

## Modelagem de áreas de adequabilidade ambiental do morcego frugívoro *Sturnira lilium* e da arvoreta *Solanum variable* visando diretrizes à restauração ecológica

Juliana Silveira dos Santos<sup>1</sup>  
Renata de Lara Muylaert<sup>2</sup>  
Milton Cezar Ribeiro<sup>2</sup>  
Katia M. P. M. B. Ferraz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto,  
Avenida dos Astronautas, 1758, Jd. Granja - CEP: 12227-010,  
São José dos Campos - SP - Brasil  
julianas@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Departamento de Ecologia,  
Avenida 24A, 1515, Bela Vista - CEP: 13506-900,  
Rio Claro - SP - Brasil  
mcr@rc.unesp.br; renatamuy@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências  
Florestais, Avenida Pádua Dias, 11, Agronomia - CEP: 13418-900,  
Piracicaba, SP - Brasil  
katia.ferraz@usp.br

**Abstract.** The Species Distribution Modeling (SDM) that relate the distribution of species with spatial information derived, e.g., remote sensing data can help in the understanding of the spatial distribution of organisms optimizing the understanding of ecological processes such as seed dispersal and interactions animal - plant, at different scales. Whereas in situations of high availability of fruits, the diet of the bat's *Sturnira lilium* can be 100% composed of *Solanum variable*, that when are placed networks to capture of bat near to *Solanum variable* areas, always are captured *Sturnira lilium* and that due to the high mobility of bat not possible say the occurrence of *Solanum variable* in your areas, the objective of this work was to predict areas of environmental suitability for the species *Solanum variable* and *Sturnira lilium* and assess whether the presence of *Solanum variable* can be predicted from the SDM *Sturnira lilium*. For this we used data of species occurrence and selected environmental variables, such as: % of vegetation at different distances, elevation, slope direction and distance from water. The SDM were highly statistically significant of species *Solanum variable* and *Sturnira lilium* with AUCs of 0.89 and 0.94 and p-values less than 0.01, allowing also point potential areas for ecological restoration due to the importance of species in ecological succession. However, it was not possible to predict the mutual occurrence of two species due to their different requirements, considering also that it is more difficult to discriminate suitable habitats for species widely distributed.

**Palavras-chave:** species distribution modeling, environmental suitability, ecological restoration, modelos de distribuição de espécies, adequabilidade ambiental, restauração ecológica.

### 1. Introdução

A dispersão de sementes é uma função ecossistêmica essencial, especialmente nos Neotrópicos, onde mais de 90% das árvores dependem de animais para se reproduzir. O primeiro estágio da dispersão de sementes é a escolha dos frutos, que segue uma hierarquia de mecanismos (Sallabanks, 1993; Isbell et al., 2011; Muscarella & Fleming, 2007). As decisões tomadas pelos frugívoros nesse estágio determinam o balanço de todo o processo de dispersão de sementes e aspectos chaves, como onde a maioria das sementes vão parar e quantas delas se estabelecem e se distribuem espacialmente. Esses aspectos precisam ser entendidos para a aplicação prática em questões de conservação e restauração de ecossistemas (Wang et al. 2002).

Algumas espécies de morcegos frugívoros são extremamente abundantes em áreas preservadas e degradadas, o que sugere que eles apresentam adaptabilidade a mudanças

ambientais (Henry et al., 2007). Esses animais compõem um grupo funcional extremamente interessante, pois embora sejam abundantes e móveis, são muito especializados na alimentação e possuem grande afinidade com áreas florestais (Estrada et al., 1993). Entender padrões de distribuição espacial de dispersores de sementes e suas plantas-alimento pode indiretamente trazer respostas sobre até onde há garantias desse serviço ecológico realizado e dar diretrizes sobre o uso desses organismos como aliados em projetos de restauração (Bianconi et al., 2010; Fleming & Kress, 2009).

Os Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs) que relacionam a distribuição das espécies com informações espaciais, derivadas, p.ex., de dados de sensoriamento remoto podem auxiliar na compreensão da distribuição espacial dos organismos otimizando a compreensão de processos ecológicos como a dispersão de sementes e interações animal-planta em diferentes escalas (Elith & Leathwick, 2009; Ferraz et al., 2012).

A espécie *Sturnira lilium* tem ampla distribuição na América do Sul, sendo uma espécie predominantemente frugívora que se alimenta principalmente de frutos dos gêneros *Solanum* (Solanaceae) e *Piper* (Piperaceae) (Gannon et al., 1989). A forte interação do morcego frugívoro *S. lilium* e *Solanum* já foi observada em diversos estudos de dieta em condições naturais e experimentais (Marinho-Filho et al., 1991; Gianinni & Kalko, 2004; Mello et al., 2008; Muylaert, 2011). Exaptações e adaptações morfológicas e fisiológicas permitiram os morcegos *S. lilium* explorar os frutos de *Solanum*, que têm diversos compostos secundários e são tóxicos para muitos outros animais (Cipollini & Levey, 1997). Nos Neotrópicos há cerca de 360 espécies da família Solanaceae, sendo 56 do gênero *Solanum* (Lobova et al., 2009). A *Solanum variable* é uma espécie pioneira, heliófita, típica de áreas de borda de vegetação e áreas abertas, como pastos abandonados, sendo uma espécie nativa, dominante, fonte de recursos para a fauna e de importância em processos de sucessão ecológica (Gentry, 1974).

Considerando que: (i) em situações de alta disponibilidade de frutos, a dieta do morcego pode ser 100% composta por Solanáceas e que *Solanum variable* é extremamente abundante no Estado de São Paulo; (ii) que em capturas de morcegos, quando se coloca a rede próxima a *Solanum variable*, sempre há capturas de *Sturnira lilium* e (iii) que devido à alta mobilidade do morcego não é possível afirmar que em suas áreas de ocorrência sempre haverá *Solanum variable*; o objetivo desse trabalho foi predizer áreas de adequabilidade ambiental para as espécies *Solanum variable* e *Sturnira lilium* e avaliar se a presença de *Solanum variable* pode ser predita a partir do MDE de *Sturnira lilium*.

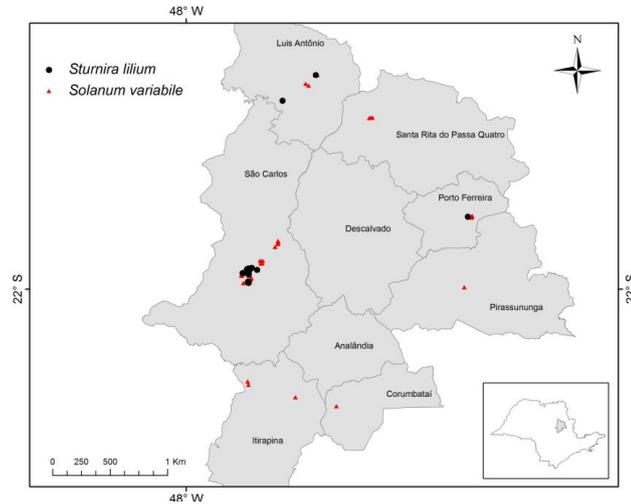
## 2. Materiais e Métodos

A área de estudo correspondeu à região centro-leste do Estado de São Paulo, com 539,271 ha, em que 16,98% das áreas são de vegetação natural (Figura 1, IF, 2008). A fitofisionomia predominante na região é o Cerrado, considerado um dos *hotspots* de conservação mundial (Myers et al., 2000).

Para gerar os MDEs, foram utilizados dados de ocorrência das espécies dos anos de 1995-2012 do Projeto Biota FAPESP, dados próprios, dados da literatura (Rogeri, 2011) e dados de ocorrência de *S. variable* provenientes do *New York Botanical Garden*. Considerando que animais e plantas respondem a variáveis geomorfométricas que determinam climas regionais, recursos e sazonalidade foram utilizadas para predizer a adequabilidade ambiental das duas espécies, as seguintes variáveis ambientais: % de cobertura vegetal a partir de diferentes distâncias, i.e., 195 m, 405 m e 1000 m; altimetria, orientação de vertentes e distância de hidrografia.

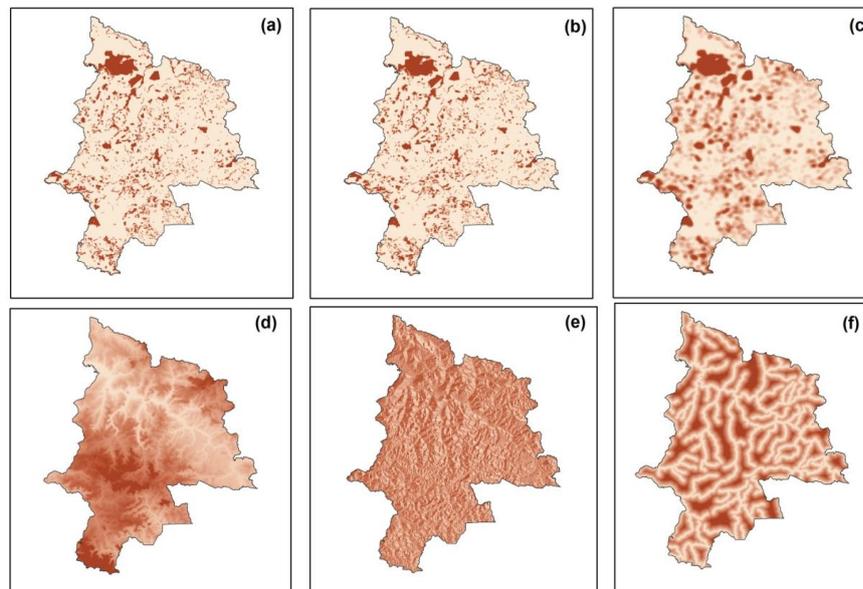
Os dados de cobertura da terra e de hidrografia foram adquiridos no banco de dados do Projeto Biota FAPESP e do Instituto Florestal, gerados a partir da classificação digital supervisionada e interpretação visual em imagens de sensoriamento remoto com 30 m de

resolução espacial (IF, 2008). As variáveis geomorfométricas processadas com 30 m de resolução espacial foram adquiridas no banco de dados do Projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE; Valeriano, 2008). A partir dos dados de hidrografia foi gerado um mapa de distância, considerando a resolução espacial de 30 m (Figura 2).



**Figura 1.** Área de estudo, região centro-leste do Estado de São Paulo. Os pontos em vermelho e preto indicam a ocorrência das espécies *S. variabile* e *S. lilium* na região, respectivamente.

A escolha de diferentes % de cobertura vegetal, como variáveis distintas teve com intuito acrescentar informações, como de efeito de borda e de diferentes escalas, já que foram consideradas as distâncias desde o pixel central até o limite da classe de cobertura da terra. Lindenmayer & Franklyn (2002) ressaltam que e as respostas dos organismos em diferentes escalas deve ser considerada para melhor compreensão da biodiversidade e sua conservação.



**Figura 2.** Variáveis ambientais. (a) % de cobertura vegetal distância de 195 m, (b) 400 m e (c) 1000 m; (d) altimetria, (e) orientação de vertentes e (f) distância da hidrografia.

Os MDEs foram gerados no software Maxent 3.3.3k, sendo utilizados 40 pontos de ocorrência da espécie *S. variabile* e 28 pontos de ocorrência de *S. lilium*. Para a amostragem

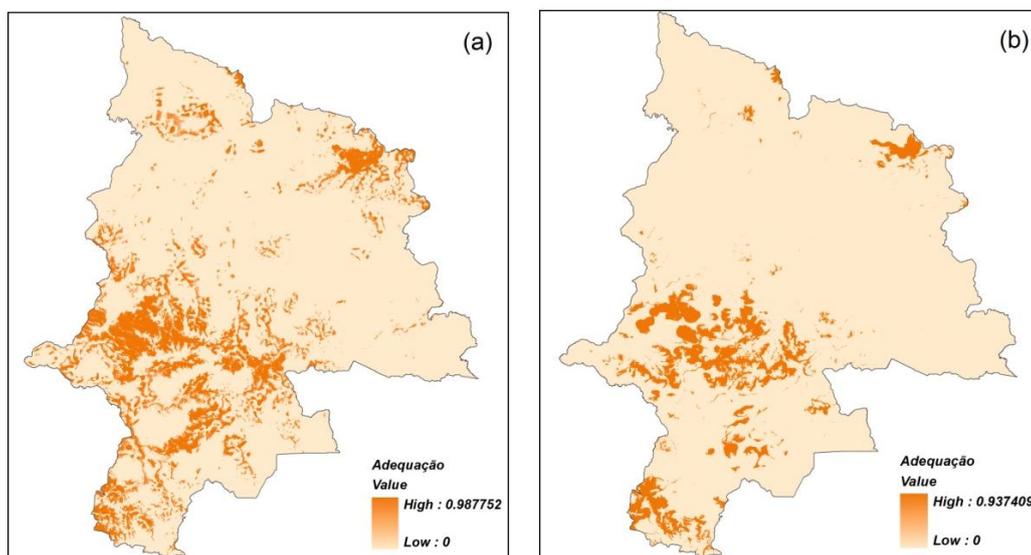
aleatória com reposição foi utilizado o método bootstrap, sendo geradas 10 réplicas de cada modelo e 30 % dos pontos de ocorrência foram utilizados para teste de cada modelo. Os MDEs foram gerados de acordo com os limiares logísticos disponibilizados pelo Maxent, resultando em mapas contínuos, em que, os valores próximos de 1 representam a maior probabilidade de ocorrência adequada das espécies. O modelo escolhido foi aquele que a partir dos limiares observados melhor representou as características biológicas das espécies. Para a espécie *S. variable* foi utilizado o limiar *maximum test sensitivity plus specificity logistic threshold* com o valor de 0,322 e para a espécie *S. lilium* o limiar *10 percentile training presence logistic threshold* com o valor de 0,2771.

A avaliação de cada modelo foi realizada a partir dos valores de AUC, erros de omissão e dos p-values obtidos de acordo com o limiar escolhido. Para verificar se a presença de *S. variable* poderia ser predita a partir do MDE de *S. lilium* e vice-versa foram realizadas cinco simulações de 250 pontos aleatórios e sobrepostos aos MDEs de cada espécie a fim de identificar a coincidência dos pontos com as áreas classificadas como de maior adequabilidade ambiental pelos modelos.

### 3. Resultados e Discussões

Os MDEs gerados foram estatisticamente bons preditores para a ocorrência das espécies *S. variable* e *S. lilium*, sendo significativos com valores de AUCs de 0,89 e 0,94, erros de omissão de 0,091 e 0,228 e p-values < 0,01, respectivamente (Figura 3). A adequabilidade ambiental para as espécies *S. variable* e *S. lilium* representou 14,14 % e 7,2 %, respectivamente da área total analisada.

As variáveis ambientais altimetria, hidrografia e orientação de vertentes foram as que mais contribuíram para a predição da adequabilidade ambiental da espécie *S. variable*, com uma contribuição de 44,22%; 13,03% e 19,46%, respectivamente. Para *S. lilium* a mesma característica foi identificada para as variáveis altimetria e hidrografia com 60,60% e 9,08%, respectivamente, no entanto, a variável orientação de vertentes contribuiu somente com 0,51 %. Sendo que a maior contribuição foi da variável % de cobertura vegetal a partir de uma distância de 1000 m, com 17,81%. A contribuição superior a 40 % da variável altimetria nos MDEs para as duas espécies pode ser explicada pelo maior número de pontos de ocorrência registrados em regiões da área de estudo que tenham essa variável como uma característica intrínseca.

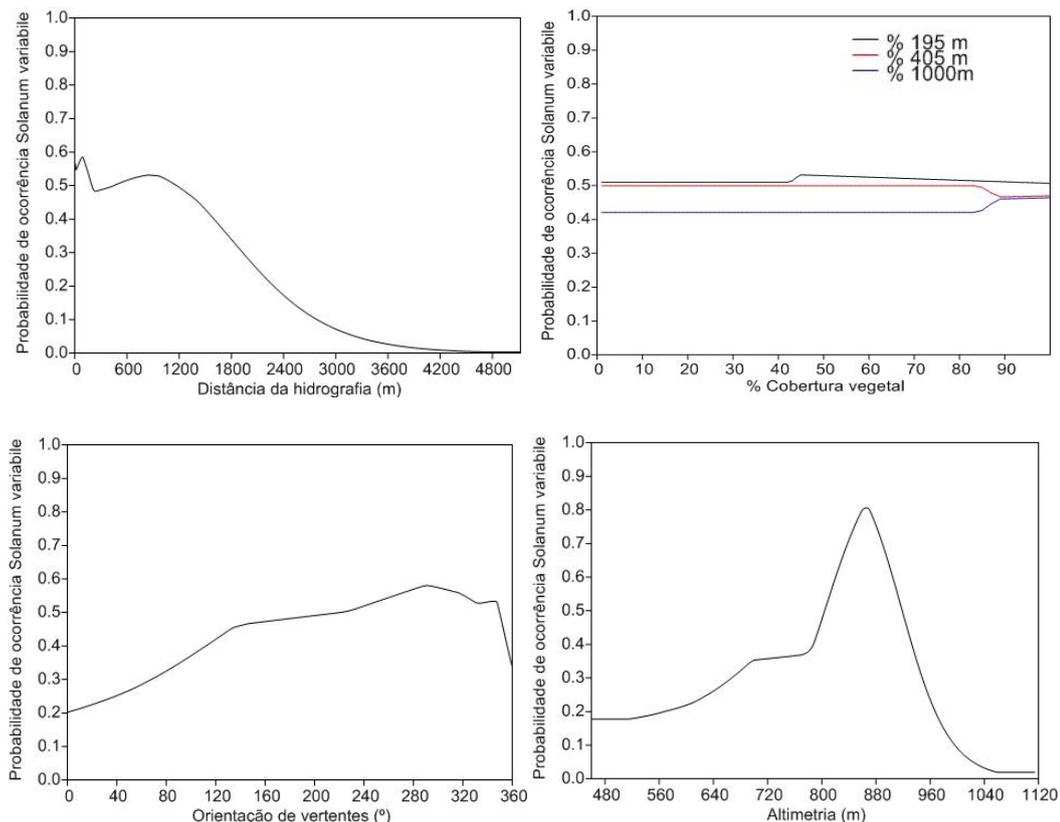


**Figura 3.** Modelo de distribuição potencial das espécies *S. variable* (a) e *S. lilium* (b).

A Figura 4 apresenta as curvas respostas, com a probabilidade de ocorrência da espécie *S. variabile* a partir das variáveis ambientais. Considerando as variáveis % de cobertura vegetal pode-se verificar que para essa espécie não foi identificada nenhuma relação entre a ocorrência da espécie e os diferentes % de cobertura vegetal. Mostrando que essas variáveis são correlacionadas quando observadas nesse espaço ambiental, evidenciando um comportamento não esperado, uma vez que, essa espécie é típica de áreas de borda, abertas e alteradas, como áreas de pastos abandonados.

Esse resultado pode ser explicado pela característica da vegetação das regiões amostradas, que é aberta, consistindo em áreas de Cerrado *sensu stricto*. Dessa forma, a inclusão de variáveis mais diretas que descrevam áreas de alta relevância para *S. variabile*, como o tipo predominante de matriz e que considerem a distância do limite de cada classe do uso e cobertura da terra devem melhor adequar o modelo.

Em relação a variável hidrografia pode-se verificar que a probabilidade de ocorrência da espécie é maior quanto menor a distância da hidrografia (Figura 4). Para a variável orientação de vertentes a probabilidade de ocorrência da espécie aumenta quanto maiores os valores da variável. Esse resultado demonstra a característica heliófita da espécie, em que, valores extremos dessa variável, i.e., próximos de zero ou 360° são desfavoráveis a espécies heliófitas, pois representam regiões de alta inclinação. Valores intermediários representam áreas mais planas, nas quais a planta se beneficia da luz solar por mais tempo.

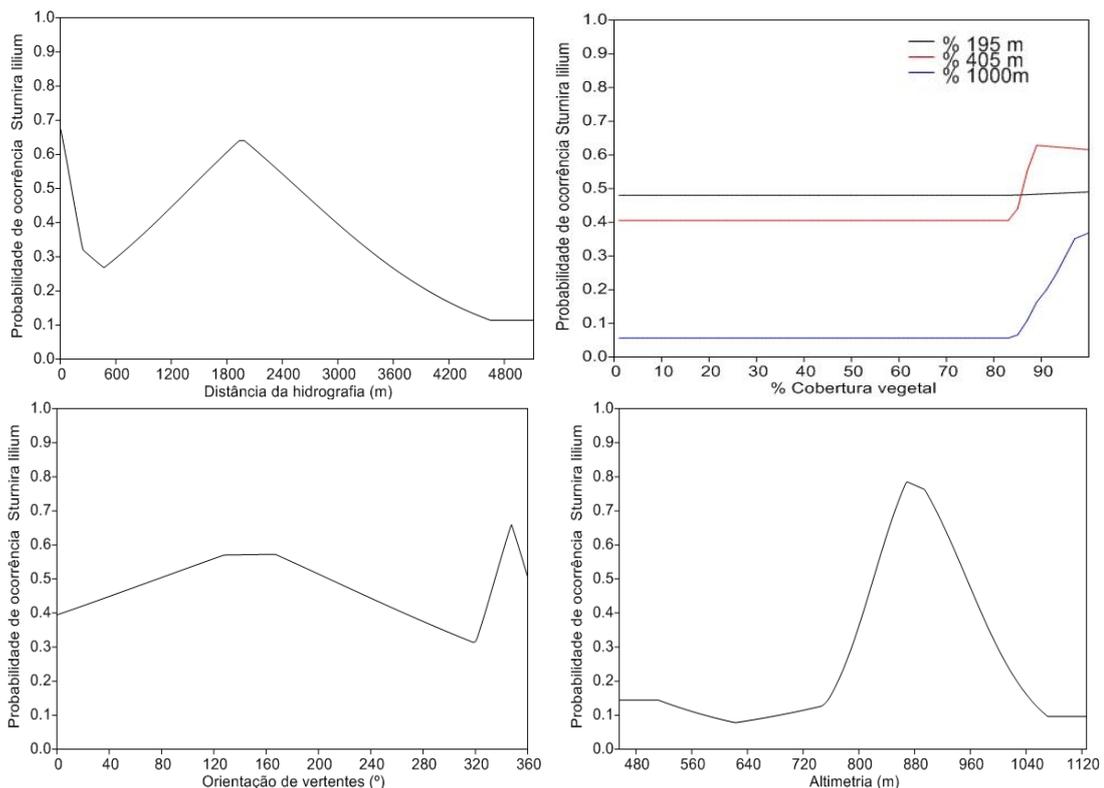


**Figura 4.** Curvas respostas da probabilidade de ocorrência de *S. variabile* a partir das variáveis ambientais.

A curva resposta da variável altimetria mostra que a probabilidade de ocorrência da espécie foi maior em valores intermediários, característica que indica que essa variável pode ser uma boa sucedânea para descrever a quantidade de área de borda. A relação entre área de borda e % de habitat foi descrita por autores, como Fahrig (2003) que ressalta que em valores muito baixos de % de habitat, os fragmentos desaparecem das paisagens, e por isso, os valores

de borda também decrescem. Em valores muito altos de % de habitat, os valores de borda também decrescem pela coalescência de fragmentos intactos. Desta forma, considerando o histórico de ocupação da área observada em que os fragmentos de vegetação natural foram substituídos ao longo do tempo por cultivos agrícolas e atualmente ocupam pequenas áreas e encontram-se isolados na paisagem, pode-se aferir que a ocorrência de *S. variabile* em áreas de valores de altimetria intermediária, tem relação com a sua ocorrência em áreas de borda.

Na Figura 5, são apresentadas as curvas respostas das variáveis utilizadas para predizer a adequabilidade ambiental de *S. lilium*. Como pode-se verificar as variáveis de diferentes % de cobertura vegetal também estão correlacionadas quando observadas nesse espaço ambiental. Esse comportamento pode ser atribuído às características da região que apresenta baixo % de cobertura vegetal, nas quais, animais adaptáveis tenderão a utilizar o espaço de forma homogênea em escalas mais amplas. Dessa forma, o MDE escolhido, como o melhor preditor para a ocorrência da *S. lilium* pode não ser realista. Para as demais variáveis podem ser observados alguns padrões, no entanto, os morcegos *S. lilium* tendem a evitar regiões mais altas na estação seca e tem alta afinidade com ambientes florestais, comportamento que pode ser contrastante nos efeitos das variáveis, já que em ambientes de relevo variável e alta fragmentação como do Estado de São Paulo, os topos de morro acabam coincidindo com muitos remanescentes de vegetação, que quando somados podem apresentar área significativa.



**Figura 5.** Curvas de resposta da probabilidade de ocorrência de *S. lilium* a partir das variáveis ambientais.

Os valores estatísticos utilizados para validar os modelos mostraram que os MDEs foram bom preditores, apontando áreas propícias para a coleta desses organismos e com potencial de restauração ecológica, já que a presença de *S. variabile* pode indicar áreas não utilizadas para produção agrícola e/ou áreas de pastos abandonados. O morcego *S. lilium* é considerado muito abundante, porém responde fortemente à sazonalidade e à disponibilidade de abrigos diurnos de qualidade, que na maioria das vezes, estão em ambientes de estrutura florestal

como Matas Ripárias, Cerradão e Matas semidecíduais (Muylaert et al., 2012). Estudos sobre o uso do espaço por esse morcego pode contribuir para esclarecer quantitativamente o papel dos morcegos como plantadores de florestas (Fleming & Kress, 2011).

Entretanto, quando avaliado se a presença de *S. variabile* poderia ser predita a partir do MDE de *S. liliium*, a média das 5 simulações dos 250 pontos gerados aleatoriamente de *S. liliium* em áreas que foram preditas, como de alta adequabilidade ambiental de *S. variabile* foi de 14,4%. A média das 5 simulações dos 250 pontos de *S. variabile* em áreas preditas como de alta adequabilidade ambiental de *S. liliium* foi de 9,6%. Dessa forma, mesmo que a partir da sobreposição dos modelos seja possível verificar áreas comuns de adequabilidade ambiental, a presença de *S. variabile* não pode ser predita a partir do MDE de *S. liliium* e vice-versa, devido aos diferentes requerimentos das duas espécies e/ou a questões de detectabilidade das espécies. Sendo que, enquanto o morcego precisa buscar recursos e de refúgios sombreados, a planta é sésil e busca áreas sujeitas à exposição direta de radiação solar.

#### 4. Conclusões

Os MDEs gerados foram bons preditores de áreas de adequabilidade ambiental das espécies *S. variabile* e *S. liliium*, sendo que o modelo de *S. variabile* foi o que apresentou melhor desempenho. Embora se tenha um mutualismo facultativo e uma forte especialização alimentar na interação das espécies, os MDEs não permitiram predizer a ocorrência mútua das espécies.

Entretanto, os MDEs tornam possível apontar áreas potenciais para restauração ecológica, considerando a importância das espécies na sucessão ecológica. Pode-se considerar que o modelo mais realista foi o de *S. variabile*, pelo fato de que as Solanáceas são mais detectáveis que organismos móveis, como os morcegos. A previsão mútua entre os MDEs pode melhorar se for avaliada uma área maior, entretanto, é importante considerar que é mais difícil discriminar habitats adequados para espécies amplamente distribuídas, como nesse caso.

#### Referências Bibliográficas

Bianconi, G. V.; Urubatan, M. S.; Suckow, Cruz-neto; A. P.; Mikich, S. B. Use of fruit essential oils to assist forest regeneration by bats. Society for ecological restoration international. **Restoration ecology**, p. 1–5, 2010.

BIOTA FAPESP. **Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo**. p. 250, 2008. Disponível em: <<http://www.biota.org.br/>>

Cambridge, UK. ISBN 978-0-521-87635-3 hb; 978-0-521-7002-3 pb. 338 p, 2009.

Cipollini, M. L.; Levey, D. J. Why are some fruits toxic? glykoalkaloids in solanum and fruit choice by vertebrates. **Ecology**, v. 78(3), p. 782-798, 1997.

Elith, J., Leathwick, J.R. SPECIES. Distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst**, v. 40, p. 677–97, 2009.

Estrada, A.; Coates-Estrada, R.; Merritt, D. Bat species richness and abundance in tropical rain forest fragments and in agricultural habitats at los Tuxtlas, Mexico. **Ecography**, v.16, p. 309–318, 1993.

Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**. v. 34, p. 487–515, 2003.

Fleming, T. H; Kress, W. J. A brief history of fruits and fruvivores. **Acta ecológica**, v. 37, p. 521–530, 2011.

Franklin, J. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction, **Cambridge University Press**, Cambridge, UK. ISBN 978-0-521-87635-3 hb; 978-0-521-7002-3 pb. 338 p, 2009.

- Ferraz, k. M. P. M; B.; Beisiegel, B. M.; Paula, R. C.; Sana, D. A.; Campos, C. B.; Oliveira, T. G.; Desbiez, A. L. J. How species distribution models can improve cat conservation- jaguars in Brazil. *Catnews*, v. , p. 1-5, 2012.
- Franklin, J. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction, **Cambridge University Press**, Cambridge, UK. ISBN 978-0-521-87635-3 hb; 978-0-521-7002-3 pb. 338 p, 2009.
- Gannon, M. R.; Willig, M. R.; Knox Jones, J. J. *Sturnira lilium*. **Mammalian species**. v. 333, p. 1-5, 1989.
- Gentry, A. H. Flowering phenology and diversity in tropical bignoniaceae. **Biotrópica**, v. 6, p. 64-68, 1974.
- Giannini, N. P.; Kalko, E. K. V. Trophic structure in a large assemblage of phyllostomid bats in panama. **Oikos**, v. 105, p. 209-220, 2004.
- Henry. M.; Pons, J.; Cosson, J. Foraging behaviour of a frugivorous bat helps bridge landscape connectivity and ecological processes in a fragmented rainforest. **Journal of animal ecology**, v. 76, p. 801–813, 2007.
- IF. Instituto Florestal. **Inventário Florestal, sistema de informações florestais do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/>>. Acesso em: 01 nov. 2011.
- Isbell, F.; Calcagno, V.; Hector, A.; Connolly, J.; Harpole, W. S.; Reich, P. B.; Scherer-Lorenzen, M.; Schmid, B.; Tilman, D.; Van Ruijven, J.; Weigelt, A.; Wilsey, B. J.; Zavaleta, E. S.; Loreau, M. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. **Nature**, v. 477, p.199–202, 2011.
- Lindenmayer, F.B. and J.F. Franklin. **Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscale approach**. Washington: Island Press, 2002.
- Lobova, T. A.; C. K. Geiselman; Mori, S. A. Mori. Seed dispersal by bats in the neotropics. **New york botanical garden press**. p. 465, 2009.
- Marinho-Filho, J. S. The coexistence of two frugivorous bat species and the phenology of their food plants in brazil. **Journal of tropical ecology**, v. 7, p. 59-67, 1991.
- Mello, M. A. R; Kalko, E. K.V.; Silva, W.R. Diet and abundance of the bat *sturnira lilium* (chiroptera) in a brazilian montane atlantic forest. **Journal of mammalogy**, v. 89(2), p. 485-492, 2008.
- Muscarella, R.; Fleming, T.H. The role of frugivorous bats in tropical forest succession. **Biological Reviews**, v. 82(4), p. 573–590, 2007.
- Muylaert, R. L. Especialização individual na dieta de *sturnira lilium*. BSC. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2011.
- Muylaert, R. L.; Rogeri, P. K .E.; Mello, M.A.R.M. Roost fidelity and use of space by the bat *sturnira lilium* in a heterogeneous cerrado landscape. **ATBC Meeting**, 2012 Bat Conference, Bonito, Brazil, 2012.
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C.G.; DA Fonseca, G.A.B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- New York BotanicalGarden**. Disponível em: <<http://sciweb.nybg.org/science2/VirtualHerbarium.asp>> Acesso em: 27 out. 2012.
- Rogeri, P. K. **Especialização individual no uso do espaço em morcegos frugívoros**. 2011.57 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Estadual de Campinas, IB, 2011.
- Sallabanks, R. Hierarchical mechanisms of fruit selection by an avian frugivore. **Ecology**. v. 74, p. 1326–1336, 1993.
- Valeriano, M. M. TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 75 p. Disponível em: <[http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia\\_utilizacao\\_topodata.pdf](http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_utilizacao_topodata.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2011.
- Wang, B. C.; Smith, T. B. Closing the seed dispersal loop. **Trends in Ecology & Evolution**. v. 17, p. 379-385, 2002.