

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

---

# Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica

---

*Lucilia Maria Parron  
Junior Ruiz Garcia  
Edilson Batista de Oliveira  
George Gardner Brown  
Rachel Bardy Prado  
Editores Técnicos*

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2015

# Variáveis climáticas relacionadas aos serviços ambientais: estudo de caso da araucária

Marcos Silveira Wrege, Elenice Fritzsons, Márcia Toffani Simão Soares, Valderês Aparecida de Sousa

**Resumo:** A Mata Atlântica abriga boa parte da biodiversidade e do patrimônio natural existente no Brasil, sendo considerada um importante centro de diversidade biológica mundial, com elevado número de espécies endêmicas. A manutenção desta biodiversidade possibilita assegurar o funcionamento de diversos serviços ambientais, como a purificação do ar e da água, o provimento de água e de alimentos, a regulação do clima e da ocorrência de pragas e doenças, a proteção dos recursos genéticos, a proteção contra desastres naturais, a estocagem de carbono, a ciclagem de nutrientes do solo, entre outros, permitindo a sustentabilidade dos ecossistemas e garantindo a existência de vida na Terra. Alterações ambientais, como desmatamento e mudanças climáticas globais, afetam negativamente os ecossistemas, resultando em acelerada perda de genótipos na natureza, aumento da fragmentação da vegetação e da degradação de habitats, erosão dos solos, assoreamento de corpos d'água, levando, em longo prazo, ao declínio de ecossistemas e à redução do suprimento de seus bens e serviços. Estes riscos são potencializados nos ecossistemas com predominância de formações florestais, com maior riqueza na diversidade de espécies e alto grau de endemismo, como é o caso da Mata Atlântica. Nós mostramos o uso associado da modelagem de distribuição potencial de espécies (MDP) e de sistemas de informações geográficas (SIG) como ferramenta para avaliar o comportamento da biodiversidade frente aos problemas de fragmentação da vegetação causados pelas atividades antrópicas, bem como para prever a ocorrência de espécies nos cenários climáticos futuros, previstos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

**Palavras-chave:** degradação ambiental, serviços ecossistêmicos, diversidade biológica, modelagem da distribuição potencial de espécies, alterações do clima, fragmentação da vegetação.

## *Climatic factors related to ecosystem services: the case of Araucaria*

**Abstract:** The Atlantic Forest harbors a large part of Brazil's biological diversity and natural wealth, and is considered an important center of biological diversity, with a large number of endemic species. The maintenance of this biodiversity ensures the the delivery of many ecosystem services, such as air and water purification, climate regulation, control of pests and diseases, protection of genetic resources, carbon storage and nutrient cycling in the soil, among others, allowing the ecosystem sustainability and guaranteeing the existence of of life on earth. Environmental changes such as deforestation and global climate change negatively affect ecosystems, resulting in rapid genotype losses, increased fragmentation and habitat degradation, soil erosion, siltation of water bodies, leading, in the long-run to ecosystem decline and reduced delivery of goods and services. These risks are compounded in ecosystem with forest dominance (richer in species diversity and endemism) such as the Atlantic Forest. Nós show the use of MDP (modeling potential distribution of species), and GIS (geographic information systems) as tools to assesses the potential impacts of habitat fragmentation caused by human activities on biodiversity and species occurrences, based on the scenarios predicted by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

**Keywords:** environmental degradation, ecosystems services, biodiversity, modeling potential species distribution , climate change, habitat fragmentation.

## 1. Introdução

A Mata Atlântica é o bioma que apresenta uma das maiores diversidades biológicas existentes em nosso planeta, com um rico patrimônio natural, possuindo ainda a maioria das unidades fitogeográficas existentes em nosso país. Estima-se que dois terços da população brasileira, cerca de 120 milhões de habitantes, vivam nas áreas de domínio da Mata Atlântica, com alta dependência do provimento dos bens e serviços ecossistêmicos advindos deste bioma (SEEHUSEN et al., 2011). Sua preservação permite assegurar o funcionamento dos serviços ambientais, tais como a purificação do ar e da água, a provisão de água e de alimentos, a regulação do clima e da ocorrência de pragas e doenças, a garantia de manutenção dos recursos genéticos, a proteção contra desastres naturais, a estocagem de carbono, a ciclagem de nutrientes do solo, entre outros, garantindo a sustentabilidade dos ecossistemas e contribuindo para a manutenção das condições de vida em nosso planeta.

O bioma é caracterizado pela presença de um grande número de espécies endêmicas. Os serviços ambientais encontram-se ameaçados pelos desmatamentos ocorridos neste bioma, que reduzem a quantidade de espécies e extinguem ambientes únicos, jamais vistos em outros lugares, e que são responsáveis por assegurar a sobrevivência das espécies endêmicas que existem apenas nestes ambientes (DIAZ et al., 2007).

Atualmente, menos de 6% da cobertura vegetal original está preservada em áreas bastante fragmentadas e mais de 92% dos fragmentos têm menos de 100 ha. Por tais motivos, este bioma está situado entre os cinco primeiros *hotspots* do planeta e a preservação de sua biodiversidade é considerada prioritária (ALEIXO et al., 2010; MYERS, 2000), sendo essencial para assegurar serviços ambientais.

Além destes problemas, a prestação de serviços ambientais é ameaçada pelas mudanças climáticas globais, causadas pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa. Nos últimos 50 anos foi observado, na região sul do Brasil, aumento da temperatura do ar, sobretudo da temperatura mínima, de 1,5 a 1,7 °C (RICCE et al., 2009). A previsão é de que, em algumas regiões do país, a temperatura média possa subir até 6 °C até o final do século (MARENGO, 2009).

Em um primeiro momento, o aumento das concentrações de gases de efeito estufa e da temperatura pode resultar no aumento de produtividade de algumas espécies florestais. Posteriormente, quando as concentrações destes gases e as temperaturas forem muito elevadas, o efeito poderá ser contrário, devido à fitotoxicidade do gás carbônico e ao

atingimento do limite de temperatura para o desenvolvimento das espécies, as quais poderão ter um índice de mortalidade elevado (BRASIL, 2007).

Além disso, poderão ocorrer modificações nos padrões de distribuição da pluviosidade, com aumento das secas e das inundações, dependendo do local, da época e do ano. Nos últimos 50 anos, esses eventos têm ocorrido com maior frequência fora da época normal e com intensidade diferente da habitual (NOBRE, 2001). Como consequência dessa tendência, os riscos de ocorrência de incêndios florestais podem se tornar maiores, influenciando a extinção de espécies florestais e redução da diversidade biológica (MARENGO, 2009).

Considerando-se todos estes fatores, a tendência natural é a de que as espécies se desloquem em direção a altitudes e latitudes maiores, buscando as condições ambientais semelhantes às que tem no presente. Contudo, algumas espécies não teriam como fazer isso, como as de regiões de altitude ou insulares, por exemplo, porque não teriam como se expandir para regiões de altitudes maiores, ou porque o mar impediria a expansão para outras regiões. Além disso, o espaço ocupado por uma espécie poderia ser invadido por outra, havendo competição (DIAZ et al., 2007). Além disso, algumas espécies dependem do tipo de solo para sobreviver e, portanto, poderia ter maior dificuldade em se adaptar a um ambiente novo.

Todos estes fatores afetam a ocorrência das espécies e são capazes de alterar o espaço ocupado por elas, interferindo, portanto, na prestação de serviços ambientais oferecidos por estes ambientes.

Existem atualmente ferramentas capazes de facilitar a identificação dos locais de ocorrência das espécies e a projeção de cenários futuros, identificando quais seriam os possíveis caminhos de expansão de uma espécie. Uma destas ferramentas é a modelagem da distribuição de espécies. Essa ferramenta pode ser usada em conjunto com os sistemas de informações geográficas (SOUSA; RICHARDS, 2012; WREGE et al., 2009).

A modelagem da distribuição de espécies é o mapeamento da probabilidade de ocorrência de uma espécie, estabelecida pela relação (algoritmo) entre pontos de ocorrência da espécie e variáveis ambientais (temperatura, balanço hídrico, umidade relativa, tipos de solos, relevo, etc.). Desse modo, é possível identificar as condições ambientais mínimas necessárias para a sobrevivência de cada espécie (LUOTO et al., 2005; PETERSON, 2001; RAXWORTHY et al., 2003). Os sistemas de informações geográficas podem ser usados para o

mapeamento, onde as informações geradas nos softwares de modelagem podem ser editadas.

Assim, neste capítulo é apresentado o mapeamento atual da distribuição de ocorrência da araucária no Estado do Paraná, verificando os efeitos das alterações de zonas de ocorrência no futuro e as zonas que devem ser destinadas à preservação, visando garantir o funcionamento futuro dos serviços ambientais ligados a esta espécie.

## 2. Uso da ferramenta de modelagem da distribuição de espécies: estudo de caso da araucária

Existem atualmente vários softwares desenvolvidos para fazer a modelagem da distribuição das espécies (MDP). O 'Open Modeller' está entre os mais usados e agrega vários algoritmos ('Bioclim', 'Niche Mosaic', 'Envelope Score', etc.). Os algoritmos são as fórmulas que determinam o espaço geográfico ocupado por cada espécie e fazem a relação entre os pontos de ocorrência de cada uma com as variáveis ambientais. Cada tipo de algoritmo é indicado para uma situação diferente.

A MDP pode ser usada para projetar as mudanças de locais e de dimensões dos espaços geográficos a serem ocupados pelas espécies no futuro, causados pelas mudanças climáticas globais, e tem diversas finalidades, entre as quais: analisar o efeito das mudanças climáticas globais sobre a biodiversidade; orientar a escolha de áreas prioritárias para conservação; fazer a predição de áreas ideais para plantio; guiar levantamentos para detectar espécies novas ou raras e novos padrões de distribuição; determinar áreas com maior risco de invasão por espécies exóticas e estudar possíveis rotas de disseminação de pragas e de doenças (DE MARCO JUNIOR; SIQUEIRA, 2009).

Como exemplo, podemos citar a araucária (*Araucaria angustifolia* Bert O. Kuntze.), que é uma das espécies florestais brasileiras mais representativas das regiões frias do Brasil e promissoras, em termos silviculturais, aliando capacidade produtiva de madeira com produção de alimento. É uma representante da Floresta Ombrófila Mista (FOM), domínio do Bioma Mata Atlântica (VELOSO, 1991). A FOM perdeu 97% da área original, o que compromete drasticamente sua variabilidade genética e a coloca em risco de extinção (THOMAS, 2014).

Essa espécie ocorre nas regiões subtropicais do Brasil e da Argentina, acima de 500 m em relação ao nível do mar, sendo uma espécie de altitude e, por essa razão, tem estreitas restrições climáticas e é muito vulnerável, com alto risco de extinção. Usando MDP, pode-se verificar a distribuição atual

da espécie no Estado do Paraná e as projeções de cenários futuros, elaboradas de acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (PARRY et al., 2007) (Figura 1) e, com base nisso, definir as estratégias de conservação desta espécie e o seu papel na prestação de serviços ambientais.

Foram usados, no exemplo, os pontos de ocorrência de araucária no Estado do Paraná, referenciados com coordenadas geográficas, os quais foram relacionados com mapas de variáveis climáticas, usando o algoritmo *Bioclim*, um dos modelos mais usados na MDP. As variáveis climáticas usadas foram as que têm maior relação com a distribuição de ocorrência da espécie, entre as quais as temperaturas mínimas e máximas do ar e a pluviosidade acumulada por estação (primavera, verão, outono, inverno), considerando, portanto, o efeito de sazonalidade do clima. É importante considerar as estações do ano, porque existe uma forte variabilidade do clima dentro do ano na região sul do Brasil e a média de um ano não representa a condição real do clima.

Na Figura 1, são apresentadas as zonas atuais de ocorrência de araucária (zonas com hachuras) e as zonas de ocorrência restrita (zonas sem hachuras) e as projeções de cenários futuros. Nas zonas restritas, a ocorrência da espécie é rara, geralmente em microclimas próximos a vertentes de rios, entre 500-600 m de altitude. As zonas hachuradas devem ser priorizadas para conservação e é onde deve ser estimulada a criação de zonas de preservação, principalmente as áreas de maior altitude de Palmas, General Carneiro e Guarapuava, considerando-se a evolução dos cenários futuros de 2031-2040, 2051-2060, 2071-2080 e 2091-2100. A criação de áreas de conservação nesses locais é essencial para garantir a funcionalidade dos serviços ambientais desta espécie no futuro.

Analisando-se os resultados da modelagem (Figura 1), pode-se verificar que as zonas onde as condições são favoráveis para o desenvolvimento da espécie tendem a diminuir a cada década e é possível verificar uma tendência de expansão da espécie para zonas de maior altitude e latitude nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nos Estados do Paraná e de São Paulo, a tendência desta espécie é desaparecer (WREGE et al., 2009).

A partir de 2070, está prevista uma redução de área favorável dos atuais 9.950.000 ha no Paraná para 62.000 ha, restando apenas 0,62% da área original, e o risco de extinção da araucária é maior, com maior fragmentação da vegetação e degradação dos habitats onde a espécie vive, repercutindo sobre a funcionalidade dos serviços ambientais advindos desta espécie e, conseqüentemente, da Floresta Ombrófila Mista (FOM).



**Figura 1.** Distribuição da araucária no Estado do Paraná, utilizando modelagem de distribuição potencial da espécie (modelo *Bioclim*) (a) e projeção de cenários futuros, de acordo com modelos do Parry et al. (2007) - b: 2031-2040; c: 2051-2060; d: 2071-2080 e e: 2091-2100.

### 3. Considerações finais

A fragmentação da vegetação e a degradação de habitats causadas por atividades antrópicas e mudanças climáticas contribuem para a extinção de espécies e perda de seus genótipos. Consequentemente, favorecem a redução da diversidade biológica, podendo comprometer, em longo prazo, a sobrevivência de ecossistemas e o suprimento de seus bens e serviços.

A MDP facilita a identificação de zonas com prioridade na preservação de espécies, garantindo a manutenção da diversidade biológica, com o intuito de dar garantias de provimento de serviços ambientais, entre os quais garantir o fornecimento de água em quantidade e qualidade para a sociedade, dar proteção contra desastres naturais e pestes agrícolas, oferecer proteção aos recursos genéticos, colaborar com a regulação do clima e com a estocagem de carbono e



ciclagem de nutrientes do solo. Aliada ao SIG, essa ferramenta permite identificar com precisão as condições ambientais que formam os nichos das espécies, podendo ser usada para definir as condições ambientais mínimas necessárias para a sobrevivência das espécies e das populações na atualidade e no futuro, com base nas alterações climáticas. A MDP também permite modelar o modo como a vegetação se relaciona com o seu meio. A evolução da modelagem permitirá a inclusão no futuro das interações interespecíficas e dos fatores históricos, representando, além do espaço geográfico potencial, o espaço real.

A decisão sobre o modelo a ser usado depende do erro de previsão de ocorrência da espécie, sendo, para isso, necessário rigor na escolha dos pontos de ocorrência, que devem ser analisados antes do seu uso na modelagem. Essa decisão é subjetiva e pessoal e depende da experiência do usuário no uso de ferramentas de modelagem e do conhecimento sobre a espécie.

## Referências

ALEIXO, A.; ALBERNAZ, A. L.; GRELE, C. E. V.; VALE, M. M.; RANGEL, T. F. Mudanças climáticas e a biodiversidade dos biomas brasileiros: passado, presente e futuro. **Natureza & Conservação**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 194-196, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas**: recomendações para a integração das considerações sobre biodiversidade na implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima e seu Protocolo de Kyoto. Brasília, DF: 2007. 221 p. (Biodiversidade, 28).

DE MARCO JUNIOR, P.; SIQUEIRA, M. F. de. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1-2, p. 65-76, 2009.

DIAZ, B. D.; DÍAZ, S.; McGLONE, M. Biodiversidade e Conexões com a Mudança de Clima. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas**: recomendações para a integração das considerações sobre biodiversidade na implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima e seu Protocolo de Kyoto. Brasília, DF: 2007. v. 1. p. 35-51 (Biodiversidade, 28).

LUOTO, M. J.; HEIKKINEN, R. K.; SAARINEN, K. Uncertainty of bioclimate envelope models based on the geographical distribution of species. **Global Ecology and Biogeography**, Oxford, v. 14, p. 575-584, 2005.

MARENGO, J. A. Global warming and climate change in Amazonia. In: KELLER, M. (Ed.) **Amazonia and global change**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2009. v. 186. p. 262-273.

MYERS, N. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NOBRE, C. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 239-258, 2001. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima.../file/publicacoes/impactos\\_vulnerabilidade/portugues/impactos\\_ecossistemas\\_cnobre.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima.../file/publicacoes/impactos_vulnerabilidade/portugues/impactos_ecossistemas_cnobre.pdf)>. Acesso em: 30 abr. 2014.

PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOK, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (Ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC.

PETERSON, A. T. Predicting species geographic distributions models based on ecological niche modeling. **The Condor**, Los Angeles, v. 103, p. 599-605, 2001.

RAXWORTHY, C. J.; MARTINEZ-MEYER, E.; HORNING, N. NUSSBAUM, R. A.; SCHNEIDER, G. E.; ORTEGA-HUERTA, M.; PETERSON, A. T. Predicting distribution of known and unknown reptile species in Madagascar. **Nature**, London, v. 426, p. 837-841, 2003.

RICCE, W. da S.; CARAMORI, P. H.; MORAIS, H.; SILVA, D. A. B.; ATAÍDE, L. T. Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**. Belo Horizonte: SBA: UFV: CNPMS, 2009.

SEEHUSEN, S. E.; CUNHA, A. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. F. Iniciativas de PSA para a proteção da biodiversidade na Mata Atlântica. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios.** Brasília, DF, 2011. v. 1. p. 183-211. 272 p. (Biodiversidade, 42).

SOUSA, V. A. de; RICHARDS, C. M. Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in *Araucaria angustifolia* Bert. O Ktze. In: INTERNATIONAL CONFERENCE MOLECULAR ECOLOGY, 2012, Vienna. **Programme and abstracts.** Vienna: VIPCA, 2012. p. 49.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*. In: THE IUCN Red List of Threatened Species(tm): version 2014.3. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/details/32975/0>>. Acesso em: 12 de junho de 2014.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; BRITZ, R. M.; GARRASTAZU, M. C.; SOUSA, V. A.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; BRAGA, H. J. Climate change and conservation of *Araucaria angustifolia* in Brazil. **Unasylva**, v. 60, p. 30-33, 2009.

