundance and microhabitat preferences among western Amazonian terra firme palm communities. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 127-140, 2006.
- SALM, R.; SALLES, N. V. D.; ALONSO, W. J.; SCHUCK-PAIM, C. Cross-scale determinants of palm species distribution. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 17-25, 2007.
- SVENNING, J.C. Environmental heterogeneity, recruitment limitation and the mesoscale distribution of palms in a tropical montane rain forest (Maquipucuna, Ecuador). **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, n. 1, p. 97-113, 2001.
- SVENNING, J.C.; BORCHSENIUS, F.; BJORHOLM, S.; BALSLEV, H. High tropical net diversification drives the New World latitudinal gradient in palm (Arecaceae) species richness. **Journal of Biogeography**, v. 35, n. 3, p. 394-406, 2008.
- TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K.; AGUILAR, M.; SARMIENTO, A. Floristic patterns along a 43-km long transect in an Amazonian rain forest. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 5, p. 743-756, 2003.