Vagner Aparecido Cavarzere Junior

# Distribuição das aves ao longo de um gradiente altitudinal na Serra do Mar do Estado de São Paulo, Brasil

São Paulo

2010

Vagner Aparecido Cavarzere Junior

# Distribuição das aves ao longo de um gradiente altitudinal na Serra do Mar do Estado de São Paulo, Brasil

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, para a obtenção de Título de Mestre em Ciências, na Área de Zoologia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Fábio Silveira.

São Paulo

2010

Cavarzere Junior, Vagner Aparecido
Distribuição das aves ao longo de um gradiente altitudinal na Serra do Mar do Estado de São Paulo, Brasil.
119 páginas.

Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Zoologia.

1. Distribuição altitudinal 2. Aves 3. Mata Atlântica I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências. Departamento de Zoologia.

## Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a) Dr(a).

Prof. Dr. Luís Fábio Silveira

Orientador

Aos meus pais.

# Agradecimentos

Aos meus pais, pelo grande exemplo que são e pelo total apoio em minhas decisões;

Ao amigo e orientador Luís Fábio Silveira, pelos ensinamentos valiosos e orientação exata ao longo de quatro anos de convivência, mas, acima de tudo, pelo profissionalismo e competência inspiradores;

À Renata Pardini, que fez o possível e impossível antes mesmo de eu ingressar no mestrado, colaborando imensuravelmente à minha formação;

Ao Pedro Develey, pela imensa ajuda antes e durante o desenvolvimento da dissertação;

Ao Gabriel Parmezani Moraes, pela amizade e irrefutável presença nos cansativos trabalhos de campo;

Aos amigos "baurulinos" Andreli e Flávio, pela mais que agradável companhia e à Fernanda de Goés Maciel, que, além de uma grande amiga, também se voluntariou para subir e descer os morros de Boracéia;

Às amigas "baurulinas" Flávia, Paula, Keila, Gabys, Gisele, Julia, Luciene e Samarina, com muitas saudades;

À Natália (Ná), Bárbara (Babi) e Thalita (Thata) pela companhia de quase 20 anos (!), desde a época da escola;

Aos alunos e ex-alunos do Laboratório de Ornitologia da USP, pela convivência, pelos debates ornitológicos e pela amizade;

À Prof. Dra. Déborah de Oliveira e à Dr. Rúbia Gomes Morato, do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, pelo esforço e tempo despendido na montagem e dos mapas e cálculos das áreas das cotas altitudinais para a dissertação;

Ao Luiz Fernando Figueiredo, por ceder relatórios não publicados do Centro de Estudo Ornitolólgicos (CEO);

Ao Marcelo Ferreira de Vasconcelos, pelo pronto acesso aos espécimes de Casa Grande depositados no Museu da Universidade Federal de Minas Gerais;

À Sonia Ruiz e Janda Biscalquini, cultivadoras do meu interesse na Biologia;

Ao Edson Endrigo, por ceder as fotografias utilizadas na dissertação;

Ao Nei, Secretário do Meio Ambiente do Condomínio Morada da Praia, em Bertioga, por facilitar e colaborar com as minhas atividades no local;

Ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, por fornecer os confortáveis alojamentos em Boracéia;

Ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, por fornecer equipamentos imprescindíveis durante a realização dos trabalhos de campo;

À IdeaWild, por fornecer as redes de neblina e outros equipamentos utilizados durante a realização dos trabalhos de campo;

À CAPES, pelo apoio financeiro ao longo de dois anos.

# Índice

**Introdução geral** 01

**Capítulo 1.** Uma revisão do conhecimento ornitológico na Estação Biológica de Boracéia 06

**Capítulo 2.** Análise dos padrões altitudinais das aves de Mata Atlântica: a influência do *mid-domain effect* 34

**Capítulo 3.** Distribuição altitudinal das aves na Serra do Mar: efeitos da altitude, área e *mid-domain effect* 58

**Conclusões Gerais** 115

**Resumo** 117

***Abstract*** 119

# Introdução Geral

A variação na diversidade dos organismos ao longo de gradientes ecológicos instigou muitas pesquisas desde o século XIX (von HUMBOLDT, 1849; WALLACE, 1878; WARMING, 1909; DARWIN, 1839, MERRIAM, 1890). A literatura recente focou-se principalmente no estudo de gradiente latitudinais, uma vez que a riqueza das espécies é fundamentalmente maior à medida que a latitude decresce (STEVENS, 1989). Com a evolução e acúmulo de informações, o modelo monotônico da diminuição da riqueza com o aumento do gradiente latitudinal foi estendido aos gradientes altitudinais (STEVENS, 1992), o que gerou controvérsia por parte de diversos pesquisadores (RAHBEK, 1995).

De fato, os primeiros estudos sobre a distribuição altitudinal das aves deixaram claro o declínio monotônico do número de espécies à medida que o gradiente altitudinal das montanhas analisadas aumentava (KIKKAWA & WILLIAMS, 1971; TERBORGH, 1971). Foi apenas em um estudo subseqüente que TERBORGH (1977) percebeu o feito totalmente inesperado que a padronização do esforço amostral geraria: uma curva unimodal, com as menores riquezas nos extremos do gradiente altitudinal e um pico do número de espécies ao redor do ponto intermediário da montanha.

Enquanto RAHBEK (1995) questionava as similaridades entre os gradientes latitudinais e altitudinais, uma comparação que, segundo o autor, resultou de muitas citações repetidas dos primeiros artigos sobre o tema, novas aproximações

começaram a surgir para elucidar o novo padrão descrito. COLWELL e HURTT (1994) descreveram diversos modelos nulos na tentativa de responder o porquê da curva unimodal, sendo que anos mais tarde esse novo modelo veio a ser chamado de *mid-domain effect* (MDE; COLWELL & LEES, 2000).

Desde sua publicação, diversos pesquisadores investigaram a atuação do MDE em diversos grupos animais e vegetais (DUNN *et al*., 2007) e, em revisões extensivas da literatura, o padrão unimodal mostrou-se bastante comum (RAHBEK, 1995, McCAIN, 2009). Enquanto muitos autores encontraram evidências que suportam fortemente o modelo, outros os descartaram parcial ou completamente, tornando o MDE um tema bastante controverso (COLWELL *et al*., 2004).

Embora a Mata Atlântica, especificamente a Serra do Mar, seja um cenário ideal para o estudo das variações altitudinais de uma imensa gama de organismos, apenas um estudo foi realizado na tentativa de explorar variáveis que expliquem os padrões de distribuição altitudinal nessa região (opiliões; ALMEIDA-NETO *et al*., 2006). Em diversas regiões do mundo muitos estudos com aves foram conduzidos sobre o tema (McCAIN, 2009), enquanto no Brasil, poucas publicações fornecem apenas dados a respeito da altitude de registro das espécies sem testar variáveis que expliquem suas distribuições. Muitas delas se quer pretenderam padronizar o esforço amostral, o que torna difícil comparar e buscar fatores responsáveis pela distribuição altitudinal dessas espécies.

A determinação dos padrões de distribuição altitudinal dos poucos estudos existentes, assim como do padrão encontrado em um estudo com o esforço amostral padronizado, é de extrema importância para o entendimento de como as aves da Mata

Atlântica estão distribuídas ao longo de gradientes altitudinais. Desse modo, a presente dissertação teve por objetivos revisar os estudos sobre distribuição altitudinal de aves já realizados na Mata Atlântica brasileira para, a partir de seus dados, determinar os padrões de distribuição altitudinal das aves dessa região, e analisar um conjunto de dados com esforço amostral padronizado para testar variáveis que possam responder por essa distribuição. Adicionalmente, é apresentada uma compilação inédita de todos os registros avifaunísticos ao longo de mais de 68 anos na Estação Biológica de Boracéia, unidade na qual foi conduzida parte das amostragens e importante área para a conservação das aves de Mata Atlântica no Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA-NETO, M.; MACHADO, G.; PINTO-DA-ROCHA, R.; GIARETTA, A. A. Harvestman (Arachnida: Opiliones) species distribution along three Neotropical elevational gradients: an alternative rescue effect to explain Rapoport's rule? **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 2, p. 361-375, 2006.

COLWELL, R. K.; HURTT, G. C. Non biological gradients in species richness and a spurious Rapoport's effect. **The American Naturalist**, v. 144, n. 4, p. 570-595, 1994.

COLWELL, R. K.; LEES, D. C. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 70-76, 2000.

DARWIN, C. Journal of the researches into the geology and natural history of various countries visited by the H.M.S. Beagle, under the command of captain Fitzroy, R.N. from 1832 to 1836. 1 ed. Londres: Henry Colburn, 1839. 615 p.

DUNN, R. R.; McCAIN, C. M.; SANDERS, N. J. When does diversity fit null model predictions? Scale and range size mediate the mid-domain effect. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 3, p. 305-312, 2007.

von HUMBOLDT, A. **Aspects of nature in different lands and different climates, with scientific elucidations**. Translated by Mrs. Sabine. 1 ed. Londres: Longman, Brown, Green, and Longman, 1849. 475 p. 2 volumes.

McCAIN, C. M. Global analysis of bird elevational diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, n. 3, p. 346-360, 2009.

MERRIAM, C. H. Results of a biological survey of the San Francisco Mountain region and the desert of the Little Colorado, Arizona. **North American Fauna**, v. 3, p. 1-136, 1890.

RAHBEK, C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? **Ecography**, v. 18, n. 2, p. 200-205, 1995.

STEVENS, G. C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics. **The American Naturalist**, v. 133, n. 2, p. 240-256, 1989.

TERBORGH, J. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. **Ecology**, v. 52, n. 1, p. 23-40, 1971.

TERBORGH, J. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. **Ecology**, v. 58, n. 5, p. 1007-1019, 1977.

WALLACE, A. R. **Tropical nature and other essays**. 1 ed. Londres: Macmillan, 1878. 356 p.

STEVENS, G. C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. **The American Naturalist**, v. 140, n. 6, p. 893-911, 1992.

WARMING, J. E. B. Oecology of plants: an introduction to the study of plant communities. Oxford: Clarendon Press, 1909. 422 p.

# Capítulo 1.

## Uma revisão do conhecimento ornitológico na Estação Biológica de Boracéia[1]

[1] Capítulo aceito para publicação: CAVARZERE, V.; MORAES, G. P.; SILVEIRA, L. F. Boracéia Biological Station: an ornithological review. **Papéis Avulsos de Zoologia**, 2010.

Resumo

A Estação Biológica de Boracéia, localizada em Salesópolis, SP, situa-se na Serra do Mar, importante região biogeográfica e um dos centros de endemismo mais bem definidos do Brasil. Apesar de instituída em 1954, quando passou a pertencer ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, a avifauna desta localidade já era objeto de pesquisas desde a década de 1940, quando foram realizadas as primeiras coletas de aves. Aqui é apresentada pela primeira vez uma revisão de todos os registros avifaunísticos realizados nessa localidade ao longo de mais de 68 anos assim como a adição de novos registros com base em dados coletados recentemente com transectos lineares e redes de neblina. Os registros para Boracéia estiveram representados em museus, na literatura e em dados não publicados que, somados aos registros recentes, acumularam 323 espécies de aves para a localidade. Destas, 117 são endêmicas da Mata Atlântica e 28 estão sob diferentes graus de ameaça no Estado. O inventário recente adicionou 19 espécies à listagem prévia, sendo três endêmicas. Poucos estudos na Serra do Mar ou cadeias montanhosas da Mata Atlântica apresentaram uma riqueza de aves tão elevada quanto à encontrada na Estação. Embora alguns registros possam ser duvidosos e necessitem de confirmação, duas espécies representam os únicos registros para o Estado e outras merecem destaque devido à raridade de serem encontradas na natureza, como a *Aburria jacutinga*. Boracéia inclui ainda uma espécie recém descoberta em áreas próximas, sendo de grande importância para a conservação das aves da Mata Atlântica.

**Palavras-chave**: Coleção ornitológica, Mata Atlântica Montana, redes de neblina, riqueza, transectos lineares.

*Abstract*

Boracéia Biological Station, near the city of Salesópolis, SP, is located in one of the most well-defined centers of endemism in eastern Brazil - the Serra do Mar Center. The Station was established only in 1954 under the auspices of the Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, but the avifauna of this locality had already attracted the attention of ornithologists by the 1940s, when the first specimens were collected. Here I describe the ornithological history of the Boracéia Biological Station with a review of all the bird species recorded during more than 68 years, including recent transect counting and mist-netting records. Boracéia's records were found in museums, literature and unpublished reports that totaled 323 bird species when recent data is also considered. Of these, 117 are endemic to the Atlantic forest and 28 are threatened in the state. Recent bird surveys added 19 new species to the previous list, including three endemics. Few studies carried out in the Serra do Mar or even in other mountain ranges from the Atlantic forest reported as many bird species as has been recorded at the Station. Although there are a few doubtful records that need to be checked, two species are the only sightings in the state whereas others represent important highlights due to their current rarity in the wild, such as the Black-fronted Piping Guan (*Aburria jacutinga*). Boracéia includes a recently discovered species near the Station and is extremely important for the conservation of Atlantic forest birds.

**Key words**: Montane Atlantic forest, mist-net, ornithological collection, richness, transect counts.

## 1.1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica do Brasil originalmente ocupava uma faixa contínua de diversos tipos florestais ao longo da costa brasileira desde o Rio Grande do Sul ao Rio Grande do Norte (SILVA *et al*., 2004). A cordilheira que se estende próxima à costa entre os estados de Santa Catarina e Rio de Janeiro, chamada de Serra do Mar, (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998), é uma importante região biogeográfica na América do Sul (SILVA *et al*., 2004) e também um dos centros de endemismo mais bem definidos de muitos táxons, incluindo as aves (MÜLLER, 1973; HAFFER, 1974, 1985; CRACRAFT, 1985). Ao menos 660 espécies reproduzem-se na Mata Atlântica, das quais 200 (30%) são consideradas endêmicas do Bioma (GOERCK, 1997).

Os maiores níveis de endemismo da Mata Atlântica são encontrados na Serra do Mar, onde o complexo montanhoso influenciou a composição e evolução das espécies (SILVA *et al*., 2004). Cerca de 140 endemismos correspondem a passeriformes florestais (HAFFER, 1985) dos quais 88 espécies representam gêneros monotípicos (WILLIS, 1992). A taxa de endemismo é provavelmente ainda maior uma vez que diversos táxons atualmente considerados subespécies podem ser elevados ao nível de espécie (segundo conceitos biológico e/ou filogenético) com o desenvolver de estudos taxonômicos mais detalhados (SILVEIRA & OLMOS, 2007).

Listagens de espécies que podem ser encontradas em determinada área são fontes de informação básica e valiosa na elaboração de planos de conservação ou manejo dessas áreas. Tais listagens também são o ponto de partida para estudos mais detalhados envolvendo diferentes componentes da avifauna. Os conhecimentos gerados através desses levantamentos asseguram e justificam a existência dessas

Unidades de Conservação, as quais representam uma das últimas chances para a manutenção da rica e diversa avifauna da Mata Atlântica (DEVELEY, 2004).

Apesar de mais de 68 anos terem passado desde o primeiro estudo ornitológico formal na Estação Biológica de Boracéia, nenhum esforço foi feito para resgatar os registros das espécies de aves da localidade, o que torna este compêndio inédito e necessário. Neste capítulo são fornecidas informações sobre a composição da avifauna, além da história dos estudos ornitológicos da Estação.

## 1.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1. Área de estudo

A Estação Biológica de Boracéia (EBB; 23°38'S, 45°52'W), foi estabelecida em 1954 (TRAVASSOS FILHO & CAMARGO, 1958), e atualmente é administrada pelo Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP). Localizada próxima à cidade de Salesópolis no Estado de São Paulo (CAMARGO, 1946), a EBB possui 96 ha de Mata Atlântica Montana (750 – 900 m) e está inserida na Reserva da Casa Grande, a qual pertence ao Departamento de Águas e Esgotos (DAEE) do Estado de São Paulo. Por sua vez, Casa Grande está dentro do Parque Estadual da Serra do Mar, núcleo São Sebastião. Seu clima é considerado tropical úmido (Cfa na classificação de Köppen), com chuvas uniformes ao longo do ano e verão quente. A média pluviométrica anual é de 2019 mm, sendo as médias mensais extremas equivalentes a 71,6 e 284,7 mm em junho e janeiro, respectivamente; a temperatura anual média é de 17,9°C, sendo julho

(14,7°C) e fevereiro (21,5°C) os meses mais frios e quentes, respectivamente (CUSTÓDIO FILHO, 1989).

### 1.2.2. Pesquisa de informações

#### 1.2.2.1 Revisões

Foram pesquisados todos os espécimes coletados em “Boracéia” e “Casa Grande” na coleção do MZUSP assim como na coleção do Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Campinas e na Coleção Ornitológica da Universidade Federal de Minas Gerais. Dados não publicados também foram considerados, como uma lista elaborada por D. F. Stotz em 1987, e o livro de visitas da EBB, no qual pesquisadores descrevem atividades realizadas na Estação e, às vezes, comentam sobre espécies registradas durante seus trabalhos de campo. Informações não publicadas de colaboradores, como o Centro de Estudos Ornitológicos – CEO, e visitas realizadas pelo Departamento de Zoologia da Universidade de São Paulo também foram incluídas.

#### 1.2.2.2. Registros recentes

Todas as espécies registradas durante campanhas sistemáticas foram incluídas na lista final. Como parte de um projeto de pesquisa mais amplo, o delineamento utilizado para esta finalidade não foi minuciosamente elaborado, já que o intuito era registrar o maior número de espécies possível no menor intervalo de tempo. Assim, foram realizados transectos lineares (BIBBY *et al*., 2000) e capturas com redes de neblina entre agosto de 2008 e fevereiro de 2010. A velocidade determinada para os transectos com distância ilimitada de detecção foi constante e lenta. Todos foram

iniciados cerca de 10 minutos antes do nascer do sol, embora alguns tenham sido conduzidos durante as madrugadas (entre 03:00 e 05:00). Para esta metodologia foram utilizadas as estradas que cortam a EBB. As redes de neblina (10; 12 m x 2,5 m x 30 mm) foram dispostas em cinco trilhas diferentes que variaram de 1,5 m – 4 m de largura a, no mínimo, 1 km uma da outra em matas secundárias maduras. As redes eram abertas ao redor das 06:30 e fechadas somente depois das 17:00, ou antes, quando ocorriam neblinas pesadas ou chuvas. Espécimes coletados foram depositados no MZUSP, e gravações feitas com Panasonic RQ-L31 e microfone direcional, no Arquivo Sonoro do Laboratório de Ornitologia da Universidade de São Paulo.

## 1.3. RESULTADOS

### 1.3.1. Registros totais

Durante 68 anos, 323 espécies de aves foram registradas na EBB. Não-Passeriformes somaram 117 espécies distribuídas em 32 famílias enquanto os Passeriformes contribuíram para as outras 206 espécies distribuídas em 26 famílias. Aves florestais representaram mais de 60% de todas as espécies e, do total de registros, 117 (36%) são consideradas endêmicas da Mata Atlântica (PARKER *et al.*, 1996; Apêndice 1). A EBB possui cerca de 18% de todas as espécies registradas no Brasil (CBRO, 2009), 41% do Estado de São Paulo (SILVEIRA *et al.*, no prelo) e 48% das espécies terrestres do Bioma Mata Atlântica (GOERCK, 1997).

A curva de acumulação de espécies em função dos estudos conduzidos na EBB não estabilizou ao longo de mais de 68 anos de inventários (Figura 1).

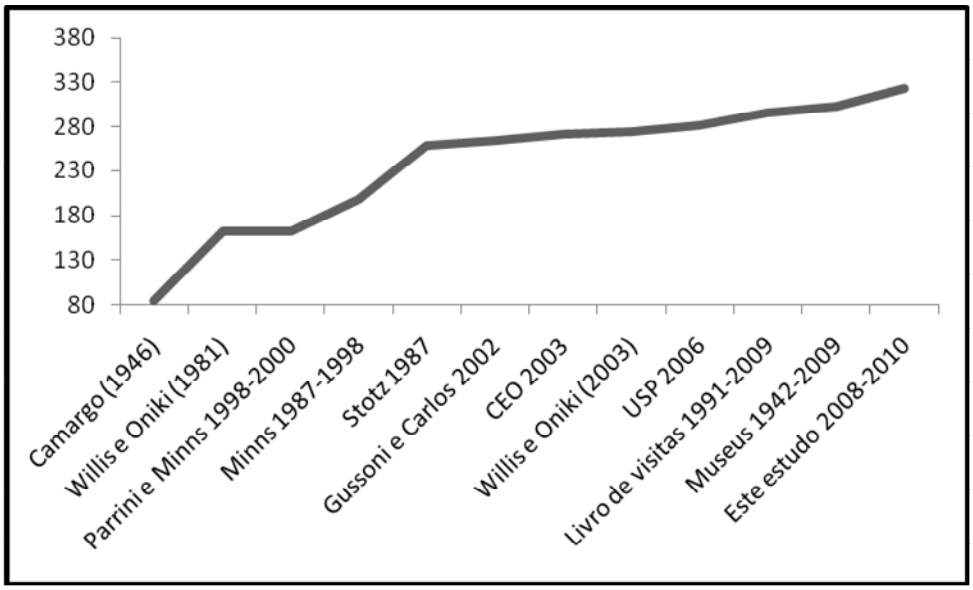



Figura 1: Curva de acumulação das espécies registradas na Estação Biológica de Boracéia entre 1942 e 2010.

1.3.2. Livro de visitas

Pesquisadores e observadores de aves registraram 34 espécies no livro de vistas da EBB.

1.3.3. Espécimes coletados

Os primeiros espécimes a darem entrada no MZUSP foram coletados por J. L. Lima e E. Dente em 13 de abril e 17 de setembro de 1942. A primeira viagem de coleta foi composta por H. F. A. Camargo e E. Dente em meados de 1940. Outros importantes colaboradores foram D. Seraglia, L. D'Amico, L. Travassos Filho, M. Ventell, W. Bokermann, E. X. Rabelo, F. Novaes, J. L. Silva, P. Schwartz e D. F. Stotz, que coletaram durante 1945 a 1992. Nenhuma coleta ocorreu nos anos 1980. Após as últimas contribuições de D. F. Stotz em 1992, F. S. R. Amaral e V. Cavarzere foram os primeiros

a coletar alguns espécimes nos anos 2000. Atualmente a coleção da EBB do MZUSP inclui 784 espécimes e um total de 147 espécies. Somando os indivíduos encontrados nas coleções de outros museus, a coleção de aves da EBB inclui 906 espécimes e 159 espécies.

A. M. Olalla coletou quatro indivíduos correspondentes a três espécies procedentes de "Boracéia, Estado de São Paulo" em 30 de janeiro e 7 de setembro de 1963 e em 23 de maio de 1964 que podem ser provenientes da Praia de Boracéia, no município de Bertioga, sendo, portanto, excluídos das análises. Essas espécies foram: *Charadrius collaris*, *Chiroxiphia caudata* e *Parula pitiayumi*.

1.3.4. Publicações

A primeira publicação sobre as aves da EBB foi minuciosamente descrita em Camargo (1946), quando o autor realizou coletas entre 1 e 12 de novembro de 1945 ao lado de E. Dente. Esta lista pioneira incluiu 84 espécies, das quais 62 foram taxidermizadas e depositadas no MZUSP. Durante uma curta estadia entre 31 de agosto e 7 de setembro de 1977, Willis e Oniki (1981) registraram 132 espécies. Anos mais tarde, Willis e Oniki (2003) incluíram outras 11 espécies para a localidade, algumas das quais também podem ter sido provenientes da Praia de Boracéia, (*Calidris pusilla*, *Amazilia fimbriata*, *Drymophila squamata* e *Cantorchilus longirostris*), sendo desconsideradas neste estudo.

1.3.4. Outras fontes e registros recentes

Muitos ornitólogos contribuíram para os registros de aves ao longo de 20 anos para a EBB, como visitas esporádicas e viagens de observação de aves (Tabela 1). Durante o

desenvolvimento deste projeto foram registradas 242 espécies durante aproximadamente 270 horas de transectos e 920 horas-rede. Destas espécies, 19 representaram novas adições à listagem da localidade, sendo três endêmicas da Mata Atlântica: duas espécies florestais, o pixoxó *Sporophila frontalis* e a cigarra-verdadeira *S. falcirostris*, e outra típica de campos de atitude, a maria-preta-de-garganta-vermelha *Knipolegus nigerrimus*.

Tabela 1: Número de espécies de aves registradas na Estação Biológica de Boracéia em diversos estudos e viagens ornitológicas formais e não formais entre 1945 e 2010.

| **Referência** | **Riqueza** | **Anos** |
|---|---|---|
| Camargo (1946) | 84 | 1945 |
| Willis e Oniki (1981) | 132 | 1977 |
| R. Parrini e J. Minns | 130 | 1998 - 2000 |
| J. Minns | 163 | 1987 - 1998 |
| D. F. Stotz | 233 | 1987 |
| C. Gussoni e R. Carlos | 80 | 2002 |
| CEO | 79 | 2003 |
| Willis e Oniki (2003) | 11 | 1977 - 2002 |
| Depto. Zoologia, USP | 144 | 2006 |
| Livro de visitas | 34 | 1991 - 2009 |
| Museus | 149 | 1942 - 2009 |
| Este estudo | 242 | 2008 – 2010 |

## 1.4. DISCUSSÃO

O presente levantamento registrou 19 novas espécies para a EBB e a curva de acumulação mostrou que futuros estudos podem registrar ainda mais espécies nessa localidade, pois não houve assíntota. Na verdade, a cada estudo, representado na

Figura 1 em relativa ordem cronológica, o número de espécies aumentou constante e rapidamente no início das visitas, diminuindo a velocidade de novos registros a partir dos anos 2000.

A riqueza e porcentagem de endemismo encontrados no presente estudo foram similares aos valores encontrados em outras regiões da Serra do Mar de São Paulo (GOERCK, 1999; DEVELEY, 2004; SCHUNCK, 2009) e de outros Estados (BUZZETTI, 2000) e até mesmo em outras cadeias montanhosas, como a Serra de Paranapiacaba (VIELLIARD & SILVA, 1994). A diferença principal está na amplitude do gradiente altitudinal considerada nos estudos citados, a qual, na EBB, não ultrapassa os 150 m. Poucos estudos focados em regiões específicas da Mata Atlântica, onde as altitudes também não possuem uma grande variação, obtiveram riqueza similar à encontrada na EBB, como a base Saibadela do Parque Estadual Intervales, com altitudes entre 70 e 350 m (ALEIXO & GALLETI, 1997; Tabela 2).

Tabela 2: Número de espécies de aves e porcentagem de espécies endêmicas (em relação ao total de registros) da Mata Atlântica registradas em seis localidades das Serras do Mar e de Paranapiacaba. P. E.: Parque Estadual; P. E. S. M.: Parque Estadual da Serra do Mar; E. E.: Estação Ecológica; E. B.: Estação Biológica.

| **Localidade** (referência) | **Riqueza** | **% endemismo** |
|---|---|---|
| P. E. Intervales, Ribeirão Grande, SP (VIELLIARD & SILVA, 1994) | 338 | 39,1 |
| P. E. Intervales, Sete Barras, SP (ALEIXO & GALLETI, 1997) | 234 | 39,3 |
| P. E. S. M., Ubatuba, SP (GOERCK, 1999) | 254 | 38,6 |
| Angra dos Reis e Parati, RJ (BUZZETTI, 2000) | 333 | 35,7 |
| E. E. Juréia-Itatins, Iguape e Peruíbe, SP (DEVELEY, 2004) | 318 | 34,1 |
| P. E. S. M., Itanhaém e São Paulo, SP (SCHUNCK, 2009) | 323 | 34,6 |
| E. B. Boracéia, Salesópolis, SP (este capítulo) | 323 | 36,3 |

Quatro espécies foram reportadas apenas uma vez e necessitam de confirmação. Enquanto descia a encosta da vertente atlântica do gradiente Bertioga – Salesópolis, E. Dente disse ter escutado o assobio descendente da saudade (*Tijuca atra*; CAMARGO, 1946). Essa espécie, conhecida de maiores altitudes e encontrada somente ao norte de São Paulo, jamais foi vista ou ouvida desde então. Talvez o ornitólogo possa ter confundido seu canto com o de uma araponga-do-horto *Oxyrunchus cristatus*, espécie comum nas altitudes mais baixas dessa encosta (V. Cavarzere, obs. pes.).

Camargo (1946) coletou uma possível fêmea de papa-formiga-vermelho *Formicivora rufa* infelizmente danificada pelo tiro e não taxidermizada. Esta espécie é tipicamente encontrada em habitats secos e abertos como o cerrado (SICK, 1997), portanto ausente na EBB. Certamente o espécime tratava-se de uma espécie recém descoberta em regiões próximas à EBB e aparentada ao bicudinho-do-brejo (*Stymphalornis acutirostris*; SILVEIRA *et al*., in prep.). A plumagem das fêmeas de ambas as espécies é muito similar (talvez pertençam ao mesmo gênero; Apêndice 2), levando H. F. A. Camargo à identificação mais propícia à época.

O cisqueiro *Clibanornis dendrocolaptoides*, registrado por D. F. Stotz, possui apenas um registro documentado para o Estado de São Paulo (pele no MZUSP). Willis e Oniki (2003) questionam este registro e sugerem que o espécime seja proveniente da margem esquerda do Rio Paraná, portanto território do Paraná.

O registro de J. Minns do joão-botina-da-mata *Phacellodomus erythrophthalmus* pode ter sido de um táxon similar e recém separado, joão-botina-do-brejo (*P. ferrugineigula*; SIMON *et al*., 2008), cujos habitats são brejos com taboas,

muito comuns ao redor da EBB. Das espécies acima citadas, a penas o joão-botina-do-brejo foi registrado durante os trabalhos de campo deste projeto, sendo a espécie congenérica descartada da listagem final.

A exclusão das espécies provavelmente coletadas na Praia de Boracéia por A. M. Olalla foi devido ao fato de *C. collaris* nunca ter sido registrado na EBB e ser bastante comum nesta praia da cidade de Bertioga (V. Cavarzere, obs. pes.). O mesmo critério foi adotado para as quatro espécies de WILLIS e ONIKI (2003). Embora o beija-flor-de-garganta-verde *Amazilia fimbriata* tenha sido visto na EBB por D. F. Stotz, estas espécies são tipicamente encontradas ou em ambientes aquáticos ou em matas de baixada, e talvez provenientes da praia homônima.

D. F. Stotz avistou algumas aves características de Mata Atlântica de baixada: *Leucopternis lacernulatus*, *Ramphodon naevius*, *Amazilia fimbriata*, *Trogon viridis*, *Myrmotherula unicolor*, *Formicarius colma*, *Hemitriccus orbitatus*, *Phylloscartes paulista* e *Tachyphonus cristatus*. Apenas *R. naevius*, *T. viridis* e *M. unicolor* foram confirmadas até o momento.

Duas espécies da EBB representam os únicos registros para o Estado de São Paulo: o sabiá-de-óculos *Catharus ustulatus* (espécime coletado por E. Dente) e a mariquita *Dendroica cerulea*. Estes migrantes boreais não foram registrados durante este estudo e merecem mais atenção no sentido de documentar e reconfirmar seus status.

No total, a EBB possui 28 espécies consideradas ameaçadas no Estado (SILVEIRA *et al*., no prelo), sete espécies ameaçadas no Brasil (MMA, 2003), e nove espécies ameaçadas globalmente (IUCN, 2007; Apêndice 1). Ao menos 88 espécies,

77% de todas as aves ameaçadas no país, são da Mata Atlântica (BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2003). É contrastante que tamanha diversidade de aves englobe tantas espécies ameaçadas. Diferente da Amazônia, onde grandes corpos de florestas primárias podem ser manejados como reservas, a sobrevivência de longo prazo das aves da Mata Atlântica vai depender da conservação dos fragmentos que ainda restam (GOERCK, 1997), provavelmente futuros corredores ecológicos para muitas espécies.

O registro recente de espécies consideradas raras demonstra a importância da EBB para a conservação das aves da Mata Atlântica. A jacutinga *Aburria jacutinga*, o pixoxó e a cigarra-verdadeira são consideradas globalmente ameaçadas de extinção e, com a exceção da primeira, um único indivíduo visualizado, os emberizídeos foram registrados em grandes quantidades durante o mês de fevereiro de 2010. Por englobar uma pequena área já inserida em uma unidade de conservação e possuir um número significativo de duas espécies globalmente ameaçadas, a EBB pode ser considerada uma IBA (Important Bird Area), ou seja, área prioritária para conservação de aves no Brasil (BENCKE *et al*., 2006).

Foram registradas 323 espécies de aves ao longo de 68 anos na Estação Biológica de Boracéia, muitas das quais são ameaçadas (no Estado, no país e globalmente) ou endêmicas da Mata Atlântica. Outras devem ser consideradas em estudos futuros para que suas presenças sejam confirmadas. Com uma das maiores listagens de aves da Mata Atlântica, esta incrível diversidade deve ser monitorada em longo prazo para o entendimento de diversas questões, como interações ecológicas, conservação e o monitoramento adequado de espécies ameaçadas. A Estação Biológica de Boracéia é uma área extremamente importante para o estudo e a

conservação de aves da Mata Atlântica no Estado de São Paulo e em um contexto nacional, pois pode ser considerada uma área importante para a conservação de aves devido à presença de duas espécies globalmente ameaçadas de extinção, como o pixoxó e a cigarra-verdadeira.

## 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALEIXO, A.; GALLETI, M. The conservation of the avifauna in a lowland Atlantic forest in south-east Brazil. **Bird Conservation International**, v. 7, n. 2, p. 235-261, 1997.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

BENCKE, G.A.; MAURÍCIO, G. N.; DEVELEY, P. F.; GOERCK, J. M. **Áreas importantes para a conservação das aves no Brasil**: parte I – Estados do domínio da Mata Atlântica. 1 ed. São Paulo: SAVE Brasil, 2006. 494 p.

BIBBY, C. J.; BURGESS, N. D.; HILL, D. A.; MUSTOE, H. S. **Bird census techniques**. 2 ed. Londres: Academic Press, 2000. 299p.

BIRDLIFE INTERNATIONAL. **BirdLife's online World Bird Database:** the site for bird conservation. 2003. Disponível em: <http://www.birdlife.org>. Acesso em: 9 abr. 2007.

BUZZETTI, D. R. C. Distribuição altitudinal de aves em Angra dos Reis e Parati, sul do Estado do Rio de Janeiro. In: ALVES, M. A. S.; SILVA, J. M. C.; Van SLUYS, M.; BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D. (Orgs.) **A ornitologia no Brasil**: pesquisa atual e perspectivas. 1 ed. Rio de Janeiro: Eduerj, 2000. p. 131-148.

CAMARGO, H. F. A. Sobre uma pequena coleção de aves de Boracéia e do Varjão do Guaratuba (Estado de São Paulo). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 7, n. 11, p. 143-164, 1946.

CBRO – Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Lista das aves do Brasil**. 2009. Disponível em: <http://www.cbro.org.br>. Acesso em: 16 jan. 2010.

CRACRAFT, J. Historical biogeography and patterns of differentiation within the South America avifauna: areas of endemism. **Ornithological Monographs**, v. 36, p. 49-84, 1985.

CUSTÓDIO FILHO, A. Flora da Estação Biológica de Boracéia – listagem de espécies. **Revista do Instituto Florestal**, v. 1, n. 1, p. 161-199, 1989.

DEVELEY, P. F. As aves da Estação Ecológica Juréia-Itatins. In: MARQUES, O. A. V.; DULEBA, W. (Eds.). **Estação Ecológica Juréia-Itatins**. Ambiente físico, flora e fauna. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2004. p. 278-295.

GOERCK, J. Patterns of rarity in the birds of the Atlantic forest of Brazil. **Conservation Biology**, v. 11, n. 1, p. 112-118, 1997.

GOERCK, J. M. Distribution of birds along an elevational gradient in the Atlantic Forest of Brazil: implications for the conservation of endemic and endangered species. **Bird Conservation International**, v. 9, n. 3, p. 235-253, 1999.

HAFFER, J. Avian speciation in tropical South America. **Publication of Nutall Ornithological Club**, n. 14, 1974.

HAFFER, J. Avian zoogeography of the neotropical lowland. **Ornithological Monographs**, v. 36, p. 113-146, 1985.

IUCN – The World Conservation Union. **IUCN Red List of Threatened Species**. 2007. Disponível em: <http://www.redlist.org>. Acesso em: 5 out. 2009.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Lista nacional das espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção**. Brasília. 2003. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sbf/fauna/index.cfm>. Accesso em 21 jan. 2008.

MÜLLER, P. **The dispersal centres of terrestrial vertebrates in the neotropical realm**. 1 ed. The Hague: Junk, 1973. 244 p.

PARKER, T. A.; STOTZ, D. F.; FITZPATRICK, J. W. Ecological and distributional databases. In: STOTZ, D. F.; FITZPATRICK, J. W.; PARKER, T. A.; MOSKOVITS, D. K. (Eds.). **Neotropical birds**: ecology and conservation. 1 ed. Chicago: The University of Chicago Press, 1996. p. 118-436.

SCHUNCK, F. Inventário ornitológico por cota altitudinal do Núcleo Curucutu do Parque Estadual da Serra do Mar, SP. São Paulo: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2009. (Relatório Técnico).

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. 4 ed. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira, 1997. 912 p.

SILVA, J. M. C.; SOUZA, M. C.; CASTELLETI, C. H. M. Areas of endemism for passerine birds in the Atlantic forest, South America. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, n. 1, p. 85-92, 2004.

SILVEIRA, L. F.; BENEDICTO, G. A.; SCHUNCK, F.; SUGIEDA, A. M. Aves. In: BRESSAN, P. M.; KIERULFF, M. C.; SUGIEDA, A. M. (Orgs.). **Fauna ameaçada de extinção no Estado**

**de São Paulo**: Vertebrados. São Paulo: Fundação Parque Zoológico de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente, 2009.

SILVEIRA, L. F.; OLMOS, F. Quantas espécies de aves existem no Brasil? Conceitos de espécie, conservação e o que falta descobrir. **Revista Brasileira de Ornitologia**, n. 15, v. 2, p. 289-296, 2007.

SIMON, J. E.; PACHECO, J. F.; WHITNEY, B. M.; MATTOS, G. T.; GAGLIARDI, R. L. *Phacellodomus ferrugineigula* (Pelzeln, 1858) (Aves: Furnariidae) é uma espécie válida. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 16, n. 2, p. 107-124, 2008.

TRAVASSOS FILHO, L.; CAMARGO, H. F. A. A Estação Biológica de Boracéia. **Arquivos de Zoologia do Estado de São Paulo**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1958.

VIELLIARD, J. M.; SILVA, W. R. Avifauna. In: LEONEL, C. (Ed.). **Intervales**: fundação para a conservação e a produção florestal do Estado de São Paulo. São Paulo: A Fundação, 1994. p. 124-144.

WILLIS, E. O. Zoogeographical origins of eastern Brazilian birds. **Ornitologia Neotropical**, v. 3, n. 1, p. 1-15, 1992.

WILLIS, E. O.; ONIKI, Y. Levantamento preliminar de aves em treze áreas do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 41, n. 1, p. 121-135, 1981.

WILLIS, E. O; ONIKI, Y. **Aves do Estado de São Paulo**. 1 ed. Rio Claro: Ed. Divisa, 2003. 398 p.

APÊNDICES

Apêndice 1: Lista das espécies registradas na Estação Biológica de Boracéia entre 1942 e 2010. End: endêmica da Mata Atlântica. Registros: [A] Camargo (1946), [B] Willis e Oniki (1981), [C] J. Minns e R. Parrini, [D] J. Minns, [E] D. F. Stotz, [F] C. Gussoni e L. Carlos, [G] CEO, [H] Willis e Oniki (2003), [I] Departamento de Zoologia (USP), [J] Livro de registro da Estação, [K] Museus, [L] este capítulo. SP: espécies ameaçadas no Estado (SILVEIRA *et al*., no prelo), BR: espécies ameaçadas no Brasil (MMA, 2003), GL: espécies globalmente ameaçadas (IUCN, 2007); CR: criticamente ameaçada, EN: em perigo, VU: vulnerável. Evidências (Ev.): C: coleta, F: fotografia, G: gravação, A: registro auditivo, V: registro visual (apenas o primeiro registro documentado da espécie é descrito nessa coluna). ? indica um registro não confirmado.

| Família / Espécies | Nome em português | Registros | SP | BR | GL | Ev. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tinamidae (2)** | | | | | | |
| *Tinamus solitarius*[end] | macuco | A,D,E,G,I,L | VU | | | G |
| *Crypturellus obsoletus* | inhambuguaçu | A,B,C,D,E,G,I,K,L | | | | C |
| **Anatidae (1)** | | | | | | |
| *Nomonyx dominica* | marreca-de-bico-roxo | L | | | | A |
| **Cracidae (2)** | | | | | | |
| *Penelope obscura* | jacuaçu | D,E,I,L | | | | G |
| *Aburria jacutinga*[end] | jacutinga | E,L | CR | EN | EN | V |
| **Odontophoridae (1)** | | | | | | |
| *Odontophorus capueira*[end] | uru | A,B,C,D,E,G,I,K,L | | | | C |
| **Podicipedidae (1)** | | | | | | |
| *Podilymbus podiceps* | mergulhão-caçador | E,I,L | | | | F |
| **Phalacrocoracidae (1)** | | | | | | |
| *Phalacrocorax brasilianus* | biguá | L | | | | V |
| **Anhingidae (1)** | | | | | | |
| *Anhinga anhinga* | biguatinga | J | | | | V |
| **Fregaridae (1)** | | | | | | |
| *Fregata magnificens* | tesourão | E,L | | | | V |
| **Ardeidae (5)** | | | | | | |
| *Ixobrychus exilis* | socoí-vermelho | J | | | | V |
| *Butorides striata* | socozinho | E,L | | | | V |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Bubulcus ibis* | garça-vaqueira | E | | | | V |
| *Ardea cocoi* | garça-moura | L | | | | V |
| *Ardea alba* | garça-branca-grande | F,L | | | | V |
| **Threskiornithidae (1)** | | | | | | |
| *Theristicus caudatus* | curicaca | L | | | | V |
| **Cathartidae (2)** | | | | | | |
| *Cathartes aura* | urubu-de-cabeça-vermelha | E,L | | | | V |
| *Coragyps atratus* | urubu-de-cabeça-preta | B,C,D,E,F,G,I,L | | | | F |
| **Accipitridae (12)** | | | | | | |
| *Leptodon cayanensis* | gavião-de-cabeça-cinza | A,E,K,L | | | | C |
| *Harpagus diodon* | gavião-bombachinha | D,E,K,L | | | | C |
| *Accipiter striatus* | gavião-miúdo | D,E,L | | | | F |
| *Accipiter bicolor* | gavião-bombachinha-grande | E,I | | | | V |
| *Leucopternis lacernulatus*[end] | gavião-pombo-pequeno | E | VU | EN | VU | V |
| *Leucopternis polionotus*[end] | gavião-pombo-grande | B,C,D,E,J,L | VU | | | V |
| *Percnohierax leucorrhous* | gavião-de-sobre-branco | E,K,L | | | | C |
| *Rupornis magnirostris* | gavião-carijó | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Buteo albicaudatus* | gavião-de-rabo-branco | D | | | | V |
| *Buteo brachyurus* | gavião-de-cauda-curta | D,E,I,L | | | | F |
| *Spizaetus tyrannus* | gavião-pega-macaco | B,C,D,E,L | VU | | | F |
| *Spizaetus melanoleucus* | gavião-pato | H | CR | | | V |
| **Falconidae (5)** | | | | | | |
| *Caracara plancus* | caracará | F,I,L | | | | F |
| *Milvago chimachima* | carrapateiro | A,B,C,D,E,F,G,I,L | | | | F |
| *Herpetotheres cachinnans* | acauã | E,I,L | | | | A |
| *Micrastur ruficollis* | falcão-caburé | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Micrastur semitorquatus* | falcão-relógio | D,J,L | | | | G |
| **Rallidae (4)** | | | | | | |
| *Aramides cajanea* | saracura-três-potes | I | | | | A |
| *Aramides saracura*[end] | saracura-do-mato | D,E,G,L | | | | G |
| *Porzana albicollis* | sanã-carijó | E,J | | | | A |
| *Pardirallus nigricans* | saracura-sanã | L | | | | A |
| **Charadriidae (1)** | | | | | | |
| *Vanellus chilensis* | quero-quero | D,F,I,L | | | | V |
| **Scolopacidae (1)** | | | | | | |
| *Actitis macularius* | maçarico-pintado | I,L | | | | F |
| **Jacanidae (1)** | | | | | | |
| *Jacana jacana* | jaçanã | F,L | | | | V |
| **Columbidae (7)** | | | | | | |
| *Columbina talpacoti* | rolinha-roxa | D,J,L | | | | V |
| *Claravis godefrida*[end] | pararu-espelho | E | CR | EN | CR | V |
| *Patagioenas picazuro* | pombão | I,L | | | | V |
| *Patagioenas cayennensis* | pomba-galega | A,F | | | | A |
| *Patagioenas plumbea* | pomba-amargosa | B,C,D,E,I,L | | | | V |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Leptotila rufaxilla* | juriti-gemedeira | A,B,C,D,E,K,L | | | C |
| *Geotrygon montana* | pariri | A,E,I,K,L | | | C |
| **Psittacidae (7)** | | | | | |
| *Pyrrhura frontalis*[end] | tiriba-de-testa-vermelha | B,C,D,E,F,I,K,L | | | C |
| *Forpus xanthopterygius* | tuim | B,C,E,F,L | | | V |
| *Brotogeris tirica*[end] | periquito-rico | B,C,D,E,F,G,I,L | | | G |
| *Touit surdus*[end] | apuim-de-cauda-amarela | E | | VU | A |
| *Pionopsitta pileata*[end] | cuiú-cuiú | B,C,D,E,G,I,L | | | G |
| *Pionus maximiliani* | maitaca-verde | B,C,D,E,F,G,I,L | | | G |
| *Triclaria malachitacea*[end] | sabiá-cica | A,D,E,F,G,I,J,K,L | VU | | C |
| **Cuculidae (5)** | | | | | |
| *Piaya cayana* | alma-de-gato | B,C,D,E,F,I,L | | | V |
| *Coccyzus americanus* | papa-lagarta-de-asa-vermelha | I,J | | | V |
| *Crotophaga ani* | anu-preto | E,L | | | F |
| *Guira guira* | anu-branco | L | | | F |
| *Tapera naevia* | saci | L | | | A |
| **Tytonidae (1)** | | | | | |
| *Tyto alba* | coruja-da-igreja | E | | | V |
| **Strigidae (7)** | | | | | |
| *Megascops choliba* | corujinha-do-mato | F | | | A |
| *Megascops atricapilla* | corujinha-sapo | E,K,L | | | C |
| *Pulsatrix koeniswaldiana*[end] | murucututu-de-barriga-amarela | E,K,L | | | C |
| *Strix hylophila*[end] | coruja-listrada | E,K | | | C |
| *Strix virgata* | coruja-do-mato | D,L | | | A |
| *Glaucidium minutissimum*[end] | caburé-miudinho | D,E,G,J,L | | | A |
| *Glaucidium brasilianum* | caburé | E,L | | | G |
| **Nyctibiidae (2)** | | | | | |
| *Nyctibius aethereus* | mãe-da-lua-parda | G | CR | | G |
| *Nyctibius griseus* | mãe-da-lua | E,F,I,L | | | A |
| **Caprimulgidae (5)** | | | | | |
| *Lurocalis semitorquatus* | tuju | D,E,I,K,L | | | C |
| *Chordeiles minor* | bacurau-norte-americano | J | | | A |
| *Nyctidromus albicollis* | bacurau | F,L | | | V |
| *Hydropsalis torquata* | bacurau-tesoura | G | | | V |
| *Macropsalis forcipata*[end] | bacurau-tesoura-gigante | K,L | | | C |
| **Apodidae (4)** | | | | | |
| *Cypseloides fumigatus* | taperuçu-preto | B,C,E,L | | | F |
| *Streptoprocne zonaris* | taperuçu-de-coleira-branca | B,C,D,E,I,K,L | | | C |
| *Chaetura cinereiventris* | andorinhão-de-sobre-cinzento | D,E,K,L | | | C |
| *Chaetura meridionalis* | andorinhão-do-temporal | B,C,E,F,I,K,L | | | C |
| **Trochilidae (18)** | | | | | |
| *Ramphodon naevius*[end] | beija-flor-rajado | E,K,L | | | V |
| *Phaethornis eurynome*[end] | rabo-branco-de-garganta-rajada | A,B,C,D,E,F,G,K,L | | | C |
| *Eupetomena macroura* | beija-flor-tesoura | E,L | | | V |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Florisuga fusca*[end] | beija-flor-preto | A,D,E,K,L | | | G |
| *Colibri serrirostris* | beija-flor-de-orelha-violeta | E,L | | | F |
| *Stephanoxis lalandi*[end] | beija-flor-de-topete | A | | | V |
| *Lophornis magnificus* | topetinho-vermelho | A,B,C,J | VU | | V |
| *Lophornis chalybeus* | topetinho-verde | J | | | V |
| *Discosura langsdorffi* | rabo-de-espinho | H | | EN | V |
| *Chlorostilbon lucidus* | besourinho-de-bico-vermelho | A,D,E,K,L | | | C |
| *Thalurania glaucopis*[end] | beija-flor-de-fronte-violeta | A,B,C,D,E,F,I,K,L | | | C |
| *Hylocharis cyanus* | beija-flor-roxo | J,K,L | | | C |
| *Leucochloris albicollis*[end] | beija-flor-de-papo-branco | A,E,I,K,L | | | C |
| *Amazilia versicolor* | beija-flor-de-banda-branca | D,E,F,I,K,L | | | C |
| *Amazilia fimbriata* | beija-flor-de-garganta-verde | J | | | C |
| *Amazilia lactea* | beija-flor-de-peito-azul | J,L | | | F |
| *Clytolaema rubricauda*[end] | beija-flor-rubi | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | C |
| *Calliphlox amethystina* | estrelinha-ametista | L | | | F |
| **Trogonidae (3)** | | | | | |
| *Trogon viridis* | surucuá-grande-de-barriga-amarela | E,L | | | F |
| *Trogon surrucura*[end] | surucuá-variado | A,B,C,D,E,G,I,L | | | G |
| *Trogon rufus* | surucuá-de-barriga-amarela | A,B,C,D,E,I,K,L | | | C |
| **Alcedinidae (3)** | | | | | |
| *Megaceryle torquata* | martim-pescador-grande | D,E,F,L | | | V |
| *Chloroceryle amazona* | martim-pescador-verde | E,I,L | | | V |
| *Chloroceryle americana* | martim-pescador-pequeno | E,I,L | | | V |
| **Momotidae (1)** | | | | | |
| *Baryphthengus ruficapillus*[end] | juruva-verde | I,L | | | G |
| **Bucconidae (1)** | | | | | |
| *Nystalus chacuru* | joão-bobo | L | | | F |
| **Ramphastidae (3)** | | | | | |
| *Ramphastos dicolorus*[end] | tucano-de-bico-verde | B,C,D,E,F,G,I,L | | | G |
| *Selenidera maculirostris*[end] | araçari-poca | D,E,L | | | A |
| *Pteroglossus bailloni*[end] | araçari-banana | E,L | VU | | G |
| **Picidae (8)** | | | | | |
| *Picumnus cirratus* | pica-pau-anão-barrado | D,E,I,K,L | | | C |
| *Melanerpes flavifrons*[end] | benedito-de-testa-amarela | G | | | V |
| *Veniliornis spilogaster*[end] | picapauzinho-verde-carijó | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | C |
| *Piculus aurulentus*[end] | pica-pau-dourado | A,B,C,D,E,I,K,L | | | C |
| *Colaptes melanochloros* | pica-pau-verde-barrado | B,C,D,E | | | V |
| *Colaptes campestris* | pica-pau-do-campo | J,L | | | V |
| *Celeus flavescens* | pica-pau-de-cabeça-amarela | F,I,L | | | A |
| *Dryocopus lineatus* | pica-pau-de-banda-branca | E,L | | | V |
| **Thamnophilidae (18)** | | | | | |
| *Hypoedaleus guttatus*[end] | chocão-carijó | B,C,D,E,I,K,L | | | C |
| *Batara cinerea* | matracão | B,C,D,E,G,I,K,L | | | C |
| *Mackenziaena severa*[end] | borralhara | D,E | | | A |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Thamnophilus ruficapillus* | choca-de-chapéu-vermelho | A,E,K | | | | C |
| *Thamnophilus caerulescens*[end] | choca-da-mata | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Dysithamnus mentalis* | choquinha-lisa | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Dysithamnus xanthopterus*[end] | choquinha-de-asa-ferrugem | B,C,D,E,K,L | | | | C |
| *Myrmotherula gularis*[end] | choquinha-de-garganta-pintada | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Myrmotherula minor*[end] | choquinha-pequena | G?,J,K | VU | EN | VU | C |
| *Myrmotherula unicolor*[end] | choquinha-cinzenta | E,L | VU | | | A |
| *Formicivora* aff. *acutirostris*[end] | bicudinho-do-brejo-paulista | A | CR | | | |
| *Drymophila ferruginea*[end] | trovoada | B,C,D,E,I,L | | | | G |
| *Drymophila ochropyga*[end] | choquinha-de-dorso-vermelho | B,C,E,K,L | | | | C |
| *Drymophila malura*[end] | choquinha-carijó | B,C,D,E,F,L | | | | G |
| *Terenura maculata*[end] | zidedê | B,C,D,E,I,L | | | | G |
| *Pyriglena leucoptera*[end] | papa-taoca-do-sul | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Myrmeciza squamosa*[end] | papa-formiga-de-grota | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| **Conopophagidae (2)** | | | | | | |
| *Conopophaga lineata*[end] | chupa-dente | A,D,F,G,K,L | | | | C |
| *Conopophaga melanops*[end] | cuspidor-de-máscara-preta | J,K,L | | | | C |
| **Grallariidae (2)** | | | | | | |
| *Grallaria varia* | tovacuçu | B,C,D,E,G,I,K,L | | | | C |
| *Hylopezus nattereri*[end] | pinto-do-mato | A,K,L | | | | C |
| **Rhinocryptidae (3)** | | | | | | |
| *Merulaxis ater*[end] | entufado | A,D,E,F,G,K,L | | | | C |
| *Eleocytalopus indigoticus*[end] | macuquinho | B,C,D,E,L | | | | A |
| *Scytalopus notorius*[end] | tapaculo-preto | E | | | | A |
| **Formicariidae (4)** | | | | | | |
| *Formicarius colma* | galinha-do-mato | E | | | | A |
| *Chamaeza campanisona*[end] | tovaca-campainha | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Chamaeza meruloides*[end] | tovaca-cantadora | D,I,K,L | | | | C |
| **Scleruridae (1)** | | | | | | |
| *Sclerurus scansor*[end] | vira-folha | A,B,C,D,E,F,G,K,L | | | | C |
| **Dendrocolaptidae (7)** | | | | | | |
| *Dendrocincla turdina*[end] | arapaçu-liso | B,C,D,E,K,L | | | | C |
| *Sittasomus griseicapillus* | arapaçu-verde | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Xiphocolaptes albicollis* | arapaçu-de-garganta-branca | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | G |
| *Dendrocolaptes platyrostris* | arapaçu-grande | A,B,C,D,E,I,K,L | | | | C |
| *Xiphorhynchus fuscus*[end] | arapaçu-rajado | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Lepidocolaptes falcinellus*[end] | arapaçu-escamado-do-sul | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Campylorhamphus falcularius*[end] | arapaçu-de-bico-torto | B,C,I | | | | A |
| **Furnariidae (21)** | | | | | | |
| *Furnarius rufus* | joão-de-barro | B,C,E,F,G,I,L | | | | V |
| *Synallaxis ruficapilla*[end] | pichororé | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Synallaxis cinerascens*[end] | pi-puí | E,K | | | | C |
| *Synallaxis spixi* | joão-teneném | A,B,C,D,E,I,K,L | | | | C |
| *Cranioleuca pallida*[end] | arredio-pálido | A,B,C,D,E,I,K,L | | | | C |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Certhiaxis cinnamomeus* | curutié | B,C,E,F,G | | A |
| *Phacellodomus ferrugineigula*[end] | joão-botina-do-brejo | D,J,L | | A |
| *Clibanornis dendrocolaptoides*[end] | cisqueiro | E | | A |
| *Anabacerthia amaurotis*[end] | limpa-folha-miúdo | A,B,C,D,E,F,K,L | | C |
| *Syndactyla rufosuperciliata* | trepador-quiete | A,B,D,E,G,I,K,L | | C |
| *Philydor lichtensteini*[end] | limpa-folha-ocráceo | D,J | | V |
| *Philydor atricapillus*[end] | limpa-folha-coroado | A,B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Philydor rufum* | limpa-folha-de-testa-baia | D,E,I,K,L | | G |
| *Anabazenops fuscus*[end] | trepador-coleira | B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Cichlocolaptes leucophrus*[end] | trepador-sobrancelha | A,B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Automolus leucophthalmus*[end] | barranqueiro-de-olho-branco | D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Lochmias nematura* | joão-porca | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Heliobletus contaminatus*[end] | trepadorzinho | A,B,C,D,E,K,L | | C |
| *Xenops minutus* | bico-virado-miúdo | B,C,D,E,K,L | | C |
| *Xenops rutilans* | bico-virado-carijó | B,C,D,E,K,L | | C |
| **Tyrannidae (58)** | | | | |
| *Mionectes rufiventris*[end] | abre-asa-de-cabeça-cinza | B,C,D,E,K,L | | C |
| *Leptopogon amaurocephalus* | cabeçudo | B,C,D,E,G,I,K,L | | C |
| *Hemitriccus diops*[end] | olho-falso | A,B,C,D,E,K,L | | C |
| *Hemitriccus orbitatus*[end] | tiririzinho-do-mato | E | | A |
| *Hemitriccus nidipendulus*[end] | tachuri-campainha | B,C,E,I,K,L | | C |
| *Myiornis auricularis*[end] | miudinho | A,B,C,D,E,I,L | | G |
| *Poecilotriccus plumbeiceps* | tororó | B,C,D,E,G,I,L | | G |
| *Todirostrum poliocephalum*[end] | teque-teque | B,C,D,E,L | | G |
| *Phyllomyias burmeisteri* | piolhinho-chiador | D,I,K,L | | C |
| *Phyllomyias virescens* | piolhinho-verdoso | D,E | | V |
| *Phyllomyias fasciatus* | piolhinho | B,C,E,F,I,L | | G |
| *Phyllomyias griseocapilla*[end] | piolhinho-serrano | B,C,D,E,L | | G |
| *Myiopagis caniceps* | guaracava-cinzenta | E | | V |
| *Elaenia flavogaster* | guaracava-de-barriga-amarela | E,L | | A |
| *Elaenia chilensis* | guaracava-de-crista-branca | E | | A |
| *Elaenia parvirostris* | guaracava-de-bico-curto | E | | A |
| *Elaenia mesoleuca* | tuque | E,K,L | | C |
| *Elaenia obscura* | tucão | E,L | | G |
| *Camptostoma obsoletum* | risadinha | B,C,D,E,I,L | | G |
| *Serpophaga nigricans* | joão-pobre | D,E,I,L | | F |
| *Serpophaga subcristata* | alegrinho | A,B,C,E,I,K,L | | C |
| *Phylloscartes eximius*[end] | barbudinho | E | VU | V |
| *Phylloscartes ventralis* | borboletinha-do-mato | A,B,C,D,E,K,L | | C |
| *Phylloscartes paulista*[end] | não-pode-parar | E | VU | V |
| *Phylloscartes oustaleti*[end] | papa-moscas-de-olheiras | A,B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Phylloscartes sylviolus*[end] | maria-pequena | G? | | G |
| *Tolmomyias sulphurescens* | bico-chato-de-orelha-preta | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | G |
| *Platyrinchus mystaceus* | patinho | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *Platyrinchus leucoryphus*[end] | patinho-gigante | A,D,J,K | VU | VU | C |
| *Onychorhynchus swainsoni*[end] | maria-leque-do-sudeste | B,C,J,K | VU | VU | C |
| *Myiophobus fasciatus* | filipe | D,E,F,I,K,L | | | C |
| *Myiobius atricaudus* | assanhadinho-de-cauda-preta | E,K | | | C |
| *Hirundinea ferruginea* | gibão-de-couro | E,F,I,L | | | F |
| *Lathrotriccus euleri* | enferrujado | A,D,E,F,G,I,K,L | | | C |
| *Cnemotriccus fuscatus* | guaracavuçu | J,K | | | C |
| *Contopus cooperi* | piui-boreal | E,H | | | V |
| *Contopus cinereus* | papa-moscas-cinzento | B,C,E | | | V |
| *Knipolegus cyanirostris* | maria-preta-de-bico-azulado | A,E,K,L | | | C |
| *Knipolegus nigerrimus*[end] | maria-preta-de-garganta-vermelha | L | | | F |
| *Satrapa icterophrys* | suiriri-pequeno | L | | | V |
| *Xolmis velatus* | noivinha-branca | L | | | F |
| *Muscipipra vetula*[end] | tesoura-cinzenta | B,C,E | | | V |
| *Colonia colonus* | viuvinha | L | | | F |
| *Machetornis rixosa* | suiriri-cavaleiro | A,E,I,K,L | | | C |
| *Legatus leucophaius* | bem-te-vi-pirata | D,E,I,K,L | | | C |
| *Myiozetetes similis* | bentevizinho-de-penacho-vermelho | B,C,D,E,I,L | | | V |
| *Pitangus sulphuratus* | bem-te-vi | B,C,D,E,F,G,I,L | | | V |
| *Myiodynastes maculatus* | bem-te-vi-rajado | A,D,E,I,K,L | | | C |
| *Megarynchus pitangua* | neinei | D,E,F,G,L | | | A |
| *Empidonomus varius* | peitica | E,L | | | F |
| *Tyrannus melancholicus* | suiriri | A,D,E,F,I,K,L | | | C |
| *Tyrannus savana* | tesourinha | E,H,I,L | | | C |
| *Sirystes sibilator* | gritador | B,C | | | A |
| *Myiarchus swainsoni* | irré | E,I,K,L | | | C |
| *Myiarchus ferox* | maria-cavaleira | A,D,E,K | | | C |
| *Ramphotrigon megacephalum* | maria-cabeçuda | B,C,E | | | A |
| *Attila phoenicurus* | capitão-castanho | A,D,E,G,I,K,L | | | C |
| *Attila rufus*[end] | capitão-de-saíra | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | C |
| **Cotingidae (5)** | | | | | |
| *Phibalura flavirostris* | tesourinha-da-mata | E,J | | | V |
| *Carpornis cucullata*[end] | corocochó | A,B,C,D,E,F,G,I,J,K,L | | | C |
| *Procnias nudicollis*[end] | araponga | A,B,C,D,E,I,J,K,L | VU | | C |
| *Tijuca atra*[end] | saudade | A | | | A |
| *Pyroderus scutatus* | pavó | D,E,G,I,L | VU | | V |
| **Pipridae (5)** | | | | | |
| *Neopelma chrysolophum*[end] | fruxu | B,I,K,L | | | C |
| *Piprites chloris* | papinho-amarelo | B,C,D,E,K,L | | | C |
| *Ilicura militaris*[end] | tangarazinho | B,C,D,E,I,J,K,L | | | C |
| *Manacus manacus* | rendeira | H,K | | | C |
| *Chiroxiphia caudata*[end] | tangará | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | C |
| **Tityridae (8)** | | | | | |
| *Oxyruncus cristatus* | araponga-do-horto | A,B,C,D,E,K,L | | | C |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Schiffornis virescens*[end] | flautim | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Laniisoma elegans* | chibante | A,I,K,L | VU | C |
| *Tityra cayana* | anambé-branco-de-rabo-preto | D,E,I,K,L | | C |
| *Pachyramphus viridis* | caneleiro-verde | B,C,D,E,K,L | | C |
| *Pachyramphus castaneus* | caneleiro | B,C,D,E,G,I,K,L | | C |
| *Pachyramphus polychopterus* | caneleiro-preto | A,D,E,I,K,L | | C |
| *Pachyramphus validus* | caneleiro-de-chapéu-preto | A,E,I,K,L | | C |
| **Vireonidae (3)** | | | | |
| *Cyclarhis gujanensis* | pitiguari | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Vireo olivaceus* | juruviara | A,D,E,F,I,K,L | | C |
| *Hylophilus poicilotis*[end] | verdinho-coroado | B,C,D,E,I,K,L | | C |
| **Hirundinidae (7)** | | | | |
| *Pygochelidon cyanoleuca* | andorinha-pequena-de-casa | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Stelgidopteryx ruficollis* | andorinha-serradora | A,B,C,D,E,F,I,K,L | | C |
| *Progne tapera* | andorinha-do-campo | D,E,I | | V |
| *Progne chalybea* | andorinha-doméstica-grande | A,B,C,D,E,G,I,K,L | | C |
| *Tachycineta leucorrhoa* | andorinha-de-sobre-branco | E | | V |
| *Riparia riparia* | andorinha-do-barranco | L | | F |
| *Petrochelidon pyrrhonota* | andorinha-de-dorso-acanelado | K | | C |
| **Troglodytidae (1)** | | | | |
| *Troglodytes musculus* | corruíra | A,B,C,D,E,F,I,K,L | | C |
| **Polioptilidae (1)** | | | | |
| *Ramphocaenus melanurus* | bico-assovelado | F | | A |
| **Turdidae (6)** | | | | |
| *Catharus ustulatus* | sabiá-de-óculos | K | | C |
| *Turdus flavipes*[end] | sabiá-una | A,B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Turdus rufiventris* | sabiá-laranjeira | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Turdus leucomelas* | sabiá-barranco | L | | V |
| *Turdus amaurochalinus* | sabiá-poca | A,B,C,E,G,I,K,L | | C |
| *Turdus albicollis* | sabiá-coleira | B,C,D,E,G,I,K,L | | C |
| **Mimidae (2)** | | | | |
| *Mimus saturninus* | sabiá-do-campo | E,L | | V |
| *Mimus triurus* | calhandra-de-três-rabos | D,J | | V |
| **Coerebidae (1)** | | | | |
| *Coereba flaveola* | cambacica | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| **Thraupidae (23)** | | | | |
| *Saltator fuliginosus*[end] | pimentão | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | G |
| *Saltator similis* | trinca-ferro-verdadeiro | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Saltator maxillosus*[end] | bico-grosso | E | | V |
| *Orchesticus abeillei*[end] | sanhaçu-pardo | A,D,E,I,K | | C |
| *Schistochlamys ruficapillus* | bico-de-veludo | E | | V |
| *Cissopis leverianus* | tietinga | I | | V |
| *Orthogonys chloricterus*[end] | catirumbava | A,B,C,D,E,I,K,L | | C |
| *Pyrrhocoma ruficeps*[end] | cabecinha-castanha | H,K | | C |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Trichothraupis melanops*[end] | tiê-de-topete | B,C,D,E,G,I,K,L | | | | C |
| *Tachyphonus cristatus* | tiê-galo | J | | | | V |
| *Tachyphonus coronatus*[end] | tiê-preto | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Thraupis sayaca* | sanhaçu-cinzento | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Thraupis cyanoptera*[end] | sanhaçu-de-encontro-azul | A,B,C,D,E,G,I,K,L | | | | C |
| *Thraupis ornata*[end] | sanhaçu-de-encontro-amarelo | B,C,D,E,I,K,L | | | | C |
| *Thraupis palmarum* | sanhaçu-do-coqueiro | D,E,L | | | | V |
| *Pipraeidea melanonota* | saíra-viúva | B,C,D,E,I,K,L | | | | C |
| *Tangara seledon*[end] | saíra-sete-cores | A,B,C,D,E,F,I,K,L | | | | C |
| *Tangara cyanocephala*[end] | saíra-militar | A,B,C,D,E,I,K,L | | | | C |
| *Tangara desmaresti*[end] | saíra-lagarta | A,B,C,D,E,K,L | | | | C |
| *Tangara cayana* | saíra-amarela | I,J,L | | | | A |
| *Tersina viridis* | saí-andorinha | L | | | | F |
| *Dacnis nigripes*[end] | saí-de-pernas-pretas | J,K | VU | | | C |
| *Dacnis cayana* | saí-azul | B,C,D,E,G,I,L | | | | V |
| *Hemithraupis ruficapilla*[end] | saíra-ferrugem | E,K,L | | | | C |
| *Conirostrum speciosum* | figuinha-de-rabo-castanho | G | | | | V |
| **Emberizidae (12)** | | | | | | |
| *Zonotrichia capensis* | tico-tico | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | V |
| *Haplospiza unicolor*[end] | cigarra-bambu | A,E,F,G,J,K,L | | | | C |
| *Donacospiza albifrons* | tico-tico-do-banhado | E | VU | | | V |
| *Sicalis flaveola* | canário-da-terra-verdadeiro | A,K,L | | | | C |
| *Volatinia jacarina* | tiziu | E,L | | | | V |
| *Sporophila frontalis*[end] | pixoxó | L | CR | EN | VU | A |
| *Sporophila falcirostris*[end] | cigarra-verdadeira | L | CR | VU | VU | G |
| *Sporophila lineola* | bigodinho | L | | | | F |
| *Sporophila caerulescens* | coleirinho | B,C,E,F,K,L | | | | C |
| *Sporophila angolensis* | curió | K | VU | | | C |
| *Tiaris fuliginosus* | cigarra-do-coqueiro | K | | | | C |
| *Arremon semitorquatus*[end] | tico-tico-do-mato | K | | | | C |
| **Cardinalidae (4)** | | | | | | |
| *Habia rubica* | tiê-do-mato-grosso | A,B,C,D,E,G,K,L | | | | C |
| *Cyanoloxia brissonii* | azulão | E | VU | | | V |
| **Parulidae (6)** | | | | | | |
| *Parula pitiayumi* | mariquita | D,E,K,L | | | | C |
| *Dendroica cerulea* | - | J | | | | V |
| *Geothlypis aequinoctialis* | pia-cobra | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Basileuterus culicivorus* | pula-pula | A,B,C,D,E,F,I,K,L | | | | C |
| *Basileuterus leucoblepharus*[end] | pula-pula-assobiador | B,C,D,E,K,L | | | | C |
| *Phaeothlypis rivularis* | pula-pula-ribeirinho | D,E,K,L | | | | C |
| **Icteridae (2)** | | | | | | |
| *Cacicus chrysopterus* | tecelão | A,B,C,D,E,F,G,I,K,L | | | | C |
| *Molothrus bonariensis* | vira-bosta | E,L | | | | V |
| **Fringillidae (5)** | | | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Sporagra magellanica* | pintassilgo | K,L | | F |
| *Euphonia chalybea*[end] | cais-cais | E,H,L | VU | F |
| *Euphonia cyanocephala* | gaturamo-rei | E | | V |
| *Euphonia pectoralis*[end] | ferro-velho | B,C,D,E,F,G,I,K,L | | C |
| *Chlorophonia cyanea* | bandeirinha | J | | V |
| **Passeridae (1)** | | | | |
| *Passer domesticus* | pardal | B,C,I,L | | V |

Apêndice 2: Fêmeas do papa-formiga-vermelho *Formicivora rufa* e do recém descoberto bicudinho-do-brejo-paulista *Formicivora* aff. *acutirostris*, cujas plumagens são muito semelhantes e que causaram a identificação errada por parte de H. F. A. Camargo em 1945.

***Formicivora rufa***

***Formicivora* aff. *acutirostris***

# Capítulo 2.

Análise dos padrões altitudinais das aves de Mata Atlântica: a influência do *mid-domain effect*

Resumo

Embora a Mata Atlântica propicie condições ideais para o estudo da distribuição altitudinal das aves, poucos inventários ao longo de gradientes altitudinais foram conduzidos no Brasil. A informação gerada a partir desses levantamentos faunísticos é de extrema importância para o entendimento da distribuição espacial de muitas espécies, mas nenhum dos estudos já realizados tentou determinar ou explicar o padrão de distribuição altitudinal por eles encontrado. Assim, neste capítulo foi feita uma revisão da literatura sobre a distribuição altitudinal de aves na Mata Atlântica brasileira. Para cada estudo localizado foi determinado o padrão de distribuição altitudinal encontrado; também foi analisado um modelo nulo recentemente criado para explicar tal distribuição, o *mid-domain effect* (MDE). Os quatro padrões esperados pelo MDE foram testados para averiguar a robustez desse modelo nulo quando aplicado aos estudos localizados. Foram encontrados oito estudos sobre distribuição altitudinal de aves na Mata Atlântica em cinco Estados brasileiros e, das quatro previsões do MDE, nenhuma delas foi consistentemente robusta para todos os estudos. Embora o MDE tenha resultados bastante compatíveis com as suas previsões em outras regiões do mundo, o modelo não parece ser aplicável em algumas áreas da Mata Atlântica brasileira. Outros fatores devem estar envolvidos na distribuição altitudinal das aves nessas localidades, e apesar de várias décadas de pesquisas ecológicas, gradientes altitudinais ainda não são muito conhecidos.

**Palavras-chave**: Aves, Brasil, distribuição altitudinal, Mata Atlântica, *mid-domain effect*.

*Abstract*

Although the Atlantic Forest is an ideal case study for the elevational diversity of birds, a few inventories along elevational gradients have been carried out in Brazil. The information from these faunistic lists is extremely important for the understanding of many species' ranges but none of the investigators tried to determine or explain the altitudinal pattern that they found. Thus in this chapter I reviewed all studies on elevational diversity of birds from the Brazilian Atlantic forest. For each study I determined the altitudinal distribution pattern based on the data set provided by them as well as analyzed a recently proposed geometric constrain null model that predicts a unimodal species-altitude curve, the mid-domain effect (MDE). I also tested MDE predictions to assess how robust this null model is when applied to the papers found. I found eight investigations on elevational diversity of Atlantic forest birds conducted in five Brazilian states and, of the four MDE predictions, none was consistently robust across all studies. Although it has been reported that the MDE may be positively associated with the elevational diversity of birds around the globe, it does not seem to fit some Brazilian Atlantic forest sites. Probably other factors may also influence the elevational diversity of birds from these localities, and despite several decades of ecological research, elevational patterns are still not well understood.

**Key words**: Atlantic forest, birds, Brazil, elevational diversity, *mid-domain effect*.

## 1.1. INTRODUÇÃO

A complexa distribuição altitudinal das aves tem sido estudada em todos os continentes do mundo (GRINNELL & STORER, 1924; ORIANS, 1969; KIKKAWA & WILLIAMS, 1971; TERBORGH, 1971; LACK, 1976; WARTMANN & FURRER, 1977; PRIGOGINE, 1980; THIOLLAY, 1980; EGUCHI *et al*., 1989; GOODMAN & GONZALES, 1990; THORSTROM& WATSON, 1997; NATHAN & WERNER, 1999). Na região neotropical esses estudos concentraram-se nas florestas dos países andinos, cuja vegetação ombrófila pode chegar aos 4.200 m (TERBORGH, 1971, 1977, 1985; TERBORGH & WESKE, 1975; PEARSON & RALPH, 1978; RAHBEK, 1997; PATTERSON *et al*., 1998; HENNESSEY *et al*., 2003; KATTAN & FRANCO, 2004; HERZOG *et al*., 2005; PAULSCH & MÜLLER-HOHENSTEIN, 2008).

No Brasil, a Mata Atlântica é propícia para o estudo da distribuição altitudinal dos organismos, atingindo o auge de seu gradiente altitudinal nas cadeias montanhosas da Serra do Mar e da Mantiqueira. Enquanto a segunda apresenta um gradiente altitudinal truncado, ou seja, suas menores altitudes são superiores a 500 m, a primeira apresenta florestas ombrófilas contínuas desde o nível do mar e culmina nos picos que podem atingir 2.300 m, na serra dos Órgãos, RJ (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998).

No início do século XX, E. G. Holt liderou uma campanha de coleta científica no maciço do Itatiaia, RJ, com o intuito de iniciar o inventário da avifauna local (HOLT, 1928). Uma de suas principais preocupações foi a correta anotação da altitude na qual cada ave era coletada, o que findou como o primeiro estudo sobre a distribuição altitudinal de aves já realizado na Mata Atlântica e no Brasil. Somente após quase 70

anos STOTZ *et al*. (1996) publicaram uma excelente compilação de dados sobre a distribuição altitudinal de todas as aves da Mata Atlântica, sendo esta a segunda publicação aprofundada sobre o tema.

Desde então, poucos estudos relacionados à distribuição altitudinal de aves foram conduzidos em ambas as serras do bioma (GOERCK, 1999; BUZZETTI, 2000; DEVELEY, 2004; RAJÃO & CERQUEIRA, 2006) ou mesmo em outras regiões do país (BENCKE & KINDEL, 1999; MELO-JÚNIOR *et al*., 2001). Todos apresentam dados sobre a distribuição altitudinal das aves registradas em montanhas, porém nenhum deles objetivou determinar fatores responsáveis por essa distribuição.

Um dos padrões mais conhecidos da relação espécies-altitude é unimodal, com um pico de espécies na região intermediária do gradiente altitudinal. Esse fenômeno, proposto pela primeira vez por COLWELL e HURTT (1994), sendo o termo *mid-domain effect* (MDE) cunhado anos mais tarde por COLWELL e LEES (2000), constitui um modelo nulo simplista, assumindo que restrições espaciais (base e topo de uma montanha, por exemplo) causam mais sobreposições das amplitudes altitudinais das espécies em direção ao centro do gradiente, no qual a maioria das espécies com grandes e médias amplitudes de distribuição devem se sobrepor ao mesmo tempo que tendem a evitar proximidade com os extremos do gradiente (COLWELL *et al*., 2004; Figura 1a).

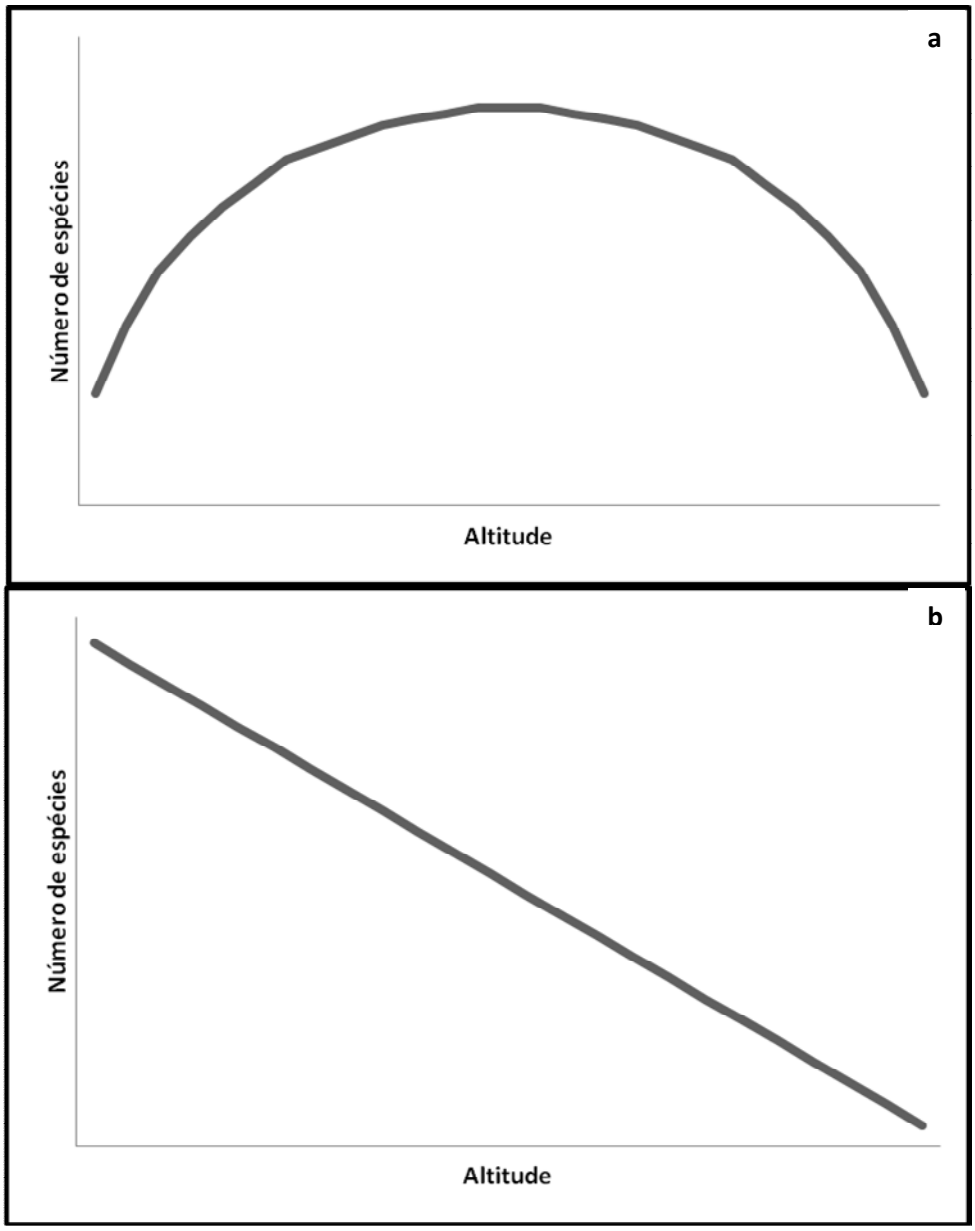



Figura 1: Curvas espécies-altitude esperadas (a) pelo *mid-domain effect*, no qual o modelo prevê um pico de riqueza na região intermediária do gradiente, e (b) pelo padrão do declínio monotônico da riqueza à medida que o gradiente altitudinal aumenta.

Enquanto muitos estudos têm corroborado as previsões do MDE para diversos organismos (LIEBERMAN *et al*., 1996; RAHBEK, 1997; KESSLER, 2000, 2001; HEANEY,

2001; JETZ & RAHBEK, 2001; SANDERS, 2002; McCAIN, 2004), outros o rejeitaram parcial ou completamente (BOKMA & MÖNKKÖNEN, 2000; BROWN, 2001; KOLEFF & GASTON, 2001; BOKMA *et al*., 2001; DINIZ-FILHO *et al*., 2002; HAWKINS & DINIZ-FILHO, 2002; LAURIE & SILANDER, 2002; ZAPATA *et al*., 2003; HERZOG *et al*., 2005). Portanto, acessar o papel do MDE na natureza parece ser uma tarefa desafiadora e, por questionar a visão tradicional que assume um declínio monotônico do número de espécies com o aumento da altitude (TERBORGH, 1971; STEVENS, 1992; Figura 1b), provou ser controversa (COLWELL *et al*., 2004).

Assim, o objetivo deste segundo capítulo foi (A) revisar todos os estudos sobre distribuição altitudinal de aves realizados em cadeias montanhosas na Mata Atlântica brasileira, (B) determinar os padrões de distribuição encontrados a partir dos dados analisados de cada um deles e (C) quando possível, relacionar os dados dos padrões encontrados nos estudos com o modelo previsto pelo MDE.

## 1.2. MATERIAL E MÉTODOS

Os artigos sobre distribuição altitudinal realizados no Brasil foram encontrados mediante busca no site *Web of Knowledge* utilizando-se combinações das palavras-chave: *bird*, *avian*, *diversity*, *species richness*, *elevation* (-al), *altitude* (-inal), como proposto por McCAIN (2009). Estudos não citados diretamente por esses sites foram recuperados em meio às referências dos artigos encontrados previamente.

Em montanhas, o MDE prevê (A) uma curva de riqueza unimodal com um pico do número de espécies no meio do gradiente altitudinal. Para verificar se nos estudos

encontrados houve significativamente mais picos intermediários de riqueza do que qualquer outro padrão de distribuição, foi utilizado o teste de chi-quadrado (*goodness of fit*).

Adicionalmente, o modelo prevê (B) uma forte associação entre a riqueza estimada com base em simulações de Monte Carlo e a riqueza empírica encontrada a cada 100 m verticais (McCAIN, 2004). Para determinar os valores de $r^2$ dos valores estimados pelo MDE foram realizadas regressões lineares dos valores de riqueza empíricos e estimados com base em 50.000 simulações a cada 100 m verticais com o programa Mid-Domain Null para Excel criado por C. M. McCain (McCAIN, 2004).

Secundariamente, o MDE prevê (C) que as variações do máximo da riqueza para regiões que não o meio do gradiente devem estar distribuídas aleatoriamente caso somente a restrição espacial seja responsável pela distribuição altitudinal das espécies (área, clima ou qualquer outro fator não desviam o pico de riqueza para longe da porção intermediária da montanha). Para essa análise foi utilizado o teste-*t* de Student.

Finalmente, o MDE prevê (D) uma relação significativa entre o valor de $r^2$ do MDE e a razão entre a amplitude altitudinal média das aves e a extensão do gradiente altitudinal. Isso se baseia na premissa de que as previsões do MDE enfocam principalmente a sobreposição de espécies com amplitudes médias e grandes e não se aplica a espécies com amplitudes altitudinais pequenas. Assim, espécies com amplitudes maiores devem ter valores mais significativos no MDE (LEES *et al*., 1999; COLWELL *et al*., 2004; DUNN *et al*., 2007). Para averiguar a robustez da previsão da amplitude altitudinal do MDE, para cada estudo foi realizada a regressão linear dos

valores de $r^2$ do MDE e da razão entre a amplitude altitudinal média das aves (m) dividida pela extensão do gradiente altitudinal (m; LEES *et al*., 1999; DUNN *et al*., 2007). Para o cálculo do valor de $r^2$ previsto pelo MDE nos estudos que não amostraram o gradiente altitudinal em intervalos regulares, uma espécie foi considerada presente em altitudes intermediárias somente no intervalo das altitudes extremas em que foi registrada (interpolação). Para todos os estudos o intervalo altitudinal considerado foi de 100 m verticais. Apenas os estudos com informações suficientes para preencherem as premissas do programa Mid-Domain Null foram utilizados para essa análise. Análises estatísticas foram conduzidas no programa SPSS 13.0 para Windows (SPSS, 2004).

## 1.3. RESULTADOS

Foram encontrados oito estudos sobre distribuição altitudinal de aves em cadeias montanhosas no Brasil. Todos foram realizados em regiões de Mata Atlântica, embora um deles tenha envolvido uma área de transição entre este bioma e o Cerrado, na Serra do Espinhaço, MG (Tabela 1). Dos dados apresentados por cada estudo foi possível encontrar três padrões de distribuição altitudinal: decrescente, platô e pico intermediário de riqueza (Figura 2).

Tabela 1: Informações sobre a riqueza de aves nos gradientes altitudinais analisados na Mata Atlântica brasileira. São informados localidades (referência), o padrão de riqueza determinado, o grupo de aves, se todas (Td.) ou apenas aves florestais (Fl.), a latitude,

a porcentagem amostrada do gradiente, a altitude da montanha (m), e os valores de $r^2$ gerados a partir de regressões lineares entre dados empíricos e estimados pelo *mid-domain effect* (MDE). Estudos cujos dados para análise do MDE foram insuficientes aparecem como N/S. Abreviações: decrescente (DC), platô (PL) e pico intermediário de riqueza (PI).

| Localidade (referência) | Padrão riqueza | | Latit. | % | Altitude | $r^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Td. | Fl. | | | | |
| Maciço do Itatiaia, RJ (HOLT, 1928) | PI | PI | -22 | 88 | 2500 | 0,82* |
| Mata Atlântica, Brasil (STOTZ *et al.*, 1996) | PL | PL | -15 | 99 | 3014 | N/S |
| Tainhas - Terra de Areia, RS (BENCKE & KINDEL, 1999) | PI | PI | -29 | 70 | 1000 | N/S |
| Ubatuba, SP (GOERCK, 1999) | DC | PL | -23,5 | 91 | 1150 | N/S |
| Angra dos Reis - Parati, RJ (BUZZETTI, 2000) | PL | PL | -23 | 100 | 1700 | N/S |
| Serra do Cipó, MG (MELO-JÚNIOR *et al.*, 2001) | DC | DC | -19 | 88 | 1600 | 0,05 |
| E. E. Juréia-Itatins, SP (DEVELEY, 2004) | DC | DC | -24 | 85 | 1300 | N/S |
| Serra dos Órgãos, RJ (RAJÃO & CERQUEIRA, 2006) | - | PI | -22 | 100 | 2260 | 0,42¶ |

* P = 0,000; ¶ P = 0,001.

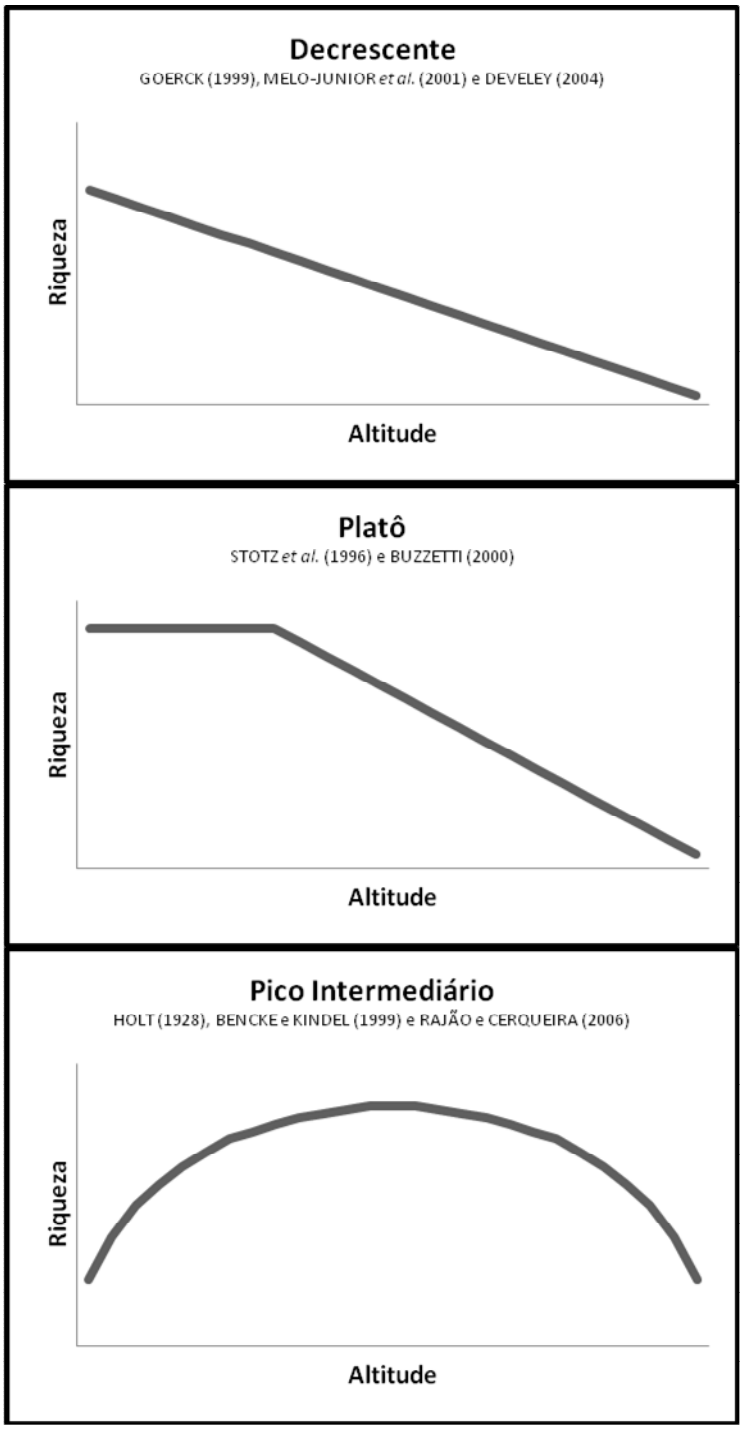



Figura 2: Padrões de distribuição altitudinal das aves encontrados em oito inventários realizados em áreas montanhosas da Mata Atlântica brasileira.

Com a exceção do estudo em Ubatuba, SP, no qual o padrão monotônico foi substituído pelo platô, as aves florestais apresentaram o mesmo padrão de distribuição altitudinal quando comparadas à análise de todas as aves registradas nas localidades.

A figura 3 mostra a comparação entre as curvas obtidas com os dados empíricos e as curvas que representam o intervalo de 95% da riqueza prevista pelo MDE. Apenas em um dos estudos houve grandes desvios dos valores observados em relação aos previstos (Figura 3b); nos outros dois estudos grande parte das riquezas observadas caiu dentro das previsões do modelo nulo (Figura 3a,c).

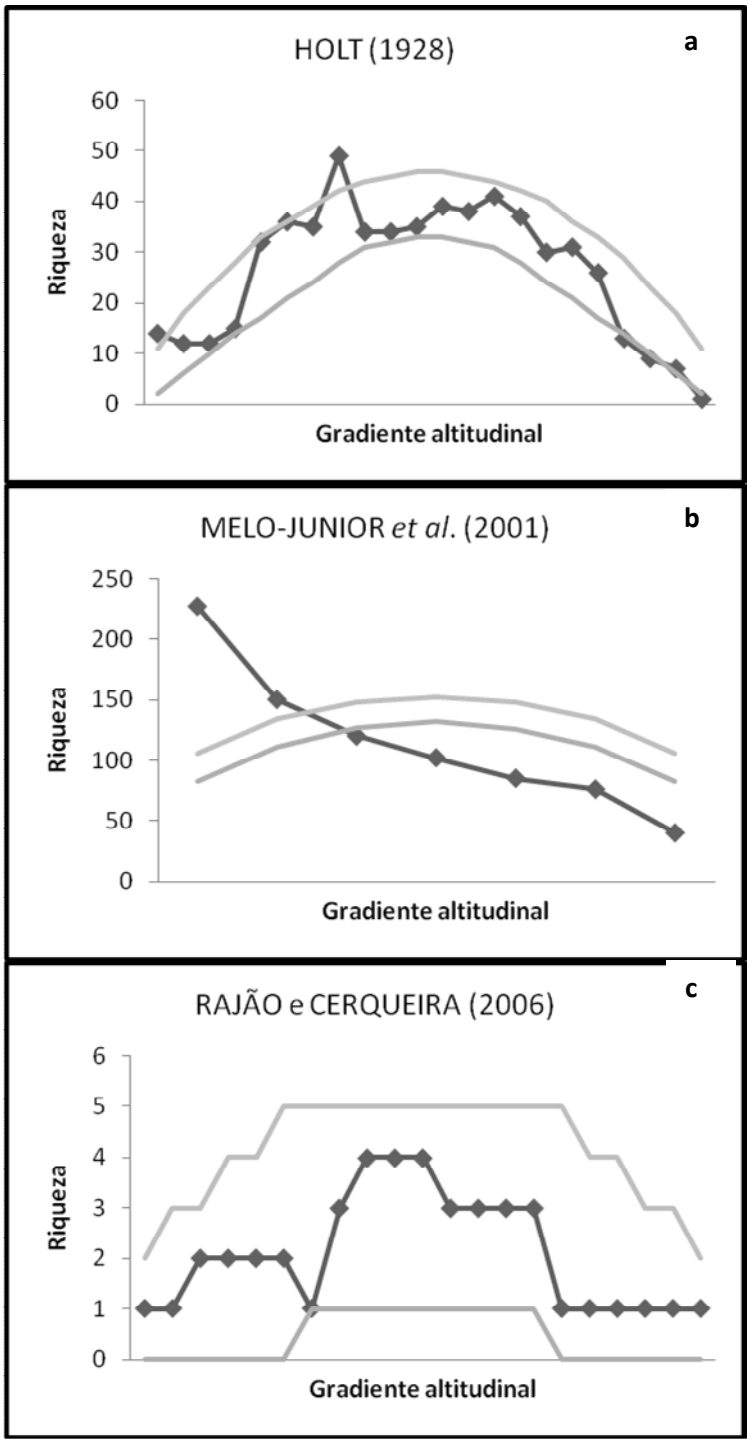



Figura 3: Curvas do número de espécies observado (linhas com pontos) e curvas dos intervalos de 95% da estimação da riqueza calculada sem substituição (*without replacement*) pelo programa Mid-Domain Null (50.000 simulações de Monte Carlo) de três diferentes localidades da Mata Atlântica brasileira.

Ao contrário da previsão A, os padrões de riqueza não foram uniformemente unimodais ($\chi^2$ = 0,50, gl = 1, P = 0,480; n = 8). O padrão de riqueza encontrado não foi fortemente relacionado às previsões do MDE, sendo a média dos valores de $r^2$ = 0,43 (previsão B; n = 3). Desvios na riqueza máxima estiveram distribuídos aleatoriamente ao redor do meio do gradiente, em altitudes significativamente menores (previsão C, *t* = 2,19, gl = 7, P = 0,710; n = 8;). Por fim, não houve relação positiva da razão entre a amplitude altitudinal média das aves e o comprimento do gradiente e os valores de $r^2$ do MDE (previsão D, $r^2$ = 0,245, F = 0,324; gl = 1; P = 0,670; n = 3).

## 1.4. DISCUSSÃO

Restrições espaciais podem implicar e, em alguns casos, contribuir para um pico de riqueza em regiões intermediárias de um gradiente (COLWELL *et al*., 2004, 2005) embora alguns autores não concordem com isso (HAWKINS *et al*., 2005; ZAPATA *et al*., 2005). O MDE prevê um padrão de riqueza unimodal com um máximo ao redor do meio de todos os gradientes altitudinais, mas as assembléias de aves nos estudos aqui considerados não foram predominantemente unimodais. Na verdade, nenhuma das quatro previsões do MDE foi fortemente suportada. Apenas um dos estudos obteve um valor de $r^2$ alto (HOLT, 1928), sendo baixa a média de todos esses valores. Padrões similares de baixos $r^2$ de MDE foram documentados ao longo de gradientes altitudinais em escala global para pequenos mamíferos não voadores ($r^2$ = 0,238; McCAIN, 2005, 2007a), morcegos ($r^2$ = 0,156; McCAIN, 2007b) e aves ($r^2$ = 0,192; McCAIN, 2009). Para a maioria de vertebrados e outros táxons até agora examinados (e.g. DUNN *et al*.,

2007), os padrões altitudinais não são consistentes com o MDE. Portanto, dentre os principais fatores que determinam a distribuição altitudinal de espécies, o MDE não parece ser o mais provável.

A falta de informação necessária para outras análises, assim como o número insuficiente de investigações, torna difícil a busca de outro fator que possa ser responsável pelos padrões encontrados. Os dois únicos estudos que forneceram o número de horas despendidas em cada faixa altitudinal amostrada demonstram que a diferença de horas amostradas não foi responsável pelo padrão de distribuição encontrado pelos respectivos autores já que a correlação entre o esforço amostral e a riqueza de cada cota não foi significativa nem para o Rio Grande do Sul (correlação de Spearman; $r^2$ = 0,093; P = 0,843) nem para Ubatuba ($r^2$ = 0,500; P = 0,667).

McCAIN (2009) sugeriu que em montanhas de regiões tropicais (úmidas) o padrão da riqueza das aves fosse indiscutivelmente monotônico e decrescente, apresentando ou não um platô nas menores altitudes. Essa conclusão não foi observada neste estudo, já que as análises dos conjuntos de dados encontraram outros padrões da curva espécies-altitude. No entanto, os estudos analisados que apresentaram padrões unimodais não possuem qualquer tipo de padronização, seja pela própria amostragem (principalmente armas de fogo, HOLT [1928]), ou pelo esforço amostral, como no caso de BENCKE e KINDEL (1999) e de RAJÃO e CERQUEIRA (2006).

No caso de HOLT (1928) e RAJÃO e CERQUEIRA (2006) a falta de padronização comprometeu as análises do MDE, já que a padronização poderia modificar os resultados encontrados. Isso diminuiu ainda mais o efeito do modelo nulo na

determinação do padrão altitudinal das aves da Mata Atlântica. COLWELL e HURTT (1994) sugeriram que em regiões onde a diversidade é muito alta, habitats complexos como as matas de baixada, merecem maior esforço amostral. Embora pertinente, no presente estudo ficou claro que a principal preocupação nas análises do MDE é o desenho amostral, o qual deve incluir uma escala refinada e padronizada de cotas altitudinais.

Alguns estudos já começaram a focar seu interesse em variáveis não espaciais por considerarem que a variação de fatores abióticos, como disponibilidade de água e temperatura, influencia a distribuição da vegetação e, como consequência, os animais que a usufrui para diversos fins (McCAIN, 2007b, 2009). Em análises multivariadas, a autora concluiu que a maioria dos estudos de suas meta análises globais obteve grande influência dessas variáveis na determinação da riqueza máxima de morcegos e aves, independente de sua posição (intermediária ou não) no gradiente. Para ALMEIDA-NETO *et al*. (2006), a única investigação que incluiu essas variáveis na distribuição altitudinal na Mata Atlântica, o declínio da riqueza de opiliões em três montanhas de Ubatuba concordou com a umidade e temperatura. Assim, tanto em escala global como local, essas variáveis parecem ser importantes e devem ser consideradas em avaliações futuras.

Apesar de décadas dedicadas ao estudo da distribuição altitudinal ainda há certa discordância entre padrões encontrados. Dos estudos já realizados sobre a distribuição altitudinal das aves da Mata Atlântica foram determinados três diferentes padrões da curva espécies-altitude, sendo o padrão mais comum aquele que descreve um declínio monotônico da riqueza à medida que o gradiente aumenta. As previsões

do MDE não foram consistentemente robustas ao longo dos estudos, o que sugere que não deve ser responsável pela determinação do padrão altitudinal das aves na Mata Atlântica. A falta de padronização dos estudos limita as possibilidades de determinar-se alguma variável que possa explicar o padrão de distribuição de cada conjunto de dados e, futuros estudos devem levar em consideração, além da padronização do esforço amostral e faixas altitudinais, variáveis abióticas candidatas a explicar a distribuição altitudinais dos organismos.

## 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

ALMEIDA-NETO, M.; MACHADO, G.; PINTO-DA-ROCHA, R.; GIARETTA, A. A. Harvestman (Arachnida: Opiliones) species distribution along three Neotropical elevational gradients: an alternative rescue effect to explain Rapoport's rule? **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 2, p. 361-375, 2006.

BENCKE, G. A.; KINDEL, A. Bird count along an altitudinal gradient of Atlantic forest in northeastern Rio Grande do Sul, Brazil. **Ararajuba**, v. 7, n. 2, p. 91-107, 1999.

BOKMA, F.; MÖNKKÖNEN, M. The mid-domain effect and the longitudinal dimension of continents. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 7, p. 288-289, 2000.

BOKMA, F.; BOKMA, J.; MÖNKKÖNEN, M. Radom processes and geographic species richness patterns: why so few species in the north. **Ecography**, v. 24, n. 1, p. 43-49, 2001.

BROWN, J. H. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 101-109, 2001.

BUZZETTI, D. R. C. Distribuição altitudinal de aves em Angra dos Reis e Parati, sul do Estado do Rio de Janeiro. In: ALVES, M. A. S.; SILVA, J. M. C.; Van SLUYS, M.; BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D. **A ornitologia no Brasil**: pesquisa atual e perspectivas. 1 ed. Rio de Janeiro: Eduerj, 2000. p. 131-148.

COLWELL, R. K.; HURTT, G. C. Non biological gradients in species richness and a spurious Rapoport's effect. **The American Naturalist**, v. 144, n. 4, p. 570-595, 1994.

COLWELL, R. K.; LEES, D. C. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 70-76, 2000.

COLWELL, R. K.; RAHBEK, C.; GOTELLI, N. J. The mid-domain effect and species richness patterns: what have we learned so far? **The American Naturalist**, v. 163, n. 3, p. E1-E23, 2004.

COLWELL, R. K.; RAHBEK, C.; GOTELLI, N. J. The mid-domain effect: there's a baby in the bathwater. **The American Naturalist**, v. 166, n. 5, p. E149-E154, 2005.

DEVELEY, P. F. As aves da Estação Ecológica Juréia-Itatins. In: MARQUES, O. A. V.; DULEBA, W. (Ed.) **A Estação Ecológica Juréia-Itatins**: ambiente físico, flora e fauna. 1 ed. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2004. p. 278-295.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; SANT'ANA, C. E. R.; SOUZA, M. C.; RANGEL, T. F. L. V. B. Null models and spatial patterns of species richness in South American birds of prey. **Ecology Letters**, v. 5, n. 1, p. 47-55, 2002.

DUNN, R. R.; McCAIN, C. M.; SANDERS, N. J. When does diversity fit null model predictions? Scale and range size mediate the mid-domain effect. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 3, p. 305-312, 2007.

EGUCHI, K.; TAKEISHI, M.; NAGATA, H.; HENMI, Y.; KAWAJI, N. Altitudinal distribution of forest birds in the Kayu-Shima Island, Kagoshima Prefecture, Japan. I. Breeding season. **Japanese Journal of Ecology**, v. 39, n. 1, p. 53-65, 1989.

GOERCK, J. M. Distribution of birds along an elevational gradient in the Atlantic Forest of Brazil: implications for the conservation of endemic and endangered species. **Bird Conservation International**, v. 9, n. 3, p. 235-253, 1999.

GOODMAN, S. M.; GONZALES, P. C. The birds of Mt. Isarog National Park, Southern Luzon, Philippines, with particular reference to altitudinal distribution. **Fieldiana Zoology** (New Series), n. 60, p. 1-39, 1990.

GRINNELL, J.; STORER, T. I. **Animal life in the Yosemite**: an account of the mammals, birds, reptiles, and amphibians in a cross-section of the Sierra Nevada. 1. ed. Berkeley: University of California Press, 1924. 752 p.

HAWKINS, B. A.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; WEIS, A. E. The mid-domain effect and diversity gradients: is there anything to learn? **The American Naturalist**, v. 166, n. 5, p. E140-E143, 2005.

HEANEY, L. R. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 15-39, 2001.

HENNESSEY, A. B.; HERZOG, S. A.; KESSLER, M.; ROBISON, D. Avifauna of the Pilón Lajas Biosphere Reserve and Communal Lands, Bolivia. **Bird Conservation International**, v. 13, n. 4, p. 319-349, 2003.

HERZOG, S. K.; KESSLER, M.; BACH, K. The elevational gradient in Andean bird species richness at the local scale: a foothill peak and a high-elevation plateau. **Ecography**, v. 28, n. 2, p. 209-222, 2005.

HOLT, E. G. An ornithological survey of the Serra do Itatiaya, Brazil. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 57, p. 251-326, 1928.

JETZ, W.; RAHBEK, C. Geometric constraints explain much of the species richness pattern in African birds. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 10, p. 5661-5666, 2001.

KATTAN, G. H.; FRANCO, P. Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: area and mass effects. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, n. 5, p. 451-458, 2004.

KESSLER, M. Elevational gradients in species richness and endemism of selected plant groups in the central Bolivian Andes. **Plant Ecology**, v. 149, n. 2, p. 181-193, 2000.

KESSLER, M. Patterns of diversity and range size of selected plant groups along an elevational transect in the Bolivian Andes. **Biodiversity and Conservation**, v. 10, n. 11, p. 1897-1921, 2001.

KIKKAWA, J.; WILLIAMS, E. E. Altitude distribution of land birds in New Guinea. **Search**, v. 2, p. 64-65, 1971.

KOLEFF, P.; GASTON, K. J. Latitudinal gradients in diversity: real patterns and random models. **Ecography**, v. 24, n. 3, p. 341-351, 2001.

LACK, D. **Island Biology illustrated land by the land birds of Jamaica**. 1. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1976. 445 p.

LAURIE, H; SILANDER JR, J. A. Geometric constraints and spatial patterns of species richness: critique of range-based models. **Diversity and Distributions**, v. 8, n. 6, p. 351-364, 2002.

LEES, D. C.; KREMEN, C.; ANDRIAMAMPIANINA, L. A null model for species richness gradients: bounded range overlap of butterflies and other rainforest endemics in Madagascar. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 67, n. 4, p. 529-584, 1999.

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. The Journal of Ecology, v. 84, n. 2, p. 137-152, 1996.

McCAIN, C. M. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 1. p. 19-31, 2004.

McCAIN, C. M. Elevational gradients in diversity of small mammals. **Ecology**, v. 86, n. 2, p. 366-372, 2005.

**McCAIN, C. M.** Area and mammalian elevational diversity. ***Ecology,*** v. 88, n. 1, p.76–86, 2007a.

McCAIN, C. M. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2007b.

**McCAIN, C. M.** Global analysis of bird elevational diversity. ***Global Ecology and Biogeography**, v.* 18, n. 3, p. 346-360, 2009.

MELO-JÚNIOR, T. A.; VASCONCELOS, M. F.; FERNANDES, G. W.; MARINI, M. A. Bird species distribution and conservation in Serra do Cipó, Minas Gerais, Brazil. **Bird Conservation International**, v. 11, v. 3, p. 189-204, 2001.

NATHAN, R.; WERNER, Y. L. Reptiles and breeding birds on Mt. Hermon: patterns of altitudinal distribution and species richness. **Israel Journal of Zoology**, v. 45, n. 1, p. 1-33, 1999.

ORIANS, G. H. The number of bird species in some tropical forests. **Ecology**, v. 50, n. 5, p. 783-801, 1969.

PATTERSON, B. D., STOTZ, D. F., SOLARI, S., FITZPATRICK, J. W.,; PACHECO, V. Contrasting patterns of elevational zonation for birds and mammals in the Andes of southeastern Peru. **Journal of Biogeography**, v. 25, n. 3, p. 593-607, 1998.

PAULSCH, D.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K. Bird species distribution along an altitudinal gradient in southern Ecuador and its functional relationships with vegetation structure. In: BECK, E.; BENDIX, J.; KOTTKE, I; MAKESCHIN, F; MOSANDL, R. (Orgs.) **Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador**. 1. ed. Berlim: Springer Berlin Heidelberg, 2008. p. 149-156.

PEARSON, O. P.; RALPH, C. P. The diversity and abundance of vertebrates along an altitudinal gradient in Peru. **Memorias del Museo de Historia Natural "Javier Prado"**,v. 18, p. 1-97, 1978.

PRIGOGINE, A. The altitudinal distribution of the avifauna in the Itombwe forest (Zaire) **Proceedings of the IV Pan-African Ornithological Congress**, p. 169-184, 1980.

RAHBEK, C. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. **The American Naturalist**, v. 149, n. 5, p. 875-902, 1997.

RAJÃO, H.; CERQUEIRA, R. Distribuição altitudinal e simpatria das aves do gênero *Drymophila* Swainson (Passeriformes, Thamnophilidae) na Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 597-607, 2006.

SANDERS, N. J. Elevational gradients in ant species richness: area, geometry and Rappoport's rule. **Ecography**, v. 25, n. 1, p. 25-32, 2002.

SPSS – Statistical Package for Social Sciences. Versão 13.0. Chicago: SPSS Inc., 2004. Windows XP.

STOTZ, D. F.; FITZPATRIK, J. W.; PARKER, T. A.; MOSKOVITS, D. K. **Neotropical birds**: ecology and conservation. Chicago: University of Chicago Press, 1996. 481p.

TERBORGH, J. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. **Ecology**, v. 52, n. 1, p. 23-40, 1971.

TERBORGH, J. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. **Ecology**, v. 58, n. 5, p. 1007-1019, 1977.

TERBORGH, J. The role of ecotones in the distribution of Andean birds. **Ecology**, v. 66, n. 4, p. 1237-1246, 1985.

TERBORGH, J.; WESKE, J. S. The role of competition in the distribution of Andean birds. **Ecology**, v. 56, n. 3, p. 562-576, 1975.

THIOLLAY, J. M. L'evolution des peuplements d'oiseaux tropicaux le long d'un gradient altitudinal dans l'himalaya central. **Terre et la Vie**, v. 34, p. 199-269, 1980.

THORSTROM, R.; WATSON, R. T. Avian inventory and key species of the Masoala Peninsula, Madagascar. **Bird Conservation International**, v. 7, p. 99-115, 1997.

WARTMANN, B.; FURRER, R. K. Zur Struktor der avifauna eines Alpentales entlang des Höhengradienten. I. Veränderungen zur Brutzeit. **Der Ornithologische Beobachter**, v. 74, n. S, p. 137-160, 1977.

ZAPATA, F. A.; GASTON, K. J.; CHOWN, S. L. Mid-domain models of species richness gradients: assumptions, methods and evidence. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, n. 4, p. 677-690, 2003.

ZAPATA, F. A.; GASTON, K. J.; CHOWN, S. L. The mid-domain effect revisited. **The American Naturalist**, v. 166, n. 5, p. E144-E148, 2005.

# Capítulo 3.

A distribuição altitudinal das aves na Serra do Mar: efeitos da altitude, área e *mid-domain effect*

Resumo

Muitos estudos foram realizados em regiões montanhosas ao redor do mundo na tentativa de determinar fatores responsáveis pela distribuição altitudinal dos organismos. Apesar de diversos estudos terem sido conduzidos sobre a distribuição altitudinal das aves em quase todos os continentes, inclusive na América do Sul, o Brasil conta com poucos estudos sobre o tema, mesmo sendo a Mata Atlântica, especificamente a Serra do Mar, um cenário ideal para averiguar tais questões. Os estudos citados não procuraram determinar fatores responsáveis pela distribuição das aves ao longo do gradiente; ao invés disso, forneceram a altitude em que as espécies foram registradas. Recentemente foi proposto que prováveis fatores que regem o padrão de distribuição altitudinal fossem testados individual e conjuntamente para avaliar quanto cada um deles responde de fato pelo padrão da riqueza altitudinal. Alguns desses fatores incluem (1) a altitude, a riqueza diminui monotonicamente à medida que a altitude aumenta; (2) a área da faixa altitudinal que as espécies ocupam, modelo que prevê maior riqueza onde a área é maior, geralmente a base das montanhas, e (3) o *mid-domain effect* (MDE), modelo nulo cuja principal previsão é a restrição geométrica das amplitudes altitudinais empíricas. Estas três variáveis espaciais foram utilizadas para averiguar o quanto podem influenciar a distribuição da riqueza das aves ao longo de um gradiente altitudinal da Serra do Mar do Estado de São Paulo, Brasil. A área de estudo compreendeu o município de Bertioga (23°51'S 46°08'W) e a Estação Biológica de Boracéia (23°38'S 45°52'W), no município de Salesópolis, resultando em um gradiente altitudinal de 800 m. Foi utilizada a metodologia de Pontos de Escuta para o registro das espécies de aves, sendo as campanhas realizadas entre outubro de 2008 e fevereiro de 2010. Foram

determinadas nove cotas altitudinais com 100 m verticais cada, e amostrados três pontos distantes em 200 m em cada cota para um total de 27 pontos amostrais. A marcação do primeiro Ponto de Escuta a partir da trilha principal deu-se após escolha aleatória de uma distância entre 0 e 50 m para esquerda ou direita, escolha esta também aleatória. Cada ponto, com duração de 10 min e detecção de raio limitado em 50 m, foi visitado durante seis dias não consecutivos, e a ordem de amostragem dos pontos foi pré-estabelecida para evitar que fossem amostrados sempre na mesma sequência. Foram realizadas regressões lineares com cada variável individualmente e, posteriormente, regressões múltiplas com combinações das variáveis. Foram registradas 108 espécies de aves ao longo do gradiente altitudinal e determinada uma curva em forma de "U", sendo o maior número de espécies registrado na cota 0 m e os menores nas cotas 100 e 300 m. No entanto, ao controlar a riqueza de cada cota altitudinal proporcionalmente à área, um novo padrão emergiu com um pico na riqueza ao redor do meio do gradiente. O MDE foi a variável que mais explicou a distribuição altitudinal, respondendo mais de 40% da variabilidade encontrada nos dados empíricos. Regressões múltiplas com altitude, área e MDE explicaram de 60 a 70% da variação. Fatores abióticos, em contraste com espaciais, devem ser considerados em futuros estudos sobre a distribuição altitudinal das aves da Mata Atlântica. Essas conclusões restringem-se à vertente atlântica dos municípios de Bertioga e Salesópolis e não devem ser extrapoladas para a Serra do Mar devido à ausência de réplicas latitudinais.

Palavras-chave: Área, aves, distribuição altitudinal, *mid-domain effect*, Serrado Mar.

*Abstract*

Many studies have been conducted on mountainous regions around the world in order to determine local and global drivers of the altitudinal distribution of organisms. Although several studies on altitudinal distribution of birds have been carried out in different continents, including South America, few studies have been conducted in the Brazilian Atlantic forest, an ideal case study where this topic can be developed. These investigations did not account for the factors that influence the altitudinal distribution of birds; instead they provided the altitudes in which the species were recorded. It has been recently proposed that candidate factors for altitudinal distribution patterns be tested individually and together against other factors in order to assess if they are the main drivers of the species-elevation curve. Some of these factors include (1) altitude, representing a monotonic decline in species richness with increasing elevation; (2) area per altitudinal belt, i. e. species richness is greater where area is also greater, such as the mountain base; and (3) a mid-domain effect (MDE) null model of geometrically constrained empirical range sizes. I tested these three spatial variables to assess how much they influence the distribution of birds along an elevational gradient in the Serra do Mar in the state of São Paulo, Brazil. The study area comprised the city of Bertioga (23°51'S 46°08'W) and Boracéia Biological Station (23°38'S 45°52'W), near the city of Salesópolis, along an 800 m elevational gradient. I sampled forest birds using Point Counts from October 2008 – February 2010 and determined nine 100 m vertical altitudinal belts where three Point Counts 200 m distant from one another were selected at each elevational belt for a total of 27 samples. Point Counts were randomly set from 0 – 50 m left or right (random choice also) away from the main transect line. Limited distance (50 m) Point Counts lasted for 10 minutes each and I conducted them

during six non-consecutive days. I pre-determined the order they were sampled to avoid following the same sequence. I ran linear regressions with individual variables and later I ran multiple regressions using combinations of variables. I recorded 108 species in 27 hours along the elevational gradient which determined a trough-shaped pattern. The belt with the highest number of species was 0 m, while the belts with the lowest species richness were 100 and 300 m. However, when controlling richness for the effect of the area of each altitudinal belt, a new hump-shaped pattern emerged. The MDE was the best single predictor, accounting for more than 40% of the variance in the empirical data. A multiple regression model with elevation, area and MDE explained 60 – 70% of the variance. In as much as spatial factors, abiotic candidate variables should be considered for future studies concerning the elevational diversity of birds in the Atlantic forest. These conclusions are restricted to the Atlantic slopes of Bertioga and Salesópolis and must not be extrapolated to the Serra do Mar mountain range due to the absence of latitudinal replicates.

Key words: Altitudinal distribution, area, birds, mid-domain effect, Serra do Mar.

## 1.1. INTRODUÇÃO

O efeito de gradientes geográficos na riqueza de espécies há muito despertou o interesse de biogeógrafos (von HUMBOLDT, 1849; WALLACE, 1878), ecólogos (WARMING, 1909) e biólogos evolucionistas (DOBZHANSKY, 1950), e as notáveis mudanças ecológicas que ocorrem ao longo de gradientes altitudinais receberam considerável atenção na literatura ecológica (DARWIN, 1839, 1859; von HUMBOLDT, 1849; WALLACE, 1876, 1878; MERRIAM, 1890).

Existem mais de 30 hipóteses para explicar a distribuição das espécies ao longo de gradientes (PIANKA, 1966, ROHDE, 1992; HEANEY, 2001). Historicamente, a maioria das hipóteses de diversidade tentou explicar a variação encontrada em gradientes inteiros baseando-se em um único fator biológico, como produtividade, complexidade ou diversidade do habitat, estresse ambiental, diversidade de recursos e competição (HEANEY, 2001; LOMOLINO, 2001). Outro modelo teórico criado para responder a mesma pergunta é o equivalente altitudinal do efeito do ecótono, ou hipótese de sobreposição da comunidade, na qual a maior riqueza encontra-se na área de contato entre duas comunidades faunísticas distintas (STOTZ, 1998; LOMOLINO, 2001). Finalmente, diversas hipóteses foram propostas na tentativa de explicar os padrões atuais da riqueza de espécies em relação à altitude com base em fatores históricos, como imigração, extinção e especiação (MYERS & GILLER, 1988; LOMOLINO, 2001).

Muitos dos estudos de caso dos padrões de distribuição espacial foram realizados com o gradiente latitudinal. Embora seu efeito na riqueza de espécies tenha recebido mais atenção preteritamente, o estudo de padrões altitudinais tem sido o foco de vários táxons na literatura recente (McCAIN, 2004).

As primeiras aproximações sobre a distribuição altitudinal das aves demonstraram claramente que, à medida que o gradiente altitudinal aumenta, menor a riqueza obtida (KIKKAWA & WILIAMS, 1971; TERBORGH, 1971). Considerada uma extensão da Lei de Rapoport (STEVENS, 1992), o paradigma que descreve um declínio monotônico do número de espécies quanto maior a altitude do gradiente tendeu a ser considerado um padrão universal (BROWN & GIBSON, 1983; BEGON *et al*., 1990; ROHDE, 1992). No entanto, RAHBEK (1995) discutiu que essa generalização foi amplamente o resultado de muita ênfase e confusão de alguns dos primeiros estudos (TERBORGH, 1977), aliado ao *citation inbreeding*, ou seja, citações repetidas entre artigos. Numa revisão extensiva da literatura incluindo 97 estudos de uma grande amplitude de grupos taxonômicos, biomas e escalas espaciais, RAHBEK (1995) encontrou suporte empírico para diversos padrões altitudinais de riqueza, predominantemente maior nas menores altitudes, sendo que quase a metade dos estudos obteve um domínio de relações *hump-shaped*, ou unimodais, onde o máximo do número de espécies ocorre em algum ponto intermediário do gradiente.

Rahbek (1995) também notou que a maioria dos estudos possuía problemas metodológicos por não controlarem o efeito do esforço amostral e/ou da área nos padrões da riqueza de espécies. A falta de padronização da coleta de dados para controlar o esforço amostral (GOTELLI & COLWELL, 2001) e área (RAHBEK 1995, 1997) pode causar resultados enviesados. Para sobrepujar tais vícios, RAHBEK (1997) analisou um conjunto de dados praticamente ausente de reveses amostrais sobre a distribuição altitudinal de aves terrestres neotropicais. Após controlar a área da superfície de cada faixa altitudinal, a relação emergente da escala regional entre

riqueza de espécies de aves e elevação foi, de fato, unimodal com um pico de riqueza de espécies ao redor dos 1.000 m.

STOTZ *et al*. (1996) abordaram o problema de um ângulo diferente. Como não apenas a área da superfície, mas também a diversidade de habitats são maiores na planície amazônica do que nas encostas andinas adjacentes, STOTZ *et al*. (1996: 37) apenas consideraram as espécies dentre a planície amazônica que habitam florestas de terra firme e obtiveram um resultado similar ao de RAHBEK (1997): uma curva altitudinal de espécies unimodal com um máximo de riqueza na zona das encostas entre 500 e 1000 m. Desse modo as análises sugerem que a enorme diversidade de espécies de aves da planície amazônica é uma consequência de sua grande área e maior diversidade de habitats, e que o controle desses fatores pode demonstrar que as encostas andinas formam a zona de maior riqueza de aves na comparação Amazônia-Andes (HERZOG *et al*., 2005).

Estudos recentes sobre outros grupos de organismos também documentaram relações unimodais entre riqueza de espécies e elevação, e.g. para árvores na Costa Rica (LIEBERMAN *et al*., 1996), para diversos grupos de plantas na Bolívia (KESSLER, 2000, 2001), para formigas no oeste dos Estados Unidos (SANDERS, 2002), e para pequenos mamíferos não voadores nas Filipinas (HEANEY, 2001), Malásia (Md. NOR, 2001), e na Costa Rica (McCAIN, 2004). PATTERSON *et al*. (1998) encontraram uma relação em forma de "U", não significativa, para roedores no Peru, com riquezas máximas nas matas de baixada e de altitude. Para morcegos e aves, PATTERSON *et al*. (1998) demonstraram um declínio levemente curvilinear de riqueza com a elevação, mas seus dados não foram controlados para área ou diversidade de habitats. Os

autores atentaram para o fato de que análises preliminares do mesmo conjunto de dados das aves revelaram um padrão unimodal uma vez que o efeito do aumento da diversidade de habitats amazônicos foi controlado.

Esses estudos ilustram que as montanhas não espelham a diversidade do gradiente latitudinal (BROWN, 2001) e que não há um acordo universal no formato do padrão da curva espécies-altitude (HERZOG *et al*., 2005). À medida que novas teorias progridem e mais dados empíricos são acumulados tem se tornado cada vez mais claro que vários fatores sustentam os gradientes de diversidade (BROWN, 2001; LOMOLINO, 2001).

Avanços recentes na teoria de modelos nulos forneceram um novo desafio para esta história. COLWELL e HURTT (1994) propuseram vários modelos que simulam amplitudes altitudinais e randomizam a distribuição dessas amplitudes em domínios geográficos limitados unidimensionais (e.g. um gradiente altitudinal). Baseados totalmente em processos estocásticos esses modelos nulos produzem curvas simétricas com um pico de espécies ao redor do meio do gradiente. Essas simulações são os ancestrais de modelos nulos analíticos (WILLIG & LYONS, 1998; LEES *et al*., 1999; JETZ & RAHBEK, 2001) e modelos nulos analítico-estocásticos (SANDERS, 2002; McCAIN, 2003, 2004) que foram testados contra dados empíricos e estendidos para domínios bidimensionais (JETZ & RAHBEK, 2001). Esses estudos dão forte suporte para o que veio a ser chamado de *mid-domain effect* (MDE; COLWELL & LEES, 2000; COLWELL *et al*., 2004).

O MDE prevê que quando barreiras espaciais, tais quais oceanos e topos de montanhas, limitam a distribuição das espécies, a simples sobreposição de muitas

amplitudes altitudinais de diversos tamanhos gera um pico da riqueza na região intermediária do gradiente (COLWELL & HURTT, 1994; COLWELL & LEES, 2000). Esta previsão baseia-se somente em restrições espaciais e oferece predições com as quais padrões empíricos podem ser comparados. Áreas de desvio significativo das previsões nulas permitem aos pesquisadores procurarem fatores biológicos específicos que produzam as inclinações, picos ou depressões nas curvas de riqueza (McCAIN, 2004).

Enquanto diversos pesquisadores têm apresentado dados corroborando o modelo previsto pelo MDE (LIEBERMAN *et al*., 1996; RAHBEK, 1997; KESSLER, 2000, 2001; HEANEY, 2001; JETZ & RAHBEK, 2001; SANDERS, 2002; McCAIN, 2004), outros autores (BOKMA & MÖNKKÖNEN, 2000; KOLEFF & GASTON, 2001; BOKMA *et al*., 2001; DINIZ-FILHO *et al*., 2002; HAWKINS & DINIZ-FILHO, 2002; ZAPATA *et al*., 2003) descartaram uma significante influência do modelo nos padrões de riqueza espacial, criticando sua previsão como não realista, conceitualmente falha ou internamente inconsistente. COLWELL *et al*. (2004) argumentam que muito da crítica do MDE baseia-se na má-compreensão da natureza de modelos nulos e dos modelos do MDE em particular, no uso de frequência de distribuições inapropriada de amplitudes geográficas e de uma aproximação tudo-ou-nada à procura de fatores explanatórios únicos.

Para avaliar devidamente o papel do MDE na formação do padrão da riqueza de espécies COLWELL *et al*. (2004) recomendaram que os estudos deveriam: (a) acessar quantitativamente a importância relativa do MDE ao invés de apenas testá-lo como uma hipótese nula, (b) utilizar a re-amostragem da frequência de distribuições da amplitude altitudinal empírica (ao invés da frequência de distribuições da amplitude

altitudinal ou dos pontos médios empíricos das amplitudes altitudinais) para fazer as previsões do MDE, e (c) aplicar análises multivariadas considerando outras prováveis explicações para o padrão da riqueza além do MDE. Dos 16 estudos unidimensionais de MDE encontrados por COLWELL *et al*. (2004) em uma exaustiva revisão da literatura, apenas um (McCAIN, 2004) seguiu os três critérios. Posteriormente, HERZOG *et al*. (2005) realizaram novo estudo levando em consideração estas sugestões.

Para determinar o padrão altitudinal das aves no gradiente Bertioga-Salesópolis, no presente capítulo as recomendações de COLWELL *et al*. (2004) foram seguidas na análise da distribuição de aves ao longo de em um gradiente altitudinal de uma Floresta Ombrófila Densa de São Paulo, Brasil. Amostras na mata de baixada foram restritas à "terra firme", sem amostrar os arredores do Varjão do Rio Guaratuba (diversidade maior de habitat), e as análises de dados foram controladas para o esforço amostral. Utilizando análises de regressões lineares e múltiplas, o padrão resultante da riqueza de espécies foi relacionado a três variáveis explanatórias espaciais: (1) altitude, (2) área e (3) MDE.

## 1.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1. Áreas de estudo

O gradiente altitudinal amostrado compreendeu áreas de Mata Atlântica de dois municípios do Estado de São Paulo, Bertioga e Salesópolis (Figura 1). As altitudes entre 0 e 400 m foram acessadas por transectos a partir do primeiro município, enquanto as

altitudes entre 500 e 800 m foram acessadas a partir da Estação Biológica de Boracéia (EBB; 23°38'S, 45°52'W), localizada próxima à cidade de Salesópolis (CAMARGO, 1946).

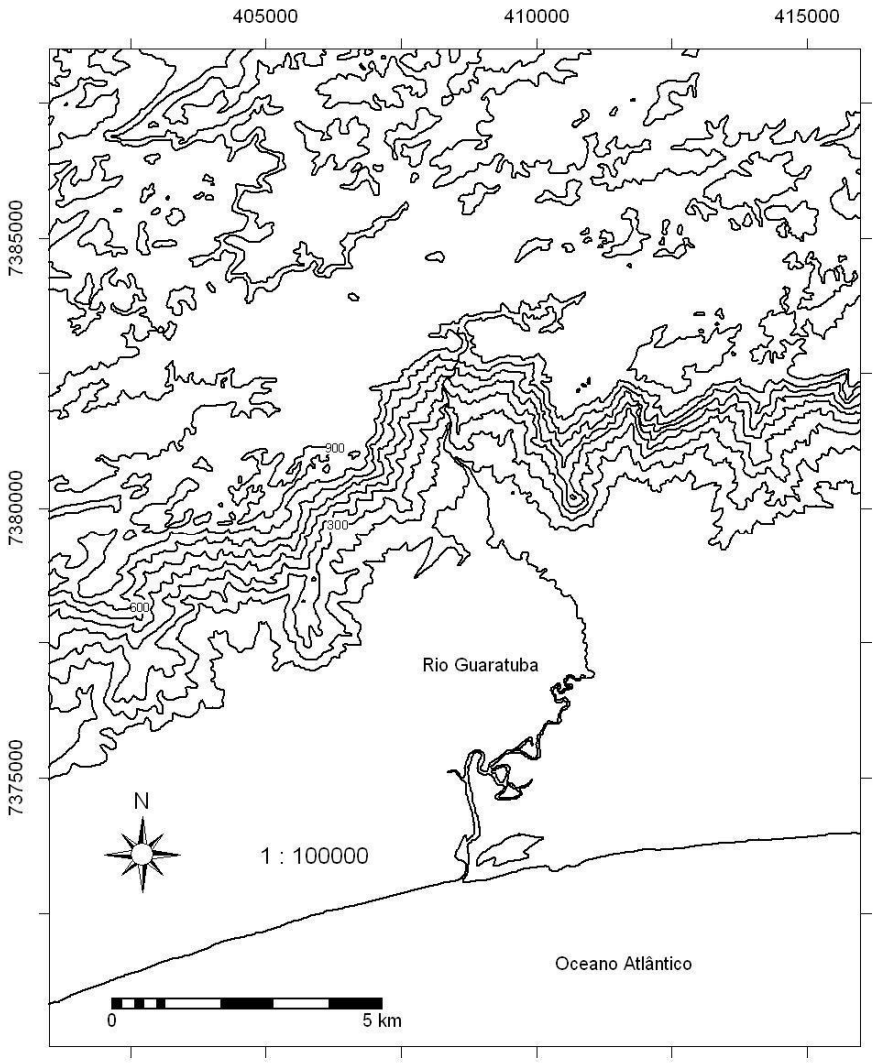



Figura 1: Mapa cartográfico do gradiente altitudinal amostrado entre os municípios de Bertioga e Salesópolis, SP.

Bertioga situa-se no litoral central do Estado de São Paulo (46°08' W, 23°51' S) e compreende uma área com cerca de 480 km$^2$ de Mata Atlântica, 85% dos quais constituem área de proteção ambiental (MAIA *et al*., 2008). Pelo sistema de Köppen, o clima da região pertence ao tipo Af, tropical úmido ou super úmido, com chuvas

distribuídas durante todo o ano (NASCIMENTO & PEREIRA, 1988). Segundo os dados climatológicos da estação meteorológica do Departamento de Águas e Energia Elétrica de Bertioga obtidos entre 1941 e 1970, a temperatura anual média é de 24,8°C, com média mensal mais baixa de 20,7°C em julho e mais elevada de 28,3°C, em fevereiro. Bertioga é uma das regiões mais úmidas do Brasil, com precipitação média de 3.200 mm anuais, com menor pluviosidade média em julho (111 mm) e maior em fevereiro (410 mm; MARTINS *et al*., 2008).

A EBB foi estabelecida em 1954 e atualmente é administrada pelo Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo; possui 96 ha de Mata Atlântica Montana (750 – 900 m) e está inserida na Reserva da Casa Grande, com aproximadamente 17.000 ha, a qual pertence ao Departamento de Águas e Esgotos do Estado de São Paulo (TRAVASSOS FILHO & CAMARGO, 1958). Por sua vez, Casa Grande está dentro do Parque Estadual da Serra do Mar (314.000 ha), núcleo São Sebastião. Seu clima é considerado tropical úmido (Cfa na classificação de Köppen), com chuvas uniformes ao longo do ano e verão quente. A média pluviométrica anual é de 2019 mm, sendo as médias mensais extremas equivalentes a 71,6 e 284,7 mm em junho e janeiro, respectivamente; a temperatura anual média é de 17,9°C, sendo julho (14,7°C) e fevereiro (21,5°C) os meses mais frios e quentes, respectivamente (CUSTÓDIO FILHO, 1989).

O gradiente altitudinal de 800 m possui mata contínua, em sua maioria primária, com exceção de algumas localidades aos 0, 100, 200 e 800 m, onde percebe-se a retirada do palmito juçara (*Euterpe edulis*) e vegetação ligeiramente descaracterizada.

### 1.2.2. Metodologia e delineamento

Para a amostragem das espécies de aves foi escolhida a metodologia de Pontos de Escuta (VIELLIARD & SILVA, 1990; BIBBY *et al*., 2000). Foram determinadas nove faixas altitudinais (100 m verticais cada) ao longo do gradiente, o qual possui uma única trilha principal que permite o acesso a partir da EBB até a Praia de Boracéia, no município de Bertioga. Assim, para evitar pseudo-replicação espacial entre os pontos de cada faixa altitudinal foi determinada aleatoriamente uma distância entre 0 e 50 m a ser percorrida à esquerda ou direita, escolha também aleatória, a partir do transecto principal antes da demarcação do primeiro Ponto de Escuta. Foram determinados três Pontos de Escuta por faixa altitudinal, todos distantes em no mínimo 200 m, distância considerada suficiente para a independência das amostras (VIELLIARD & SILVA, 1990). Cada ponto teve a duração de 10 minutos e o raio de detecção foi limitado em 50 m, sendo realizados sempre pelo mesmo observador (Figura 2).

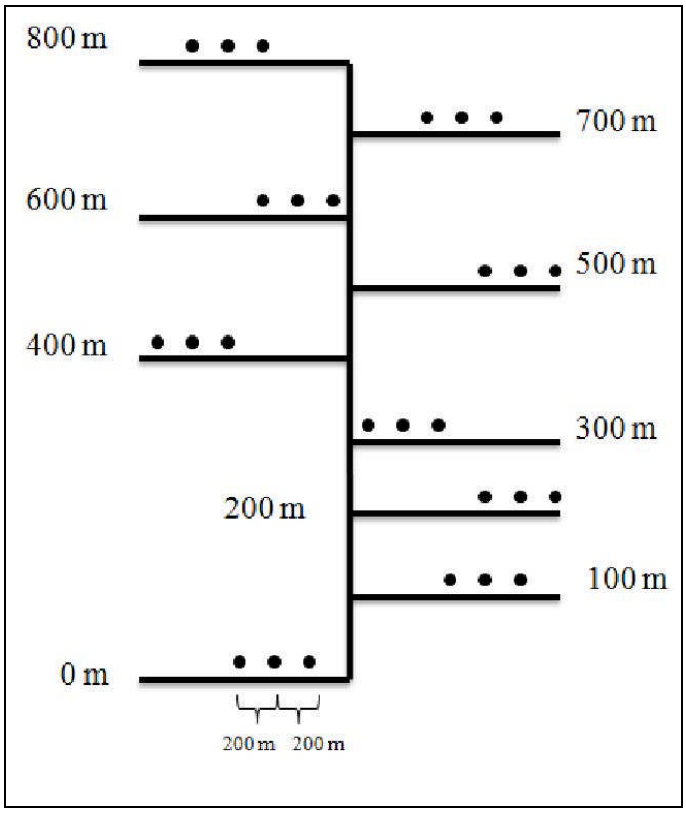



Figura 2: Esquema exemplificando o delineamento utilizado para amostragem das aves ao longo do gradiente altitudinal Bertioga-Salesópolis. Cada ponto representa um Ponto de Escuta. Notar que a distância entre o primeiro Ponto de Escuta e o transecto principal variou, aleatoriamente, entre 0 e 50 m.

Estudos têm demonstrado que cerca de dois a cinco pontos realizados e/ou visitados durante quatro dias podem ser suficientes para amostrar até 90% da comunidade das aves florestais de determinada região (ANJOS, 2007; ESQUIVEL & PERIS, 2008). No presente estudo os três pontos de cada cota altitudinal foram visitados durante seis dias (preferencialmente não consecutivos) entre outubro de 2008 e fevereiro de 2010 em uma ordem pré-estabelecida para evitar que fossem

amostrados na mesma sequência. Essa medida tentou garantir o registro do maior número de espécies possível dentro do esforço amostral estipulado para este estudo.

Durante os deslocamentos entre pontos e entre altitudes, assim como algumas visitas aleatórias a determinados locais do gradiente, foi continuamente realizado o levantamento qualitativo da avifauna. Este método não levou em consideração a abundância das espécies e teve o intuito de registrar o maior número de espécies possível da região (VIELLIARD & SILVA, 1990).

### 1.2.3. Padronização do esforço amostral para a estimação da riqueza

Foram utilizados estimadores não paramétricos (Chao2 e Jack2) e curvas de acumulação de espécies para avaliar se a riqueza registrada caracterizou de forma fiel a diversidade de cada cota altitudinal. Embora a maioria dos pontos que sofreu estabilização da curva de acumulação de espécies tenha obtido valores estimados de riqueza relativamente consistentes em relação ao número de espécies observado, algumas das curvas de acumulação por pontos não atingiram assíntota (Figura 3). Por esse motivo, além da estimação da riqueza dos dados padronizados para o esforço amostral, foi utilizada a estatística de Michaelis-Menten (MMMean) para estimar o número de espécies de cada cota altitudinal com a padronização do número de indivíduos registrados (HERZOG *et al*., 2005).

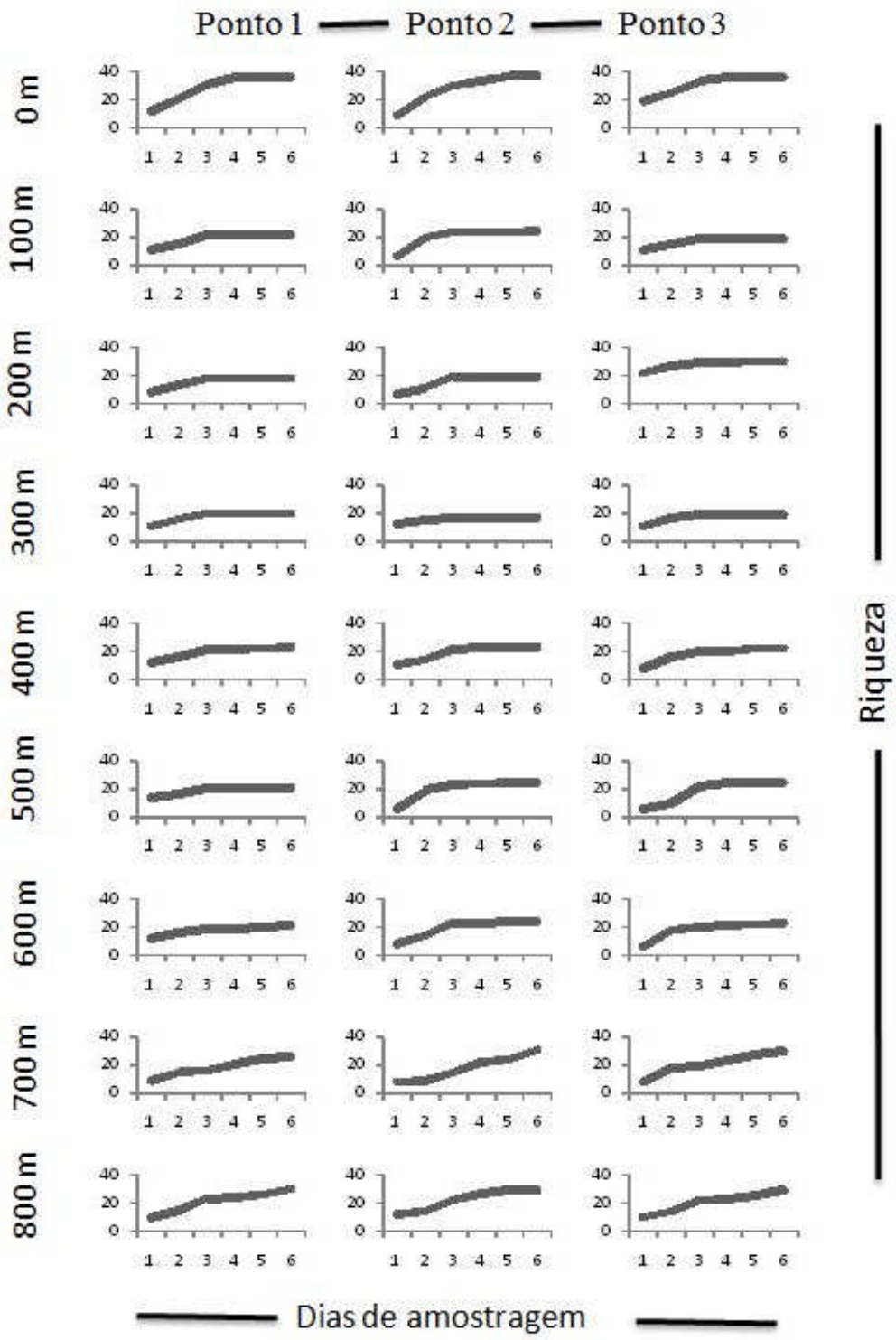



Figura 3: Curvas de acumulação de espécies de cada Ponto de Escuta e de cada cota altitudinal.

Segundo GOTELLI e COLWELL (2001) o eixo da abscissa de curvas de rarefação baseadas em amostras deveria ser redimensionado de número de amostras para número de indivíduos, pois conjuntos de dados podem diferir sistematicamente na abundância de indivíduos em cada amostra. Assim, o primeiro método (método 1) de padronização derivou da rarefação baseada em indivíduos. A ordem de acumulação dos indivíduos foi randomizada 50 vezes utilizando EstimateS 8.2 (COLWELL, 2009) e o número de espécies observado a cada 44 indivíduos (o menor valor total de indivíduos) foi considerado o valor limite para a padronização (HERZOG *et al*., 2005). No segundo método (método 2) foram determinados valores MMMean da riqueza estimada a cada 44 indivíduos das mesmas curvas de rarefação baseadas em indivíduos utilizando EstimateS 8.2 (HERZOG *et al*., 2005).

Como os padrões altitudinais obtidos para as duas aproximações foram altamente correlacionados (correlação de Spearman; $r^2$ = 0,95, P = 0,01) pode-se concluir que os dados de campo foram robustos o suficientes para as padronizações e que estas refletiram precisamente o padrão de riqueza capturado (HERZOG *et al*., 2005).

### 1.2.4. Variáveis

#### 1.2.4.1. Altitude

Representa o modelo de declínio monotônico da riqueza com o aumento do gradiente (Figura 4a; STEVENS, 1992). Para as regressões lineares e múltiplas foram utilizadas as altitudes obtidas com GPS Garmin eTrex H em cada um dos 27 pontos.

1.2.4.2. Área

A relação espécies-área (REA) postula que, à medida que a área da região amostrada aumenta, o número de espécies aumenta proporcionalmente (TERBORGH, 1973; ROSENZWEIG, 1992). Nas montanhas, a REA prevê que faixas altitudinais com maior área (base de uma montanha) devem abrigar mais espécies do que as faixas altitudinais com menor área (Figura 4b; RAHBEK, 1997; McCAIN, 2007a). Para essa análise foi utilizada a relação log(S) x log(A), onde S = número de espécies e A = área (RAHBEK, 1997), pois a relação espécies-área segue um padrão curvilinear.

A REA também prevê que uma relação positiva e significativa entre riqueza e área deve resultar numa grande mudança do padrão de distribuição altitudinal caso a riqueza seja padronizada proporcionalmente em relação à área (McCAIN, 2007a). Esse ajuste foi calculado através da fórmula S / log(A), onde S = número de espécies de dada cota, e A = área da cota em consideração. Isso é simplesmente uma correção da área que calcula a riqueza esperada em cada altitude se a área fosse considerada constante entre faixas altitudinais (VETAAS & GRYTNES, 2002). McCAIN (2009), no entanto, sugeriu que a remoção do efeito da área deva ser feita apenas após a análise de outras prováveis variáveis dependentes, já que concluiu que a área participou secundariamente na determinação dos padrões obtidos em sua meta análise global da diversidade de aves em gradientes altitudinais.

Para determinar a área de cada faixa altitudinal amostrada, a carta Salesópolis da base de Mapas Cartográficos do IBGE (1984) foi digitalizada e trabalhada no programa Ilwis 3.3 para Windows (ILWIS, 2005). A partir do Ponto de Escuta mais

central do gradiente (cota 400 m; 23°40’92”S, 45°53’26” W) foi determinado um raio de 5 km para o cálculo da área de todas as faixas altitudinais.

1.2.4.3. *Mid-domain effect* (MDE)

O MDE assume que barreiras espaciais (base e topo de uma montanha, por exemplo) causam mais sobreposições das amplitudes altitudinais das espécies em direção ao centro do gradiente, no qual a maioria das espécies com amplitudes grandes e médias devem se sobrepor ao mesmo tempo que tendem a evitar proximidade com os extremos do gradiente (Figura 4c; COLWELL *et al*., 2004). Os valores estimados de espécies foram comparados com a previsão desse modelo nulo com base em 50.000 simulações de Monte Carlo calculadas pelo programa Mid-Domain Null (McCAIN, 2004). Para isso foram feitas regressões lineares para obter o valor de $r^2$ que representa a porcentagem da variabilidade explicada pelo MDE. Desvios das previsões do modelo nulo sugerem a influência de fatores climáticos, históricos ou outros fatores importantes na determinação na distribuição das espécies (McCAIN, 2005).

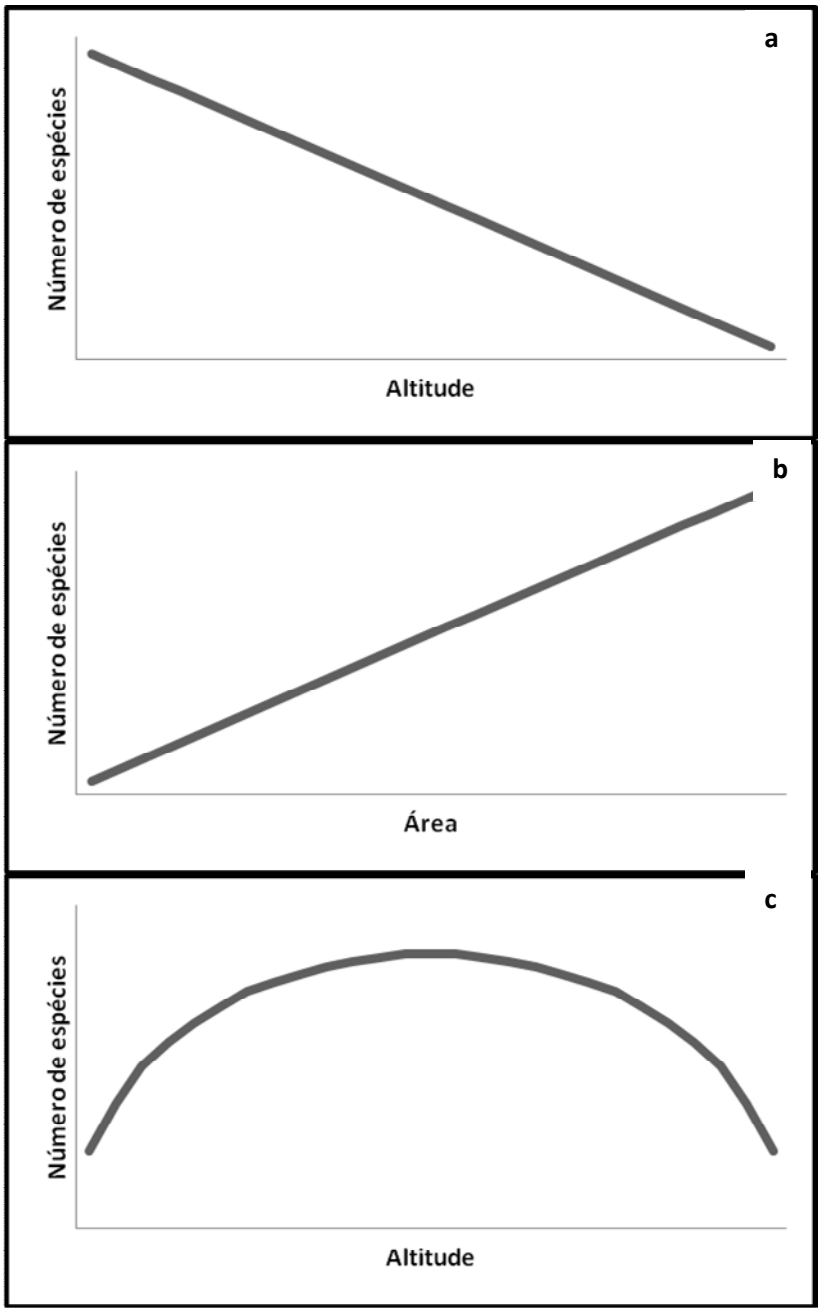



Figura 4: Curvas que representam as relações esperadas entre (a) riqueza e altitude, (b) riqueza e área e (c) MDE.

### 1.2.5. Análises

Para os cálculos da estimativa do número de espécies com padronização do esforço amostral pelo número de indivíduos através da estatística de Michaelis-Menten (RAAIJMAKERS, 1987; KEATIN & QUINN, 1998), assim como para a estimativa da riqueza (Chao 2 e Jack 2) e as curvas de acumulação de espécies, foi utilizado o programa EstimateS 8.2 (COLWELL, 2009). As regressões lineares e múltiplias e a correlação de Spearman foram realizadas no programa SPSS 13.0 para Windows (SPSS, 2004). Devido à proximidade espacial das faixas altitudinais, o procedimento adotado para evitar pseudo-replicação espacial pode ser controverso, já que a estimação das riquezas viola premissas de independência. Assim, as análises foram focadas na proporção da variância explicada ao invés dos valores de probabilidade (HERZOG *et al*., 2005).

## 1.3. RESULTADOS

### 1.3.1. Levantamento qualitativo

Durante todo o período em que foram realizadas as amostragens ao longo do gradiente, as espécies registradas durante o deslocamento entre Pontos de Escuta ou faixas altitudinais também foram anotadas em suas respectivas altitudes de registro. Dessa maneira, 304 espécies de aves, distribuídas em 61 famílias, puderam ser registradas durante mais de 136 horas de observações ao longo de todo o gradiente altitudinal Bertioga-Salesópolis analisado. Para cada espécie foi obtida a amplitude altitudinal por ela ocupada ao longo do gradiente de 800 m (Apêndice).

Como os três pontos de dada cota altitudinal foram visitados durante um dia e apenas novamente visitados nas manhãs seguintes, o tempo de deslocamento entre cotas não foi igualmente distribuído já que para acessar a cota 400 m, necessariamente foram acessadas as cotas 0, 100, 200 e 300 m, e assim por diante. Desse modo, o esforço amostral aproximado para cada faixa altitudinal variou conforme o tempo de deslocamento entre cotas (Tabela 1).

Tabela 1: Número total de espécies registradas e esforço amostral acumulado por cota altitudinal.

| **Cotas** | **Riqueza** | **Esforço (h)** |
|---|---|---|
| 0 | 55 | 33,75 |
| 100 | 36 | 24 |
| 200 | 42 | 16,5 |
| 300 | 36 | 10 |
| 400 | 42 | 3 |
| 500 | 41 | 3 |
| 600 | 38 | 10 |
| 700 | 45 | 15 |
| 800 | 54 | 21 |

O padrão de distribuição altitudinal obtido por esse levantamento revelou um formato em “U”, onde as maiores riquezas obtidas estiveram nos extremos do gradiente (Figura 5).

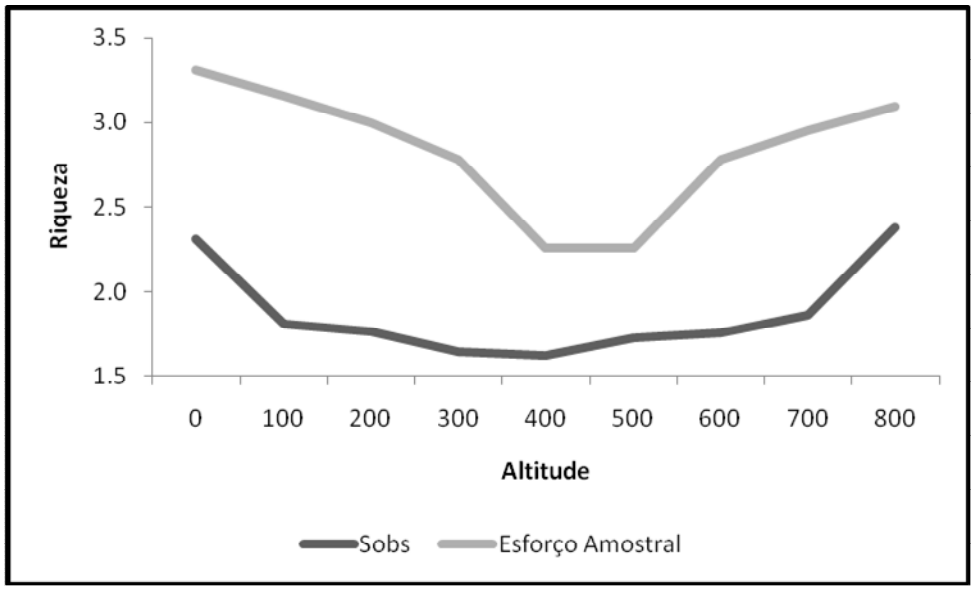



Figura 5: Curvas da distribuição altitudinal das espécies registradas durante o levantamento qualitativo (Sobs), e do esforço amostral (h) acumulado em cada cota altitudinal. Notar escala logarítmica no eixo das ordenadas.

1.3.2. Levantamento quantitativo

Durante 27 horas conduzidas em 162 Pontos de Escuta foram registradas 108 espécies de aves representando 35 famílias ao longo de todo o gradiente altitudinal. As maiores riquezas foram registradas nos extremos do gradiente, enquanto as menores riquezas foram obtidas nas altitudes intermediárias. O padrão de distribuição altitudinal obtido com a riqueza total registrada (Tabela 1) e também estimada (Figura 6) foi em formato de "U", com um pico de espécies nos extremos, e menor riqueza de espécies nas regiões intermediárias do gradiente.

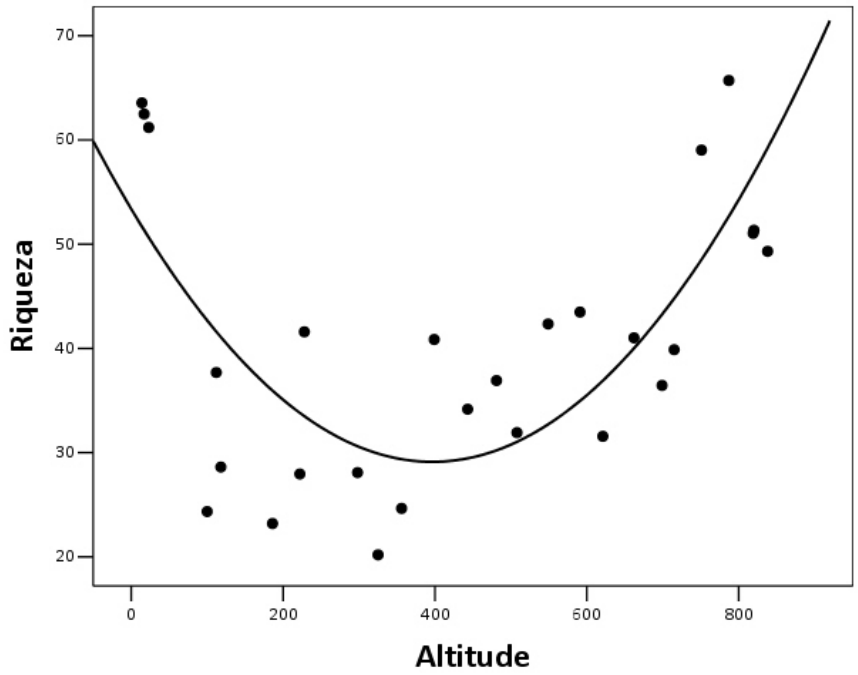



Figura 6: Curva que representa o padrão de distribuição altitudinal encontrado com base no número de espécies estimado de cada um dos 27 Pontos de Escuta ao longo do gradiente amostrado. Linha de tendência quadrática (PATTERSON *et al*., 1998).

1.3.2.1. Altitude

A altitude apresentou os menores valores de $r^2$ quando analisada individualmente com as riquezas estimadas (Tabela 2; Figura 7a).

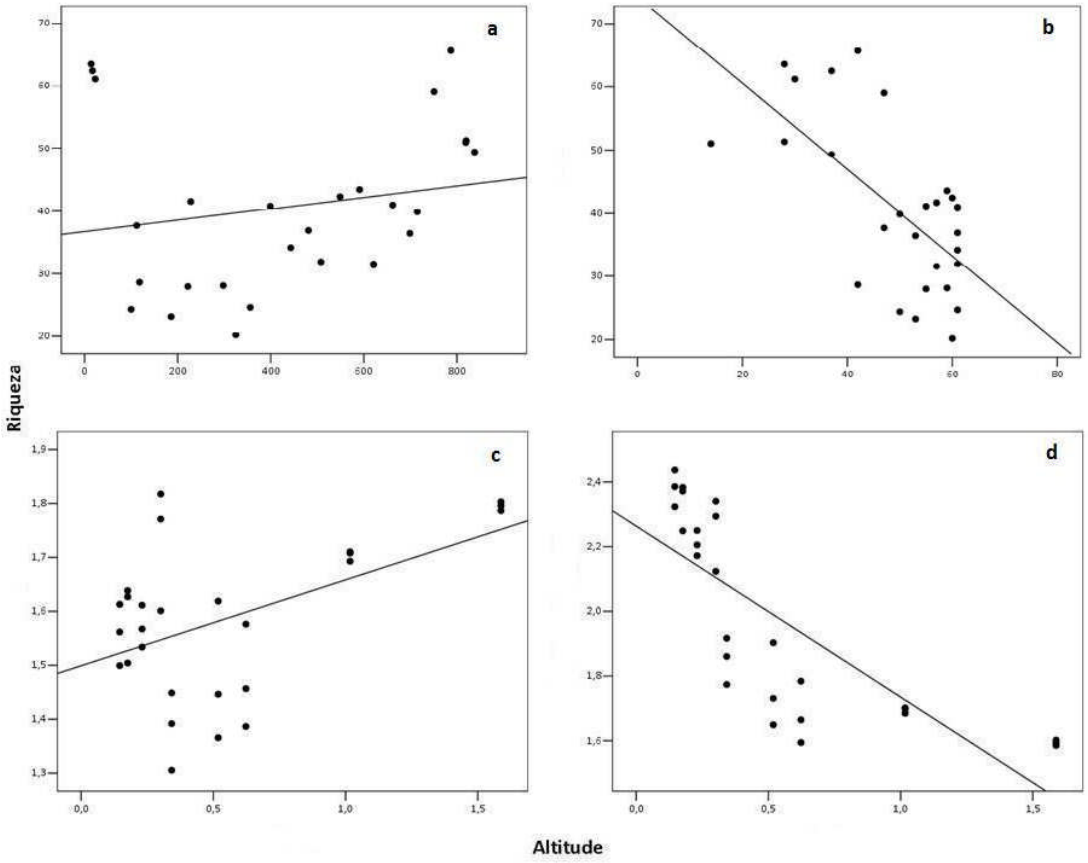



Figura 7: Regressões entre o padrão de riqueza empírico e os valores estimados pelas variáveis analisadas: (a) altitude, (b) MDE, (c) área e (d) riqueza controlada proporcionalmente para área. Notar que para as regressões entre riqueza e área foi utilizou-se relação logarítmica.

Tabela 2: Coeficientes lineares ($r^2$) entre a riqueza estimada (Sest) e padronizada para o número de indivíduos observados (Sobs) e estimados pelo método MMMean, e três variáveis explanatórias. As primeiras quatro linhas mostram os valores de regressões individuais e as quatro últimas linhas, as regressões múltiplas com combinações de variáveis.

| | Sest | Sobs após 44 indivíduos | Sest em curvas de indivíduos |
|---|---|---|---|
| Altitude (E) | 0,036 | 0,044 | 0,040 |
| Área (A) | 0,253 | 0,261 | 0,243 |
| Área* | 0,607 | 0,623 | 0,496 |
| MDE | 0,428 | 0,425 | 0,419 |
| E e A | 0,693 | 0,586 | 0,619 |
| E e MDE | 0,452 | 0,457 | 0,447 |
| A e MDE | 0,498 | 0,454 | 0,462 |
| E, A e MDE | 0,695 | 0,602 | 0,627 |

* indica valores de riqueza controlados proporcionalmente à área de cada cota altitudinal.

1.3.2.2. Área

Os valores de $r^2$ entre área e riquezas estimadas foram superiores aos valores de $r^2$ das outras variáveis analisadas, porém ainda assim muito baixos (Tabela 2). A área de cada cota altitudinal pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3: Área de cada cota altitudinal do gradiente Bertioga-Salesópolis amostrado.

| **Altitude** | **Área ($km^2$)** |
|---|---|
| 1 a 100 | 38,7 |
| 101 a 200 | 4,2 |
| 201 a 300 | 3,3 |
| 301 a 400 | 2,2 |
| 401 a 500 | 1,7 |
| 501 a 600 | 1,5 |
| 601 a 700 | 1,4 |
| 701 a 800 | 2,0 |
| 801 a 900 | 10,4 |

1.3.1.3. *Mid-domain effect* (MDE)

A riqueza estimada pelo modelo nulo com base em 50.000 simulações de Monte Carlo obteve valores explanatórios relativamente altos após as regressões com as riquezas estimadas de cada cota altitudinal em relação às outras variáveis (Tabela 2; Figura 7b). As curvas dos intervalos de 95% da estimação da riqueza demonstraram diversos desvios das previsões do modelo, especialmente nas regiões intermediárias do gradiente, entre 400 e 600 m (Figura 8).

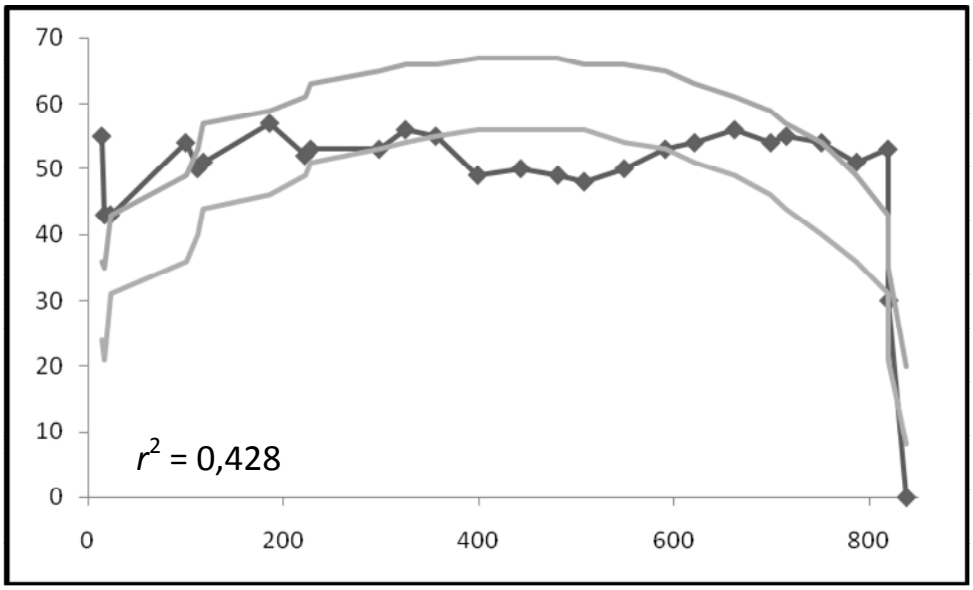



Figura 8: Curva do número de espécies observado (linhas com pontos) e curvas dos intervalos de 95% da estimação da riqueza calculada sem substituição (*without replacement*) pelo programa Mid-Domain Null (50.000 simulações de Monte Carlo).

Ao analisar a congruência entre os dados empíricos e os modelos utilizados para a padronização do número de indivíduos (Tabela 2), o MDE foi a variável individual que mais explicou a distribuição altitudinal observada, variando de 41,9 a 42,8%. Dentre as combinações de variáveis, altitude, área e MDE foram os modelos mais prováveis pelo padrão encontrado, explicando de 60,2 a 69,5% da variabilidade encontrada.

Devido aos valores de $r^2$ obtidos terem sido relativamente baixos, os valores da riqueza foram ajustados proporcionalmente à área de cada cota altitudinal, o que não apenas aumentou significativamente o poder explanatório da área, como houve uma mudança do padrão altitudinal antes encontrado (Figura 7c,d). Determinou-se um padrão unimodal da curva espécies-altitude, com maior número de espécies na região

intermediária do gradiente (Figura 9). A área, após o controle para riqueza, passou a ser a variável individual mais provável pela distribuição altitudinal observada, explicando de 49,6 a 62,3% (Tabela 3).

Análises prévias sugeriram que o MDE poderia ser modificado pela relação espécies-área (McCAIN, 2005), significando que erros dos valores de $r^2$ do MDE eram causados por diferenças na área. Ao padronizar a riqueza proporcionalmente à área de cada cota altitudinal é esperado que o valor de $r^2$ da regressão entre a riqueza controlada e a prevista pelo MDE seja aumentado significativamente. Nessas condições foi obtido $r^2$ = 0,231 para os dados aqui apresentados, valor inferior aos $r^2$ obtidos com as riquezas estimadas e padronizadas pelos métodos 1 e 2.

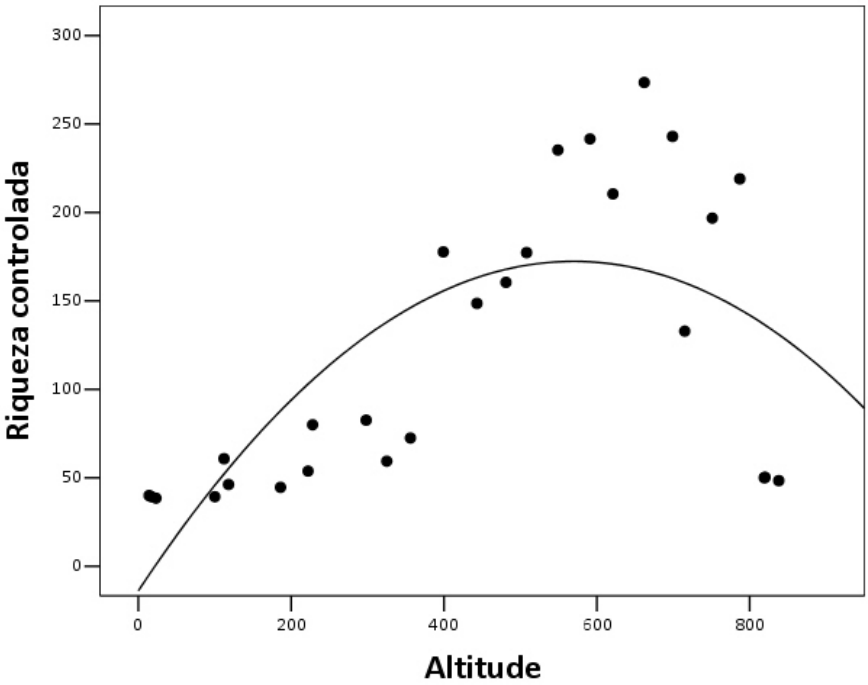



Figura 9: Padrão unimodal resultante do controle do número de espécies proporcionalmente à área de cada cota altitudinal. Linha de tendência quadrática (PATTERSON *et al*., 1998).

## 1.4. DISCUSSÃO

As análises aqui realizadas demonstraram que a distribuição das espécies apresentou um padrão até então não relatado para aves, em forma de "U". Amostragens incompletas nas altitudes intermediárias (devido às encostas íngremes e consequente dificuldade logística) podem reduzir a riqueza de assembléias nessas altitudes por não incluírem as amplitudes altitudinais completas das espécies em consideração (PATTERSON *et al*., 1998). Esse não foi o caso deste estudo, já que o esforço amostral foi padronizado para todas as cotas altitudinais. No entanto, ao padronizar a riqueza para a área, um novo padrão emergiu, unimodal, com um pico da riqueza ao redor dos 700 m.

Enquanto a área apresentou considerável influência na distribuição altitudinal das espécies, a influência do MDE (restrição espacial) nesse novo cenário foi considerada baixa. Desse modo, qual seria a explicação da riqueza ser unimodal e ter sido posicionada 300 m acima do ponto intermediário do gradiente altitudinal analisado?

### 1.4.1. Levantamento qualitativo

É tentador assumir que o padrão riqueza-altitude obtido tenha sido o reflexo da ausência de padronização amostral (tempo de deslocamento) do levantamento qualitativo, principalmente devido à forte correlação encontrada entre ambos (Spearman, $r^2$ = 0,840, P = 0,01). No entanto, esta afirmação não é totalmente

verdadeira, pois, como visto acima, o esforço amostral controlado do levantamento quantitativo também obteve o mesmo padrão.

Para evitar análises passíveis de reveses quanto à padronização, apenas os dados quantitativos foram analisados neste capítulo, sendo os dados qualitativos utilizados para caracterizar as amplitudes altitudinais obtidas para cada espécie ao longo do gradiente amostrado (Apêndice).

### 1.4.2. Levantamento quantitativo

A região da Mata Atlântica amostrada abriga muitas espécies que poderiam ser registradas nas encostas mas que não foram detectadas. Embora aparentemente a metodologia dos Pontos de Escuta tenha limitado o registro das aves às mesmas espécies na maioria das cotas, este fato parece ter sido uma grande vantagem na escolha da metodologia. Como a metodologia assume que determinada espécie possui a mesma conspicuidade e, portanto, a mesma chance de ser registrada em ambientes distintos, a probabilidade de seu registro com o uso dos Pontos de Escuta foi muito alto em todas as cotas. Assim, se presentes em dada faixa altitudinal, as espécies devem ter sido registradas.

As primeiras investigações consideraram que todos os padrões de riqueza de aves diminuíam com o aumento da altitude (TERBORGH, 1977; BROWN & GIBSON, 1983; ROHDE, 1992; STEVENS, 1992). RAHBEK (1997) desmitificou este pressuposto, demonstrando que muitos gradientes altitudinais possuem picos intermediários na

diversidade[2] desde que o efeito da área fosse controlado. A meta análise global da distribuição altitudinal de aves de McCAIN (2009) demonstrou conclusivamente usando todos os conjuntos de dados disponíveis e bem amostrados que nem o declínio monotônico nem o pico intermediário unimodal são os únicos padrões predominantes em montanhas.

A autora determinou quatro padrões principais de distribuição: (1) decrescente, com maior riqueza de espécies nas menores altitudes, (2) decrescente com platô nas menores altitudes, (3) decrescente com platô e pico intermediário da riqueza e (4) intermediário, com as menores riquezas nas altitudes extremas e um maior número de espécies na região intermediária do gradiente altitudinal. No presente estudo, um padrão em "U" foi encontrado, demonstrando que, apesar de décadas de pesquisas ecológicas, gradientes altitudinais ainda não são bem entendidos e outros padrões inesperados poder ser descobertos (HERZOG *et al*., 2005).

#### 1.4.2.1. Altitude

Diferente dos primeiros estudos que obtiveram um padrão de declínio monotônico da riqueza com o aumento do gradiente altitudinal (KIKKAWA & WILLIAMS, 1971; TERBORGH, 1971; STEVENS, 1992), o presente estudo indicou maior número de espécies nas menores e maiores altitudes. Este padrão ainda não tinha sido mencionado para a distribuição altitudinal das aves (McCAIN, 2009). Na verdade, dentre os estudos sobre distribuição altitudinal de uma grande gama de organismos,

[2] Por vezes o termo "diversidade" é utilizado ao longo da discussão e, neste capítulo, representa um sinônimo do termo "riqueza" (número de espécies) com o simples intuito de evitar repetições excessivas deste último vocábulo.

apenas um deles descreveu esse padrão para roedores nos Andes peruanos (PATTERSON *et al*., 1998).

Embora aqui a altitude não tenha desempenhado um papel fundamental, HERZOG *et al*. (2005) obtiveram esta variável, dentre área, MDE e comunidade regional de aves, como a principal responsável pela distribuição altitudinal das aves florestais no Andes bolivianos.

Mesmo após o controle da riqueza para a área, a curva da diversidade das aves não obteve relação alguma com a altitude, já que o novo padrão obtido foi uma curva unimodal. Esse fato, aliado aos valores extremamente baixos de $r^2$ das regressões entre riqueza e altitude, descartou a influência desta variável na distribuição altitudinal das aves do gradiente analisado.

1.4.2.2. Área

Houve pouca influência dessa variável na distribuição altitudinal das aves. Como a área da cota 800 m é bastante superior às demais cotas, com exceção da faixa que representa a mata de baixada, a 0 m, o gradiente analisado demonstrou não ser piramidal, como geralmente ocorre em montanhas. Ao re-analisar o mesmo conjunto de dados, dessa vez com os valores da riqueza controlados proporcionalmente para os valores das áreas das respectivas cotas altitudinais, outro cenário emergiu, sugerindo um declínio da riqueza com a diminuição da área e um pico do número de espécies ao redor do meio do gradiente. Esse novo padrão foi o resultado que McCAIN (2007a) encontrou para todas as análises que fez com pequenos mamíferos não voadores (PMNV) e com morcegos (McCAIN, 2007b) em diversos estudos ao redor do mundo.

Mais de 70% dos estudos mostraram uma relação significativa entre a riqueza de aves e a área (valor médio de $r^2$ = 0,634), e 75% dos estudos revelaram alterações substanciais no padrão da diversidade altitudinal com correções de área (McCAIN, 2009). Para PMNV e morcegos, aproximadamente metade da variabilidade foi explicada por essa variável (McCAIN, 2007a).

Como encontrado no presente estudo, RAHBEK (1997) e KATTAN e FRANCO (2004) reportaram uma significativa influência (entre 60 e 93%) da área de cada cota altitudinal no padrão de distribuição altitudinal das aves na América do Sul e nos Andes colombianos, respectivamente. A área também influenciou a distribuição de mamíferos não voadores (RICKHART, 2001) e formigas (SANDERS, 2001) na América do Norte. No caso de Bertioga e Salesópolis a área foi um fator crucial na determinação do padrão altitudinal, o unimodal.

Área e altitude foram descartadas como determinantes da riqueza de PMNV nas Filipinas (HEANEY, 2001), e área, embora tenha influenciado a distribuição altitudinal, não foi responsável pelo padrão global para PMNV e morcegos (McCAIN, 2007a,b). Da mesma maneira, área obteve a menor influência na distribuição das aves depois de temperatura e MDE (McCAIN, 2009).

Área e restrição espacial (MDE) parecem influenciar padrões de riqueza, mas a variabilidade alta e baixo poder explanatório na tendência espacial ao longo de múltiplos gradientes demonstram que, nem sozinhas e nem combinadas, podem ser a força principal (HAWKINS & PORTER, 2001; RAHBEK & GRAVES, 2001; WILLIG & BLOCH, 2006). Assim, área é um fator rejeitado como principal influência, mas tida como uma variável que deve ser considerada na decomposição de fontes de erro em análises

multivariadas (McCAIN, 2007a). Apesar dessas discordâncias, os resultados demonstram uma grande influência da área no presente estudo, responsável pela caracterização unimodal da curva espécies-altitude.

1.4.2.3. *Mid-domain effect* (MDE)

A restrição espacial à qual as espécies do gradiente analisado estão limitadas não foi responsável pelo padrão de distribuição altitudinal. O padrão encontrado foi exatamente o inverso do previsto pelo modelo do MDE e assim como muitos autores também encontraram, a previsão do MDE não coincidiu com o padrão empírico (BOKMA & MÖNKKÖNEN, 2000; KOLEFF & GASTON, 2001; BOKMA *et al*., 2001; DINIZ-FILHO *et al*., 2002; HAWKINS & DINIZ-FILHO, 2002; ZAPATA *et al*., 2003).

O único estudo que testou o MDE na Mata Atlântica (ALMEIDA-NETO *et al*., 2006) foi conduzido sobre opiliões em três montanhas distintas na região de Ubatuba, SP. Em todas elas determinou-se um platô de riqueza máxima nas menores altitudes antes do declínio do número de espécies com o aumento do gradiente altitudinal. Apesar do descarte do MDE, os autores não retiraram o efeito da área de seus dados.

O $r^2$ resultante das regressões entre riquezas empíricas e estimadas pelo MDE foi inferior a 50%, o que diminuiu a generalidade do modelo como a principal explicação para a diversidade. Para aves (McCAIN, 2009), o valor médio de $r^2$ foi de 0,192; para PMNV esse valor foi de 0,238 (McCAIN, 2007a). Como o valor de $r^2$ obtido com a riqueza padronizada para a área foi ainda menor que aquele obtido sem a padronização, a influência do MDE no gradiente Bertioga-Salesópolis pareceu não ser determinante, como também concluiu McCAIN (2007a) para PMNV, morcegos (McCAIN, 2007b) e aves (McCAIN, 2009). Caso o MDE fosse responsável pelo padrão

altitudinal encontrado, o resultado dessas comparações deveria ser robusto para os diversos grupos taxonômicos (RAHBEK, 2005, DUNN *et al*., 2007).

O padrão unimodal e a diversidade máxima desviada para altitudes maiores também foi um padrão comum encontrado para PMNV (McCAIN, 2005). O pico máximo de riqueza desviado para altitudes mais altas indica que fatores climáticos podem ser responsáveis pela determinação da diversidade (McCAIN, 2005), sugerindo que o MDE pode ser influenciado por fatores adversos como o clima. Há evidências de que a produtividade primária máxima ocorra poucos metros abaixo da camada permanente de nuvens no topo da montanha (GOODMAN *et al*., 1999; HEANEY, 2001; YU, 1994; Md. NOR, 2001; McCAIN, 2004). Além disso, os valores baixos de $r^2$ das previsões do MDE ao longo de gradientes altitudinais mostram que a diversidade responde a fatores biológicos e não ao espaço (McCAIN, 2007a).

Alguns autores argumentam que a produtividade pode ser maior nas altitudes intermediárias como consequência de chuvas mais freqüentes e não sazonais (RAHBEK, 1995, 1997) e da maior queda de folhas em florestas montanas (LEIGH, 1975), por exemplo. Embora algumas observações possam parecer anedóticas, muitos grupos de vegetais em diversas regiões do mundo também possuem diversidade máxima em regiões intermediárias do gradiente, como orquídeas (PARRIS *et al*., 1992), samambaias e gimnospermas (TRYON, 1989; BEAMAN & BEAMAN, 1993; WOOD *et al*., 1993), espécies arbóreas (HEANEY; PROCTOR, 1990; KITAYAMA, 1992; VETAAS & GRYTNES, 2002) e briófitas (GRADSTEIN & POCS, 1989).

Para BROWN (2001) o pico intermediário de mamíferos pode ser explicado por fenômenos ecológicos: primeiro, a sobreposição das amplitudes altitudinais das

espécies que se substituem em altitudes distintas, e segundo, se há realmente um pico de precipitação e produtividade no meio do gradiente e se locais com maior produtividade podem suportar um maior número de espécies coexistindo, então a riqueza máxima intermediária pode ocorrer.

Embora o MDE tenha sido fortemente suportado em meta análises, a previsão deste modelo nulo não foi o fator principal da distribuição altitudinal das aves em uma escala global, já que outras variáveis não espaciais, como temperatura e disponibilidade de água, forneceram ainda mais suporte para os padrões altitudinais encontrados (McCAIN, 2009). A disponibilidade de água e temperatura agiram fundamentalmente na distribuição altitudinal de morcegos em diversas regiões do planeta (McCAIN, 2007b), e a distribuição de roedores e morcegos em duas montanhas do México esteve relacionada à produtividade primária e pluviosidade (SÁNCHEZ-CORDERO, 2001). Do mesmo modo, Md. NOR (2001) encontrou um padrão unimodal para a vegetação e para mamíferos em Borneo, concluindo que umidade relativa e precipitação apresentavam um pico no meio do gradiente.

Os fatores determinantes da distribuição da riqueza ao longo de gradiente altitudinais variam de maneira imprevisível. Há evidências que suportam o efeito de restrição espacial nos picos intermediários de riqueza, porém muitos outros fatores, tais quais eventos históricos e interações biológicas não puderam ser avaliados com os dados presentes embora possam ser importantes em sua determinação (McCAIN, 2004). A rejeição do espaço como o principal responsável pela diversidade deixa os fatores climáticos como os mais prováveis por essa distribuição (McCAIN, 2007a). A distribuição das espécies animais deve seguir padrões determinados pela vegetação,

cuja fisiologia depende da disponibilidade de água e temperatura. Desse modo seria fundamental atrelar o estudo da distribuição das espécies animais com efeitos diretos (limitações fisiológicas) e indiretos (recursos alimentares) de água e temperatura para determinar sua diversidade (McCAIN, 2007b, 2009).

No gradiente altitudinal analisado, a área foi a variável que mais explicou a variabilidade encontrada na diversidade de aves ao longo da Serra do Mar do Estado de São Paulo. O modelo nulo do MDE não respondeu fortemente pela variação e a altitude foi considerada não atuante no padrão de distribuição altitudinal das aves. Embora em escalas globais e continentais a área tenha sido descartada como um fator que influencie a distribuição altitudinal de diversos organismos, o presente estudo encontrou esta variável como a mais importante e sugere que deva ser considerada em futuros estudos sobre distribuições altitudinais de organismos na Serra do Mar. O baixo suporte das variáveis espaciais analisadas sugere que outros fatores estejam envolvidos na determinação da distribuição altitudinal das aves e sugere-se que futuros estudos abordem o tema levando em consideração variáveis abióticas, como temperatura e disponibilidade de água, fatores que influenciam a distribuição da vegetação e, consequentemente, da fauna envolvida. A ausência de réplicas latitudinais não permite a extensão dessas conclusões para a cadeia montanhosa da Serra do Mar.

## 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, L. A eficiência do método de amostragem por pontos de escuta na avaliação da riqueza de aves. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 2, p. 239-243, 2007.

BEAMAN, J. H.; BEAMN, R. S. The gymnosperms of Mount Kinabalu. **Contributions from the University of Michigan Herbarium**, v. 19, p. 307-340, 1993.

BEGON, M.; HARPER, J. L.; TONWSEND, C. R. Ecology: individuals, population and communities. 2 ed. Boston: Blackwell, 1990. 945 p.

BIBBY, C. J.; BURGESS, N. D.; HILL, D. A.; MUSTOE, H. **Bird census techniques**. 2 ed. Londres: Academic Press, 2000. 299p.

BOKMA, F.; MÖNKKÖNEN, M. The mid-domain effect and the longitudinal dimension of continents. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 7, p. 288-289, 2000.

BOKMA, F.; BOKMA, J.; MÖNKKÖNEN, M. Radom processes and geographic species richness patterns: why so few species in the north. **Ecography**, v. 24, n. 1, p. 43-49, 2001.

BROWN, J. H. Mammals on mountainsides: elevational patterns of diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 101-109, 2001.

BROWN, J. H.; GIBSON, J. C. **Biogeography**. 1 ed. Saint Louis: Mosby, 1983. 643 p.

COLWELL, R. K. **EstimateS**: statistical estimation of species richness and shared species from samples. 2009. Versão 8.2. Disponível em: <http://viceroy.eeb.uconn.edu>. Acesso em: 8 jan. 2010.

COLWELL, R. K.; CODDINGTON, J. A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London B Biological Sciences**, v. 345, n. 1311, p. 101-118, 1994.

COLWELL, R. K.; HURTT, G. C. Non biological gradients in species richness and a spurious Rapoport's effect. **The American Naturalist**, v. 144, n. 4, p. 570-595, 1994.

COLWELL, R. K.; LEES, D. C. The mid-domain effect: geometric constraints on the geography of species richness. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 70-76, 2000.

COLWELL, R. K.; RAHBEK, C.; GOTELLI, N. J. The mid-domain effect and species richness patterns: what have we learned so far? **The American Naturalist**, v. 163, n. 3, p. E1-E23, 2004.

DARWIN, C. Journal of the researches into the geology and natural history of various countries visited by the H.M.S. Beagle, under the command of captain Fitzroy, R.N. from 1832 to 1836. 1 ed. Londres: Henry Colburn, 1839. 615 p.

DARWIN, C. On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life. 1 ed. Londres: John Murray, 1859. 502 p.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; SANT'ANA, C. E. R.; SOUZA, M. C.; RANGEL, T. F. L. V. B. Null models and spatial patterns of species richness in South American birds of prey. **Ecology Letters**, v. 5, n. 1, p. 47-55, 2002.

DOBZHANSKY, T. Evolution in the tropics. **American Scientist**, v. 38, n. 2, p. 209-221, 1950.

DUNN, R. R.; McCAIN, C. M.; SANDERS, N. J. When does diversity fit null model predictions? Scale and range size mediate the mid-domain effect. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 3, p. 305-312, 2007.

ESQUIVEL M., A.; PERIS, S. Influence of time of day, duration and number of counts in Point Count sampling of birds in an Atlantic forest of Paraguay. **Ornitologia Neotropical**, v. 19, n. 2, p. 229-242, 2008.

GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters,** v. 4, n. 4, p. 379-391, 2001.

GOODMAN, S. M.; CARLETON, M. D.; PIDGEON, M. Rodents of the Reserve Naturelle Intégrale d'Andohahela, Madagasgar. **Fieldiana Zoologia (New Series)**, v. 94, p. 217-249, 1999.

GRADSTEIN, S. J.; POCS, T. Bryophites. In: LIETH, H.; WERGER, M. J. A. (eds.) **Tropical rainforest Ecosystems**: biogeographical and ecological studies. Ecosystems of the world. 1 ed. Amsterdã: Elsevier, 1989. v. 14B, p. 311-235.

HAWKINS, B. A.; DINIZ-FILHO, J. A. F The mid-domain effect cannot explain the diversity gradient of Nearctic birds. **Global Ecology and Biogeography**, v. 11, n. 5, p. 419-426, 2002.

HAWKINS, B. A.; PORTER, E. E. Area and the latitudinal diversity gradient for terrestrial birds. **Ecology Letters**, v. 4, v. 6, p. 595-601, 2001.

HEANEY, L. R. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 15-39, 2001.

HEANEY, A.; PROCTOR, J. Preliminary notes on forest structure and floristics on Volcan Barva, Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, v. 6, n. 3, p. 307-320, 1990.

HERZOG, S. K.; KESSLER, M.; BACH, K. The elevational gradient in Andean bird species richness at the local scale: a foothill peak and a high-elevation plateau. **Ecography**, v. 28, n. 2, p. 209-222, 2005.

von HUMBOLDT, A. **Aspects of nature in different lands and different climates, with scientific elucidations**. Translated by Mrs. Sabine. 1 ed. Londres: Longman, Brown, Green, and Longman, 1849. 475 p. 2 volumes.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartografia**. Disponível: em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/>. Acesso em 16 ago. 2009. 1984.

Ilwis – **Integrated Land and Water Information System**. Versão 3.3. Enschede: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observations, 2005. Windows XP.

JETZ, W.; RAHBEK, C. Geometric constraints explain much of the species richness pattern in African birds. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 10, p. 5661-5666, 2001.

KATTAN, G. H.; FRANCO, P. Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: area and mass effects. **Global Ecology and Biogeography**, v. 13, n. 5, p. 451-458, 2004.

KEATIN, K. A.; QUINN, J. F. Estimating species richness: the Michaelis-Menten model revisited**. Oikos**, v. 81, n. 2, p. 411-416, 1998.

KESSLER, M. Elevational gradients in species richness and endemism of selected plant groups in the central Bolivian Andes. **Plant Ecology**, v. 149, n. 2, p. 181-193, 2000.

KESSLER, M. Patterns of diversity and range size of selected plant groups along an elevational transect in the Bolivian Andes. **Biodiversity and Conservation**, v. 10, n. 11, p. 1897-1921, 2001.

KIKKAWA, J.; WILLIAMS, E. E. Altitude distribution of land birds in New Guinea. **Search**, v. 2, p. 64-65, 1971.

KITAYAMA, K. An altitudinal transect study of the vegetation on Mount Kinabalu, Borneo. **Vegetatio**, v. 102, n. 2, p. 149-171, 1992.

KOLEFF, P.; GASTON, K. J. Latitudinal gradients in diversity: real patterns and random models. **Ecography**, v. 24, n. 3, p. 341-351, 2001.

LEIGH JR, E. G. Structure and climate in tropical rain Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 6, p. 67-86, 1975.

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Tropical forest structure and composition in a large scale gradient in Costa Rica. **The Journal of Ecology**, v. 84, n. 2, p. 137-152, 1996.

LOMOLINO, M. V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 3-13, 2001.

MAIA, V. C.; MAGENTA, M. A. G.; MARTINS, S. E. Ocorrência e caracterização de gálias de insetos em áreas de restinga de Bertioga, São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 1, p. 167-197, 2008.

MARTINS, S. E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P. S. P.; MAGENTA, M. A. G. Caracterização florística de comunidades vegetais de restinga em Bertioga, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 249-274, 2008.

McCAIN, C. M. North American desert rodents: a test of the mid-domain effect in species richness. **Journal of Mammalogy**, v. 84, n. 3, p. 967-980, 2003.

McCAIN, C. M. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 1. p. 19-31, 2004.

McCAIN, C. M. Elevational gradients in diversity of small mammals. **Ecology**, v. 86, n. 2, p. 366-372, 2005.

McCAIN, C. M. Area and mammalian elevational diversity. **Ecology,** v. 88, n. 1, p.76-86, 2007a.

McCAIN, C. M. Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2007b.

McCAIN, C. M. Global analysis of bird elevational diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, n. 3, p. 346-360, 2009.

Md. NOR, S. Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. **Global Ecology and Biogeography**, v. 10, n. 1, p. 41-62, 2001.

MERRIAM, C. H. Results of a biological survey of the San Francisco Mountain region and the desert of the Little Colorado, Arizona. **North American Fauna**, v. 3, p. 1-136, 1890.

MYERS, A. A.; GILLER, P. S. **Analytical Biogeography**. 1 ed. Londres: Chapman & Hall, 1988. 578 p.

NASCIMENTO, C. M.; PEREIRA, M. A. M. G. Atlas climatológico do Estado de São Paulo: 1977-1986. 1 ed. Campinas: Fund Cargill, 1988. 93 p.

PARRIS, B. S.; BEAMN, R. S.; BEAMAN, J. H. **The plants of Mount Kinabalu, 1. Ferns and ferns allies**. 1 ed. Kew: Royal Botanical Garden, 1992. 173 p.

PATTERSON, B. D., STOTZ, D. F., SOLARI, S., FITZPATRICK, J. W.,; PACHECO, V. Contrasting patterns of elevational zonation for birds and mammals in the Andes of southeastern Peru. **Journal of Biogeography**, v. 25, n. 3, p. 593-607, 1998.

PEARSON, O. P.; RALPH, C. P. The diversity and abundance of vertebrates along an altitudinal gradient in Peru. **Memorias del Museo de Historia Natural "Javier Prado"**,v. 18, p. 1-97, 1978.

PIANKA, E. R. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. **The American Naturalist**, v. 100, n. 910, p. 33-46, 1966.

RAAIJMAKERS, J. G. W. Statistical analysis of the Michaelis-Menten equation. **Biometrics**, v. 43, n. 3, p. 793-803, 1987.

RAHBEK, C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? **Ecography**, v. 18, n. 2, p. 200-205, 1995.

RAHBEK, C. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. **The American Naturalist**, v. 149, n. 5, p. 875-902, 1997.

RAHBEK, C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species richness patterns. **Ecology Letters**, v. 8, n. 2, p. 224-239, 2005.

ROHDE, K. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. **Oikos**, v. 65, n. 3, p. 514-527, 1992.

ROSENZWEIG, M. L. Species diversity gradients: we know more or less than we thought. **Journal of Mammalogy**, v. 73, n. 4, p. 715-730, 1992.

SANDERS, N. J. Elevational gradients in ant species richness: area, geometry and Rappoport's rule. **Ecography**, v. 25, n. 1, p. 25-32, 2002.

SPSS – Statistical Package for Social Sciences. Versão 13.0. Chicago: SPSS Inc., 2004. Windows XP.

STEVENS, G. C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. **The American Naturalist**, v. 140, n. 6, p. 893-911, 1992.

STOTZ, D. F. Endemism and species turnover with elevation in montane avifaunas in the neotropics: implications for conservation. In: MACE, G. M.; BALMFORD, A.; GINSBERG, J. R (Orgs.) **Conservation in a changing world**. 1 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p. 161-180.

STOTZ, D. F.; FITZPATRIK, J. W.; PARKER, T. A.; MOSKOVITS, D. K. **Neotropical birds**: ecology and conservation. 1 ed. Chicago: University of Chicago Press, 1996. 481p.

TERBORGH, J. On the notion of favorableness in plant ecology. **The American Naturalist**, n. 107, n. 956, p. 481-501, 1973.

TERBORGH, J. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the Cordillera Vilcabamba, Peru. **Ecology**, v. 52, n. 1, p. 23-40, 1971.

TERBORGH, J. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. **Ecology**, v. 58, n. 5, p. 1007-1019, 1977.

TRYON, R. Pterydophytes. In: LIETH, H.; WERGER, M. J. A. (eds.) **Tropical rainforest Ecosystems**. Biogeographical and ecological studies. Ecosystems of the world. 1 ed. Amsterdã: Elsevier, 1989. v. 14B, p. 327-328.

VETAAS, O. R; GRYTNES, J. A. Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation gradient in Nepal. Global Ecology and Biogeography, v. 11, n. 4, p. 291-301, 2002.

VIELLIARD, J. M. E.; SILVA, W. R. Nova metodologia de levantamento quantitativo e primeiros resultados no interior do Estado de São Paulo. **Anais do IV Encontro Nacional dos Anilhadores de Aves**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1990. p. 117-151.

WALLACE, A. R. **The geographical distribution of animals**. 1 ed. Londres: Macmillan, 1876. 2 volumes.

WALLACE, A. R. **Tropical nature and other essays**. 1 ed. Londres: Macmillan, 1878. 356 p.

WARMING, J. E. B. Oecology of plants: an introduction to the study of plant communities. Oxford: Clarendon Press, 1909. 422 p.

WILLIG, M. R.; BLOCH, C. P. Latitudinal gradients of species richness: a test of the geographic area hypothesis at two ecological scales. **Oikos**, v. 112, v. 1, p. 163-173, 2006.

WILLIG, M. R.; LYONS, S. K. An analytical model of latitudinal gradients of species richness with an empirical tests for marsupials and bats in the New Wolrd. **Oikos**, v. 81, v. 1, p. 81-88, 1998.

WOOD, J. J.; BEAMN, R. S.; BEAMAN, J. H. **The plants of Mount Kinabalu, 2. Orchids.** 1 ed. Kew: Royal Botanical Garden, 1993. 411 p.

YU, H. Distribution and abundance of small mammals along a subtropical elevational gradient in central Taiwan. Journal of Zoology, London, v. 234, n. 4, p. 577-600, 1994.

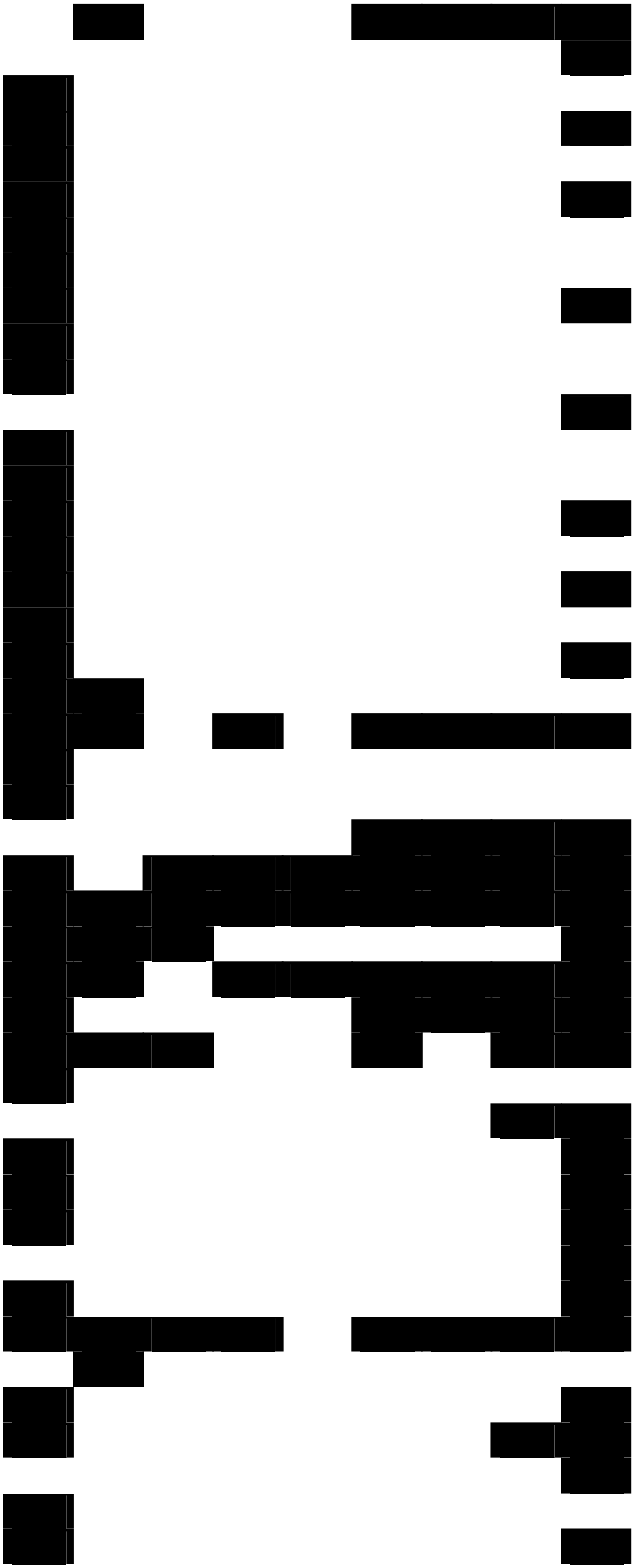
ZAPATA, F. A.; GASTON, K. J.; CHOWN, S. L. Mid-domain models of species richness gradients: assumptions, methods and evidence. **Journal of Animal Ecology**, v. 72, n. 4, p. 677-690, 2003.

APÊNDICE

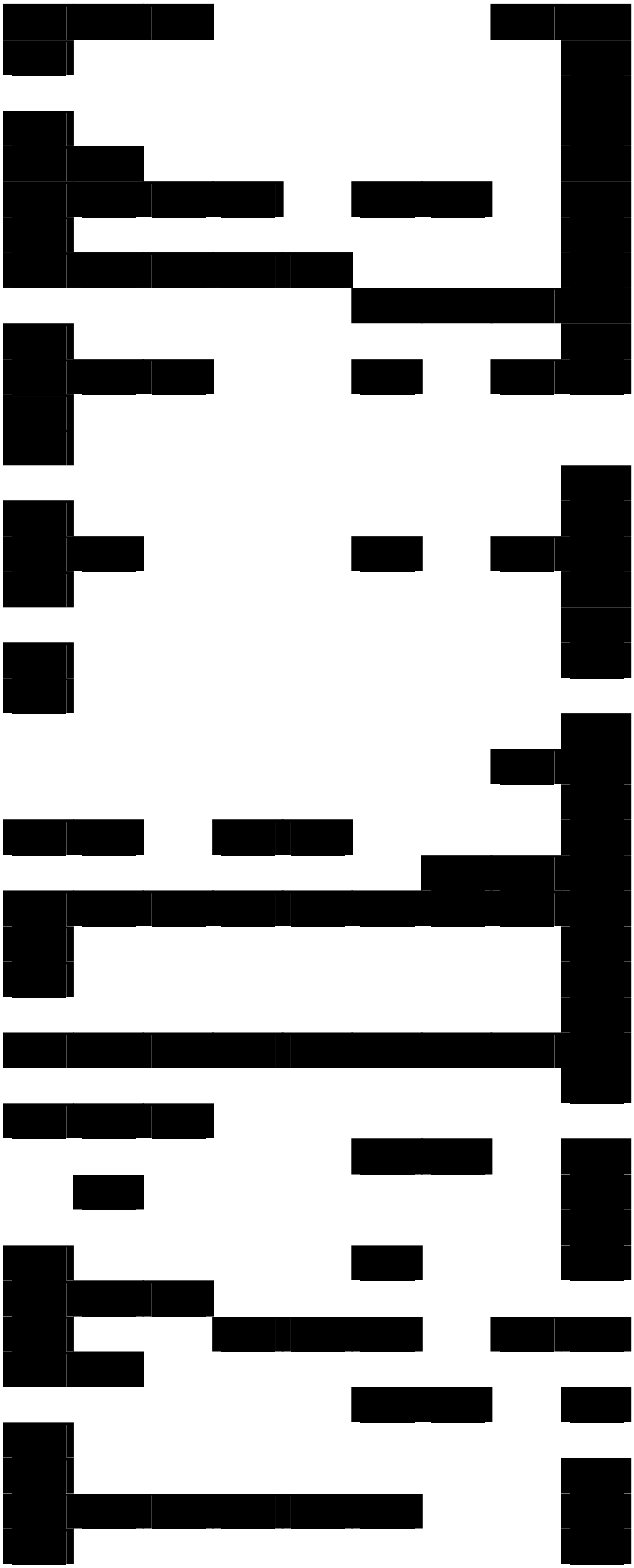
Apêndice: Amplitudes altitudinais de cada espécie registrada ao longo do gradiente Bertioga-Salesópolis em São Paulo, Brasil.

| **Espécies** | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Tinamus solitarius* | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| *Crypturellus obsoletus* | ■ | | | | | | ■ | ■ | ■ |
| *Crypturellus noctivagus* | ■ | | | | | | | | |
| *Dendrocygna autumnalis* | ■ | | | | | | | | |
| *Cairina moschata* | ■ | | | | | | | | |
| *Amazonetta brasiliensis* | ■ | | | | | | | | |
| *Nomonyx dominica* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Penelope obscura* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Aburria jacutinga* | | ■ | | ■ | | | | | ■ |
| *Odontophorus capueira* | ■ | ■ | | | | | | | ■ |
| *Podilymbus podiceps* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Phalacrocorax brasilianus* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Fregata magnificens* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Tigrisoma lineatum* | ■ | | | | | | | | |
| *Butorides striata* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Bubulcus ibis* | ■ | | | | | | | | |
| *Ardea cocoi* | | | | | | | | | ■ |
| *Ardea alba* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Pilherodius pileatus* | ■ | | | | | | | | |
| *Egretta thula* | ■ | | | | | | | | |
| *Theristicus caudatus* | | | | | | | | | ■ |
| *Cathartes aura* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Coragyps atratus* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Leptodon cayanensis* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Rostrhamus sociabilis* | ■ | | | | | | | | |
| *Harpagus diodon* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Accipiter striatus* | | | | | | | | | ■ |
| *Leucopternis lacernulatus* | | ■ | | | | | | | |
| *Leucopternis polionotus* | | | | | | | | | ■ |
| *Percnohierax leucorrhous* | | | | | | | | | ■ |
| *Rupornis magnirostris* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Buteo brachyurus* | | | | | | | | | ■ |
| *Spizaetus tyrannus* | | | | | | | | | ■ |
| *Caracara plancus* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Milvago chimachima* | ■ | | | | | | | | ■ |
| *Herpetotheres cachinnans* | ■ | | | | | | | | ■ |

*Micrastur ruficollis*
*Micrastur semitorquatus*
*Aramus guarauna*
*Aramides saracura*
*Laterallus melanophaius*
*Pardirallus nigricans*
*Gallinula chloropus*
*Porphyrio martinica*
*Vanellus chilensis*
*Charadrius semipalmatus*
*Charadrius collaris*
*Actitis macularius*
*Calidris alba*
*Calidris fuscicollis*
*Jacana jacana*
*Larus dominicamus*
*Columbina talpacoti*
*Columba livia*
*Patagioenas picazuro*
*Patagioenas cayennensis*
*Patagioenas plumbea*
*Zenaida auriculata*
*Leptotila verreauxi*
*Leptotila rufaxilla*
*Geotrygon montana*
*Pyrrhura frontalis*
*Forpus xanthopterygius*
*Brotogeris tirica*
*Pionopsitta pileata*
*Pionus maximiliani*
*Amazona aestiva*
*Triclaria malachitacea*
*Piaya cayana*
*Crotophaga ani*
*Guira guira*
*Tapera naevia*
*Megascops atricapilla*
*Pulsatrix koeniswaldiana*
*Strix hylophila*
*Strix virgata*
*Glaucidium minutissimum*
*Glaucidium brasilianum*
*Athene cunicularia*
*Nyctibius griseus*

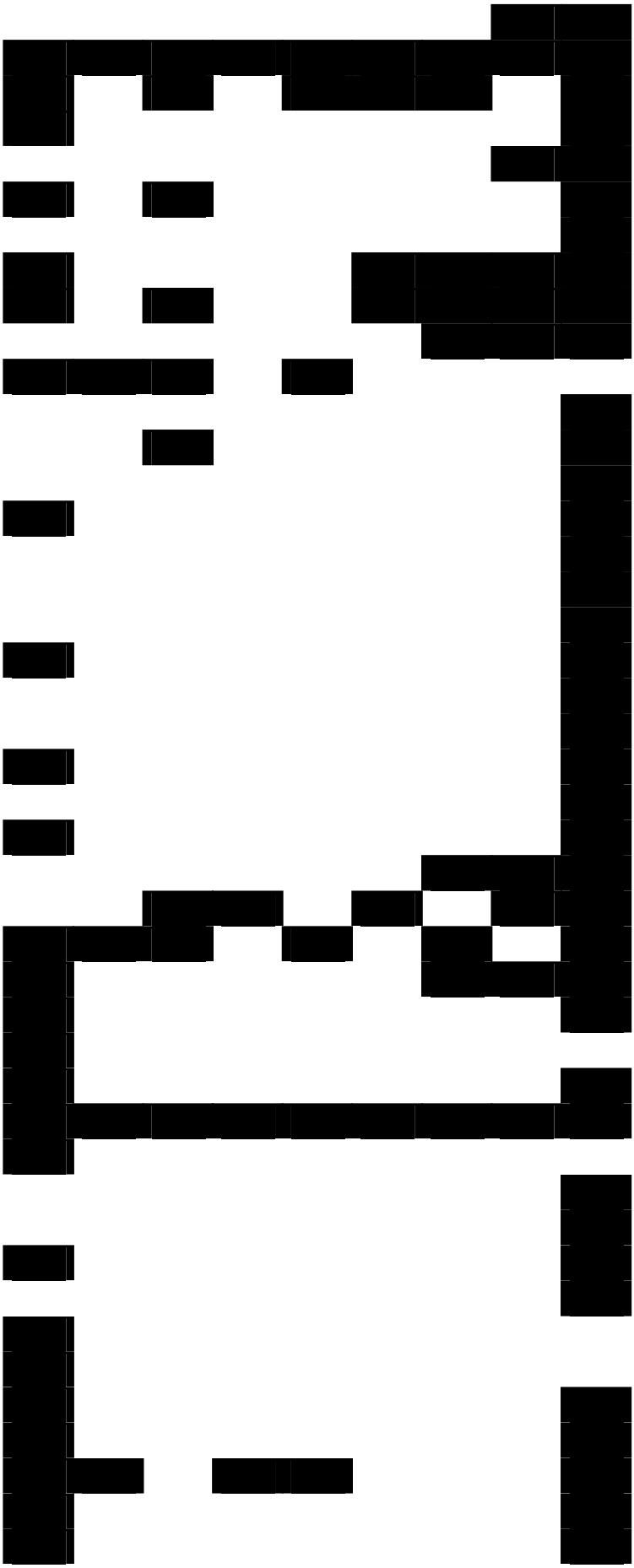


*Lurocalis semitorquatus*
*Nyctidromus albicollis*
*Macropsalis forcipata*
*Cypseloides fumigatus*
*Streptoprocne zonaris*
*Chaetura cinereiventris*
*Chaetura meridionalis*
*Ramphodon naevius*
*Phaethornis eurynome*
*Eupetomena macroura*
*Florisuga fusca*
*Colibri serrirostris*
*Anthracothorax nigricollis*
*Colibri serrirostris*
*Chlorostilbon lucidus*
*Thalurania glaucopis*
*Hylocharis cyanus*
*Leucochloris albicollis*
*Amazilia versicolor*
*Amazilia fimbriata*
*Amazilia lactea*
*Clytolaema rubricauda*
*Calliphlox amethystina*
*Trogon viridis*
*Trogon surrucura*
*Trogon rufus*
*Megaceryle torquata*
*Chloroceryle amazona*
*Chloroceryle americana*
*Baryphthengus ruficapillus*
*Nystalus chacuru*
*Ramphastos vitellinus*
*Ramphastos dicolorus*
*Selenidera maculirostris*
*Pteroglossus bailloni*
*Picumnus cirratus*
*Melanerpes flavifrons*
*Veniliornis spilogaster*
*Piculus flavigula*
*Piculus aurulentus*
*Colaptes melanochloros*
*Colaptes campestris*
*Celeus flavescens*
*Dryocopus lineatus*

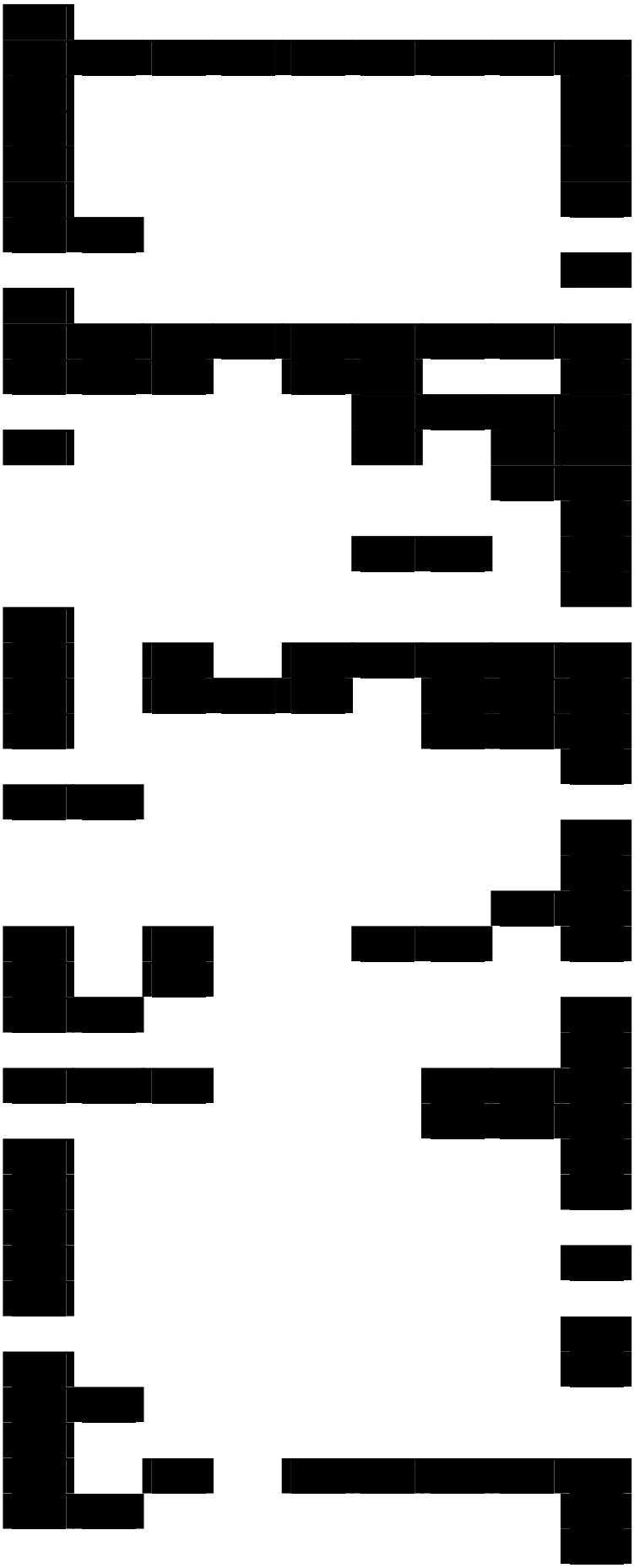


*Hypoedaleus guttatus*
*Batara cinerea*
*Thamnophilus caerulescens*
*Dysithamnus stictothorax*
*Dysithamnus mentalis*
*Dysithamnus xanthopterus*
*Myrmotherula gularis*
*Myrmotherula minor*
*Myrmotherula unicolor*
*Herpsilochmus rufimarginatus*
*Drymophila ferruginea*
*Drymophila ochropyga*
*Drymophila malura*
*Drymophila squamata*
*Terenura maculata*
*Pyriglena leucoptera*
*Myrmeciza squamosa*
*Conopophaga lineata*
*Conopophaga melanops*
*Grallaria varia*
*Hylopezus nattereri*
*Merulaxis ater*
*Scytalopus notorius*
*Formicarius colma*
*Chamaeza campanisona*
*Chamaeza meruloides*
*Sclerurus scansor*
*Dendrocincla turdina*
*Sittasomus griseicapillus*
*Xiphocolaptes albicollis*
*Dendrocolaptes platyrostris*
*Xiphorhynchus fuscus*
*Lepidocolaptes falcinellus*
*Furnarius rufus*
*Synallaxis ruficapilla*
*Synallaxis spixi*
*Cranioleuca pallida*
*Certhiaxis cinnamomeus*
*Phacellodomus ferrugineigula*
*Anabacerthia amaurotis*
*Syndactyla rufosuperciliata*
*Philydor lichtensteini*
*Philydor atricapillus*
*Philydor rufum*

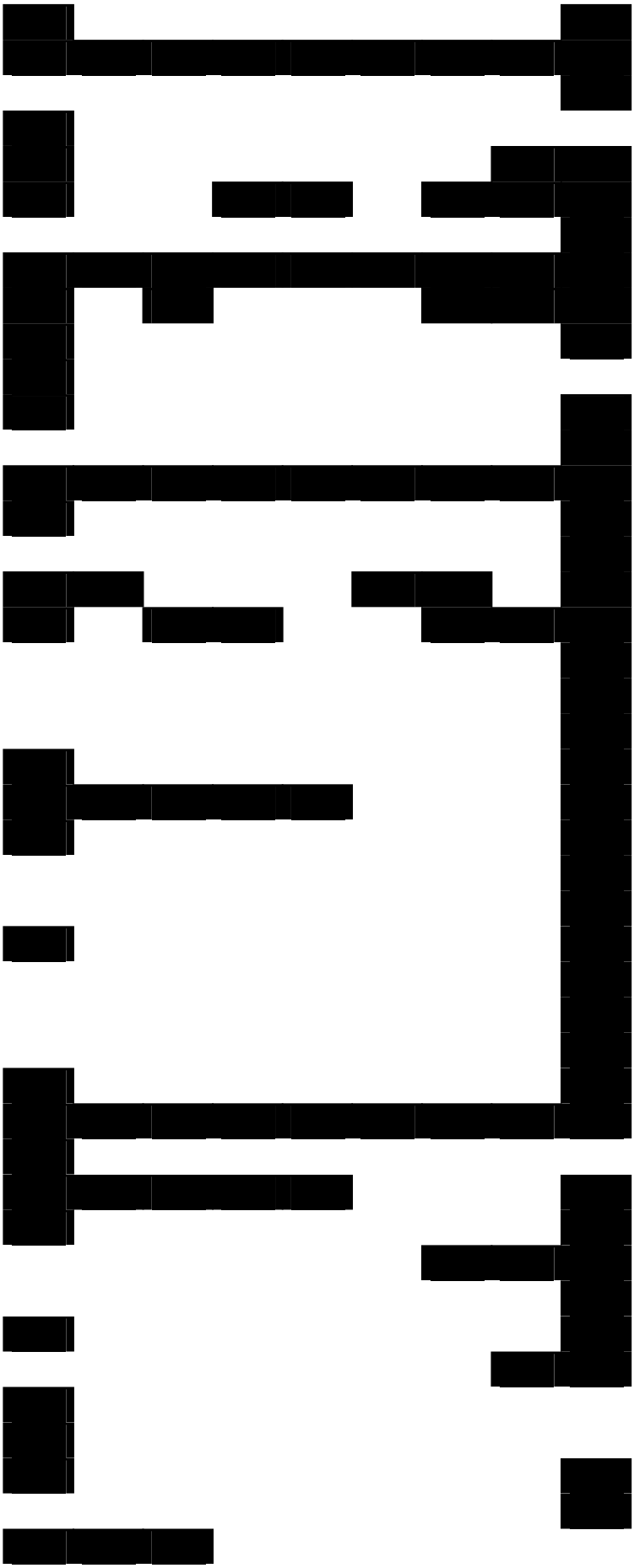
*Anabazenops fuscus*
*Cichlocolaptes leucophrus*
*Automolus leucophthalmus*
*Lochmias nematura*
*Heliobletus contaminatus*
*Xenops minutus*
*Xenops rutilans*
*Mionectes rufiventris*
*Leptopogon amaurocephalus*
*Hemitriccus diops*
*Hemitriccus orbitatus*
*Hemitriccus nidipendulus*
*Myiornis auricularis*
*Poecilotriccus plumbeiceps*
*Todirostrum poliocephalum*
*Phyllomyias burmeisteri*
*Phyllomyias fasciatus*
*Phyllomyias griseocapilla*
*Elaenia flavogaster*
*Elaenia mesoleuca*
*Elaenia obscura*
*Camptostoma obsoletum*
*Serpophaga nigricans*
*Serpophaga subcristata*
*Phylloscartes ventralis*
*Phylloscartes oustaleti*
*Tolmomyias sulphurescens*
*Platyrinchus mystaceus*
*Myiophobus fasciatus*
*Myiobius barbatus*
*Hirundinea ferruginea*
*Lathrotriccus euleri*
*Pyrocephalus rubinus*
*Knipolegus cyanirostris*
*Knipolegus nigerrimus*
*Satrapa icterophrys*
*Xolmis velatus*
*Fluvicola nengeta*
*Arundinicola leucocephala*
*Colonia colonus*
*Machetornis rixosa*
*Legatus leucophaius*
*Myiozetetes similis*
*Pitangus sulphuratus*



*Philohydor lictor*
*Myiodynastes maculatus*
*Megarynchus pitangua*
*Empidonomus varius*
*Tyrannus melancholicus*
*Tyrannus savana*
*Rhytipterna simplex*
*Myiarchus swainsoni*
*Myiarchus ferox*
*Attila phoenicurus*
*Attila rufus*
*Carpornis cucullata*
*Procnias nudicollis*
*Pyroderus scutatus*
*Neopelma chrysolophum*
*Piprites chloris*
*Ilicura militaris*
*Manacus manacus*
*Chiroxiphia caudata*
*Oxyruncus cristatus*
*Schiffornis virescens*
*Laniisoma elegans*
*Tityra inquisitor*
*Tityra cayana*
*Pachyramphus viridis*
*Pachyramphus castaneus*
*Pachyramphus polychopterus*
*Pachyramphus marginatus*
*Pachyramphus validus*
*Cyclarhis gujanensis*
*Vireo olivaceus*
*Hylophilus poicilotis*
*Pygochelidon cyanoleuca*
*Stelgidopteryx ruficollis*
*Progne tapera*
*Progne chalybea*
*Tachycineta leucorrhoa*
*Riparia riparia*
*Troglodytes musculus*
*Cantorchilus longirostris*
*Donacobius atricapilla*
*Turdus flavipes*
*Turdus rufiventris*
*Turdus leucomelas*



*Turdus amaurochalinus*
*Turdus albicollis*
*Mimus saturninus*
*Anthus lutescens*
*Coereba flaveola*
*Saltator fuliginosus*
*Saltator similis*
*Orthogonys chloricterus*
*Trichothraupis melanops*
*Tachyphonus coronatus*
*Ramphocelus bresilius*
*Thraupis sayaca*
*Thraupis cyanoptera*
*Thraupis ornata*
*Thraupis palmarum*
*Pipraeidea melanonota*
*Tangara seledon*
*Tangara cyanocephala*
*Tangara desmaresti*
*Tangara cayana*
*Tersina viridis*
*Dacnis cayana*
*Hemithraupis ruficapilla*
*Zonotrichia capensis*
*Haplospiza unicolor*
*Sicalis flaveola*
*Volatinia jacarina*
*Sporophila frontalis*
*Sporophila falcirostris*
*Sporophila lineola*
*Sporophila caerulescens*
*Habia rubica*
*Cyanoloxia glaucocaerulea*
*Parula pitiayumi*
*Geothlypis aequinoctialis*
*Basileuterus culicivorus*
*Basileuterus leucoblepharus*
*Phaeothlypis rivularis*
*Cacicus chrysopterus*
*Cacicus haemorrhous*
*Agelasticus cyanopus*
*Molothrus bonariensis*
*Sporagra magellanica*
*Euphonia violacea*



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Euphonia chalybea* | | | | | | | | | ■ |
| *Euphonia pectoralis* | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| *Estrilda astrild* | ■ | | | | | | | | |
| *Passer domesticus* | ■ | | | | | | | | ■ |
| Total: 304 espécies | 204 | 65 | 59 | 44 | 42 | 54 | 58 | 74 | 242 |

# Conclusões Gerais

A Estação Biológica de Boracéia concentra quase 18% de todas as espécies de aves existentes no Brasil, sendo 117 endêmicas da Mata Atlântica e 28 ameaçadas no Estado de São Paulo. Essa grande diversidade, documentada ao longo de mais de 68 anos, está entre as localidades da Mata Atlântica com o maior número de registros já feitos em uma pequena área de floresta ombrófila. Algumas espécies merecem um estudo mais aprofundado na Estação para confirmar suas presenças, como o bicudinho-brejo-paulista, espécie recém descoberta na região. Devido ao fato de estar inserida em uma Unidade de Conservação já existente, o Parque Estadual da Serra do Mar, e por abrigar um número significativo de duas espécies globalmente ameaçadas, a Estação pode ser considerada uma área prioritária para a conservação de aves no país.

É nesse contexto, com altos índices de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, que alguns estudos na Mata Atlântica permitiram a análise dos padrões de distribuição altitudinal das aves desse bioma. Devido à falta de padronização amostral, poucas conclusões puderam ser tomadas, mas o modelo nulo *mid-domain effect* (MDE) que prevê um padrão unimodal da curva espécies-altitude não exerceu muita influência nos casos analisados. Em diversas regiões do mundo o padrão unimodal parece predominar entre outras curvas espécie-altitude, mas as previsões do MDE não foram proporcionalmente suportadas, como as análises aqui feitas sugeriram para diversos estudos na Mata Atlântica.

Um conjunto de dados coletados com esforço amostral padronizado ao longo de um gradiente altitudinal da Serra do Mar das cidades de Bertioga e Salesópolis, SP, não obteve suporte empírico para corroborar as previsões do MDE. Das três variáveis espaciais analisadas, a que mais fortemente esteve relacionada à distribuição altitudinal das aves foi a área. Mesmo quando a riqueza foi controlada proporcionalmente à área de cada cota altitudinal, o MDE não obteve valores de $r^2$ substanciais. Possivelmente a falta de suporte do MDE pode estar atrelada à maior probabilidade de fatores abióticos estarem envolvidos na determinação do padrão altitudinal das aves.

O foco das pesquisas mais recentes tem derivado das variáveis espaciais para aquelas abióticas, como temperatura e disponibilidade de água. Muitos autores já relataram certa proximidade entre essas variáveis e o pico da riqueza nas altitudes intermediárias, sugerindo uma região de produtividade primária ótima nessas altitudes. Como os vegetais são responsáveis pela oferta de todos os recursos para as espécies animais, seria esperado um pico da riqueza em regiões intermediárias do gradiente altitudinal.

Assim, futuras investigações também devem levar em consideração tais variáveis, pois suas análises podem trazer contribuições promissoras ao entendimento da distribuição altitudinal dos organismos, estudo que, apesar de conduzido por décadas, ainda não está claramente elucidado.

Resumo

Esta dissertação trata da distribuição das aves no gradiente altitudinal dos municípios de Bertioga e Salesópolis, na Serra do Mar do Estado de São Paulo, Brasil. Está separada em três capítulos distintos, os quais, apesar de relacionados, podem ser lidos independentemente. O primeiro capítulo, **Uma revisão do conhecimento ornitológico na Estação Biológica de Boracéia**, faz uma revisão inédita sobre todos os registros avifaunísticos realizados ao longo de 68 anos de inventários na localidade e apresenta a importância dessa Unidade de Conservação localizada em Mata Atlântica Montana para a conservação das aves do Bioma. Foram registradas 323 espécies, sendo 117 endêmicas e 28 ameaçadas de extinção, motivos pelos quais a Estação pode ser considerada uma área prioritária para a conservação de aves no Brasil. O segundo capítulo, **Análise dos padrões altitudinais das aves de Mata Atlântica: a influência do *mid-domain effect***, traz uma revisão sobre todas as publicações já realizadas sobre a distribuição altitudinal das aves da Mata Atlântica, determina o padrão da curva espécies-altitude de cada estudo e testa as previsões do modelo nulo chamado *mid-domain effect* (MDE) nos conjuntos de dados por eles apresentados. Dos oito estudos encontrados foram descritos três padrões de distribuição altitudinal, sendo que a robustez das previsões do MDE não foi consistente para nenhum deles. Provavelmente outros fatores moldam a distribuição das aves, porém a falta de padronização dos estudos não permite esse tipo de investigação. Finalmente, o terceiro capítulo, **Distribuição altitudinal das aves na Serra do Mar: efeitos da altitude, área e *mid-domain effect***, apresenta o padrão de distribuição altitudinal encontrado ao longo do gradiente Bertioga-Salesópolis, na Serra do Mar de São Paulo e introduz pela primeira vez o estudo de variáveis explanatórias para a distribuição altitudinal das aves na Mata Atlântica. São testadas três variáveis espaciais (altitude, área e MDE) que possam ser responsáveis pelo padrão de distribuição encontrado e os resultados, comparados com padrões já estudados em outras regiões do mundo. A variável que mais explicou a distribuição altitudinal encontrada foi a área e, apesar de diversos estudos

considerarem esta variável como secundária na determinação das curvas espécie-altitude, no gradiente altitudinal aqui amostrado, ela mostrou-se importante.

*Abstract*

This master thesis aims to investigate the bird diversity along the elevational gradient of the cities of Bertioga and Salesópolis in the Serra do Mar from the state of São Paulo, Brazil. It is divided into three distinct chapters that, although related, may be independently read. The first chapter, **A review of the ornithological history of the Boracéia Biological Station**, reviews for the first time every ornithological record of more than 68 years of birding in that location and shows the importance of this Montane Atlantic forest Conservation Unit for the preservation of birds from this biome. During 68 years, investigators recorded 323 species of which 117 are endemic and 28 are threatened. For these reasons the Station may be considered an Important Bird Area for the conservation of birds in Brazil. The second chapter, **The elevational diversity of Atlantic forest birds: influence of the mid-domain effect**, reviews all published studies on bird elevational distribution in the Brazilian Atlantic Forest, establishes the species-altitude curve of each study and tests their data sets for the mid-domain effect (MDE) null model predictions. I found eight investigations from which three distinct altitudinal patterns could be determined. The MDE predictions were not consistently robust for none of them and the investigation of candidate factors that drive the elevational diversity of birds is not possible due to the lack of standardized procedures. Finally, the third chapter, **Elevational diversity of birds of the Serra do Mar: implications of altitude, area and the mid-domain effect**, deals with the diversity of birds along the Bertioga-Salesópolis elevational gradient in the Serra do Mar and explores for the first time three candidate variables (altitude, area and MDE) driving the elevational diversity of birds in the Atlantic forest; I further compare my results with patterns found elsewhere in the world. Area was the best predictor of the bird elevational diversity and, although a few investigators claimed this variable as secondary in determining the species-altitude curve, here it proved worth analyzing.