

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

SAMUEL LOPES OLIVEIRA

**CICLO REPRODUTIVO E DENSIDADE POPULACIONAL DA ARAPONGA  
(AVES: COTINGIDAE): UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

CURITIBA

2012

SAMUEL LOPES OLIVEIRA

**CICLO REPRODUTIVO E DENSIDADE POPULACIONAL DA ARAPONGA  
(AVES: COTINGIDAE): UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: James Joseph Roper Ph.D.

CURITIBA

2012



Ministério da Educação  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Setor de Ciências Biológicas  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



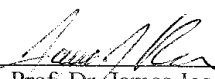
## PARECER

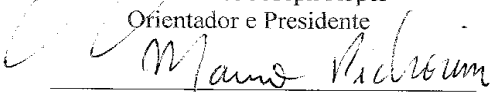
Os abaixo-assinados, membros da banca examinadora da defesa da dissertação de mestrado, a que se submeteu **Samuel Lopes Oliveira** para fins de adquirir o título de Mestre em Ecologia e Conservação, são de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do trabalho de conclusão do candidato.

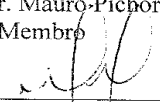
Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

Curitiba, 15 de março de 2012.

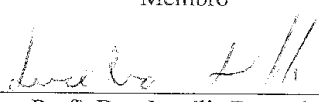
BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. James Joseph Roper  
Orientador e Presidente

  
Prof. Dr. Mauro Pichorim  
Membro

  
Prof. Dr. Maurício Osvaldo Moura  
Membro

Visto:

  
Prof.ª Dra. Lucélia Donatti  
Coordenadora do PPG-ECO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Programa de Reestruturação das Universidades Federais (Reuni) pela bolsa concedida durante todo o período do mestrado.

Ao meu orientador James J. Roper pela orientação concedida, por todas as sugestões durante o período do trabalho de campo, análise e redação da dissertação,

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de desenvolver o estudo.

À secretária do programa Valéria Romero, pela atenção, eficiência e paciência.

Aos colegas que auxiliaram nos trabalhos de campo, Henrique Chupil, Felipe Shibuya, Talita Braga, Ricardo Cerboncini, Pedro Poseiro, Bárbara Nogueira e Camila Alves.

Ao Instituto Ambiental do Paraná por autorizar a pesquisa na Parque Estadual do Pico do Marumbi.

Aos funcionários da sede dos Mananciais da Serra, em especial a Ana Cristina Barros, pelos auxílios e pela disponibilidade dos alojamentos.

Aos membros da banca avaliadora, Dr. Maurício Moura e Dr. Mauro Pichorim, pelas valiosas contribuições.

Aos meus pais, Sérgio Vilnei de Oliveira e Ilenara Duarte Lopes Oliveira, pela paciência e pelo incentivo.

Aos amigos que fiz em Curitiba e me apoiaram de diferentes formas durante este período.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
MAIN ABSTRACT.....	8
Introdução geral.....	10
Referências.....	17
Capítulo I – Método de triangulação para estimar a abundância de aves de difícil visualização e fácil audição.....	24
Abstract.....	25
Resumo.....	26
INTRODUÇÃO.....	27
MÉTODOS.....	29
Espécie estudada.....	29
Área de estudo.....	30
Os censos.....	30
Análise.....	32
RESULTADOS.....	34
DISCUSSÃO.....	35
LITERATURA CITADA.....	39
Capítulo II - Ciclo reprodutivo e estimativa de densidade de araponga, <i>Procnias nudicollis</i> (Vieillot, 1817).....	54
Abstract.....	55
Resumo.....	56
INTRODUÇÃO.....	57
MÉTODOS.....	59
Área de estudo.....	59
Coleta e análise dos dados.....	59
RESULTADOS.....	61
DISCUSSÃO.....	63
LITERATURA CITADA.....	68

## RESUMO

Frequentemente a abundância de espécies raras não pode ser estimada por métodos convencionais, como consequência, o tamanho populacional de muitas espécies neotropicais permanece desconhecido. Dentre estas encontramos as arapongas (gênero *Procnias*), as espécies deste gênero são de interesses conservacionistas, pois vivem em florestas pouco alteradas. Porém são difíceis de amostrar, pois habitam florestas densas com a visibilidade prejudicada, a fêmea possui coloração críptica e comportamento reservado, os machos vocalizam somente durante o período reprodutivo e a captura destas espécies é difícil. A araponga (*P. nudicollis*) é uma espécie ameaçada e endêmica da Mata Atlântica, mesmo assim não existe dados nem sobre sua dinâmica populacional nem sobre seu ciclo reprodutivo. Neste trabalho foi acompanhado todo o ciclo reprodutivo da espécie, onde, por meio de contagens, foram obtidos dados sobre a fenologia da atividade dos machos para determinar as dinâmicas de canto e abundância ao longo do ciclo e descobrir o melhor período para gerar a estimativa de densidade. Foi testada a eficiência da amostragem por distância baseada em um transecto em linha em estimar a densidade populacional de *Procnias nudicollis*, usando triangulação acústica baseada em duas coordenadas obtidas por GPS, onde foram determinados o ângulo de direção ao macho com uma bússola. Usando as coordenadas e os ângulos foram comparados três métodos para medir a distância de cada indivíduo e esta informação foi usada no programa Distance para estimar a densidade da araponga. Assim, o método baseado em triangulação, onde as distâncias e ângulos foram estimadas por um *script* escrito no programa R, e não necessitava trabalho adicional, reduziu consideravelmente o tempo para a análise, além de minimizar o erro potencial

nos cálculos necessários nos outros dois métodos. Existem aproximadamente 15 machos adultos  $\text{km}^{-2}$  (95% CI 11.9-18.7, CV = 11). Assumindo as premissas de razão sexual igual e razão etária de 2:1, a última obtida pelas contagens, a população total da área estudada (87  $\text{km}^{-2}$ ) pode ser estimada em 3915 indivíduos. O ciclo reprodutivo da araponga durou 163 dias, do início de setembro até o meio de fevereiro. O número de machos vocalizando aumentou gradualmente durante o ciclo, com o pico dos machos adultos no final de novembro. Machos adultos e jovens apresentaram diferentes períodos de atividade, é possível que a araponga seja um migrante diferencial, pois o início tardio da vocalização dos jovens pode indicar padrões diferentes de migração entre classes etárias. Como o estudo foi realizado em uma área bem preservada e com uma população saudável, este resultado pode ser comparado com estudos populacionais em áreas já degradadas ou em que a espécie sofra maior pressão de captura, para ter ideia de como a população reage. O método de triangulação acústica pode eficientemente estimar a abundância da araponga e tem potencial para ser largamente aplicado não somente para aves, mas para espécies florestais de difícil visualização que apresentam comportamento de *lek* ou vocalizam de um ponto por tempo suficiente para triangulação.

## MAIN ABSTRACT

Abundance of rare or hard-to-see species is often difficult to estimate and, as a consequence, population sizes of many species of tropical birds remain unknown. This is true of the bellbirds (genus *Procnias*) that may be good indicator species because they are associated with healthy forests. Due to their lekking behavior, where males sing in tree tops often within the canopy, they are not easy to find. Also, females are silent and cryptically colored and males are silent when not doing their display. The Bare-throated Bellbird (*P. nudicollis*) is a potentially threatened endemic to the Atlantic Forest of Brazil. While it is known that this bellbird has declined in several states, due to the difficulty of study, population dynamics are unknown. Here, we begin to fill this lacuna by observing males for the reproductive season and based on those observation, developing a technique whereby the abundance of adult males can be estimated. We used a triangulation method based on two coordinates obtained by GPS at which compass bearings to the singing males were noted. Using these coordinates and angles, we compared three methods of estimating the positions of the singing males and using that information in the program Distance to estimate bellbird density. All three estimates and their confidence intervals were similar. Yet, a method based on triangulation in which distances and angle to the singing bird were all estimated by a script written in the program R and which required no additional work, reduced the time required considerably and also reduced or eliminated the potential error associated with hand calculations used in the other two methods. There are approximately 15 adult males km<sup>-2</sup>. (95% CI = 11.9 – 18.7, CV = 11%). Also, during counts, we noted how many adults and young males vocalized. Using those number, the ratio of adult to adolescent males was approximately 2:1. If we assume that females and males are equally abundant, and



if we assume that adult females are approximately equally abundant, there are approximately 3915 bellbirds in the 87 km<sup>2</sup> study area.

The breeding season lasted 163 days, from early September to mid February, as measured by the first and last sightings of vocalizing males. The number of singing males gradually increased over time, and reached its peak in late November. The number of young (adolescent) males that vocalized, although not with the same finesse as the adult males, also increased over time, beginning a month or so later, but with a later peak and ending at the same time as the adults. Migration of the bellbird has been suggested, and these data suggest that young males arrive on the breeding grounds later than the adults, but that all birds migrate out of the breeding area at the same time.

This first study with an estimate of abundance of the bellbird and which was carried out in well-preserved forest, now provides a baseline with which other studies may be compared. Also, we have shown that bellbird abundance can effectively be estimated by triangulation on vocalizing males. Bellbirds in other areas may now have their densities estimated by this method, as well as other vocal but difficult-to-see birds. Indeed, triangulation may be a better and faster method for estimating distances to animals than other methods used in Distance. We suggest that the Bare-throated Bellbird has a healthy population here in the Serra do Mar of Parana (at nearly 4000 individuals in the state park alone) and recommend that other regions estimate abundance so that better understanding of population dynamics, and their threatened status, may be better understood.

## **Introdução geral**

Estimar a densidade e abundância das aves é de grande importância para a ecologia e conservação, porque permite entender as dinâmicas populacionais e monitorar mudanças no tamanho da população (Buckland et al. 2008). Assim é possível avaliar o impacto da perda de habitat, poluição, caça e viabilidade de populações isoladas. Por isso, listas de espécies ameaçadas são fortemente baseadas em informações de tamanho populacional (Sutherland et al. 2004).

Informações sobre biologia reprodutiva são importantes em estudos de ecologia populacional (Sutherland et al. 2004). Estes dados ajudam a determinar o período mais favorável para amostragem, pois diferenças fenológicas aleatórias, como o início antecipado de um ciclo, a variação sazonal na atividade de vocalização e movimentos migratórios, podem afetar a detectabilidade dos e, por consequência, causar um erro de até 25% na estimativa de densidade (Slagsvold 1977, Wilson and Bart 1985).

Para gerar estimativas populacionais de aves existem diferentes metodologias, divididas em dois grupos: (1) métodos que usam contagens ou mapas de detecções de aves como um índice de abundância relativa e (2) técnicas empíricas de modelagem que estimam diretamente a densidade das aves (Rosenstock et al. 2002). Estimativas populacionais por meio de índices não são indicadas, pois assumem que o número de indivíduos detectados representa uma proporção constante da população (Rosenstock et al. 2002, Thompson 2002), o que na maioria das vezes não ocorre (Norvell et al. 2003). O segundo grupo de técnicas possui um componente analítico que modela a variação na detectabilidade da espécie, ou seja, considera que nem todos os indivíduos são detectados durante a amostragem e de forma empírica quantifica a probabilidade de

detecção, para gerar estimativas diretas de densidade (Rosenstock et al. 2002, Thompson 2002, Marques et al. 2007).

Um dos métodos mais usados do segundo grupo é a amostragem por distância (*distance sampling*), que é uma técnica especializada para estimar a densidade e/ou abundância de populações de espécies por meio de contagens em transectos em linha (*line transect*) ou pontos em transectos (*transect points*) (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993). Esta metodologia oferece uma abordagem rigorosa para obtenção de estimativas válidas de densidade, exigindo recursos modestos, sendo considerado um método chave para gerar estimativas populacionais em condições adversas de campo (Thompson 2002, Buckland 2006, Marques et al. 2007, Thomas et al. 2010).

A amostragem por distância vem sendo usada em uma ampla diversidade de táxons, incluindo árvores, arbustos e ervas, insetos, anfíbios, répteis, aves, peixes e mamíferos marinhos e terrestres (Thomas et al. 2002). A maioria dos trabalhos realizados no Brasil usando a amostragem por distância focam em mamíferos, como primatas e cetáceos (Andriolo et al. 2006, Cremer and Simoes-Lopes 2008, Ingberman et al. 2009, Danilewicz et al. 2010, Cremer et al. 2011, Darren et al. 2011), cervídeos (Andriolo et al. 2005, Tomas et al. 2001) e populações de mamíferos invasores em uma ilha (Bovendorp and Galetti 2007). Somente dois trabalhos usando amostragem por distância foram feitos com aves. Marsden e colaboradores (2005) usaram contagem em pontos para estimar tamanho populacional de várias espécies de aves em três Unidades de Conservação na Mata Atlântica, e Guix et al. (1999) trabalharam com populações de quatro espécies de psitacídeos usando transectos em linha em uma ilha do estado de São Paulo.

Existem três pressupostos básicos para aplicação da metodologia de amostragem

por distância, sendo eles: (1) todas as aves sobre a linha ou ponto são detectadas com certeza; (2) as aves são detectadas antes do movimento evasivo gerado pelo observador; e (3) as distâncias são estimadas ou medidas acuradamente (Buckland et al. 1993, 2001). Recentes avanços na metodologia permitem que uma ou mais das premissas sejam relaxadas sem afetar a estimativa (Thomas et al. 2010).

Antes de iniciar as amostragens, o observador deve escolher entre transectos em linha ou pontos. Normalmente a amostragem em transecto é superior, devido ao impacto do desvio crescer linearmente em transectos em linha e ao quadrado em pontos de escuta (Buckland et al. 1993, Bibby et al. 2000). Isto foi confirmado por vários estudos com comparação entre métodos (Burnham et al. 1985, Casagrande and Beissinger 1997, Cassey et al. 2007, Azhar et al. 2009). Além disso, menos tempo é perdido entre as unidades de amostragens o que resulta em mais detecções por tempo de campo (Bollinger et al. 1988).

Existem duas maneiras básicas de estimar a distância do indivíduo contado durante a amostragem em transecto em linha. A mais simples é a distância perpendicular ( $x$ ), na qual o observador encontra o animal, anda até o ponto do transecto que é perpendicular ao animal e mede a distância. Na segunda maneira, o observador, ao avistar o indivíduo, mede a distância de avistamento (distância radial =  $r$ ) e o ângulo de avistamento relativo ao ângulo (direção da linha) do transecto ( $\theta$ ) (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 2001). Posteriormente a distância perpendicular pode ser calculada pela expressão:

$$x = r \times \sin\theta$$

Geralmente a detecção do animal alvo é feita visualmente, porém podem ser obtidos dados de sinais, como sopro de baleias, fezes, ninhos ou vocalização de aves

(Buckland et al. 2001, Thomas et al. 2010). Para espécies vocais, o monitoramento acústico emerge como uma técnica não invasiva que fornece informação de populações que vivem em habitats onde amostragem visual não pode ser feita (Baptista and Gaunt 1997, Payne et al. 2003, George et al. 2004, Marques et al. 2007).

As estimativas de aves baseadas na vocalização geralmente são feitas em áreas florestadas com o método de ponto (*transect points*), onde as distâncias são frequentemente estimadas ao invés de medidas e separadas em grupos (*e.g.* 0-20, 20-40, 40-60 m), relaxando o pressuposto da precisão das medidas e diminuindo a precisão do método (Rosenstock et al. 2002). Além disso, estimar a distância para uma ave não vista é difícil, pois a atenuação da vocalização é afetada pelo tipo e fisionomia da vegetação, posição da ave relativa ao observador, características do canto e ruídos de fundo (Waide and Narins 1988, Simons et al. 2007, Pacifici et al. 2008), gerando incertezas nas distâncias estimadas em detecções vocais (Alldredge et al. 2007). Uma boa solução é usar a vocalização para estimar a localização do indivíduo por triangulação (Buckland et al. 2004), e o melhor método para usar a triangulação auditiva é o transecto linear, já que o próprio movimento do observador facilita a triangulação (Bibby et al. 2000).

Alguns grupos de aves apresentam várias características que os tornam suscetíveis a falta de dados populacionais básicos, devido a dificuldades de amostragem, *e.g.* as araongas (*Procnias spp.*), da família Cotingidae (Snow 1973). Vários fatores dificultam o censo das quatro espécies de *Procnias*. Todas habitam o dossel florestal, dificultando a observação e captura, as fêmeas são verdes, camufladas e silenciosas, os machos apresentam maturidade tardia e vocalizam somente durante o período reprodutivo, sendo praticamente indetectáveis quando não cantam (Snow 1970, 1977, Snow 1973, Ridgelt and Tudor 1994, Sick 1997, Negro 2011).

A araponga, *Procnias nudicollis* (Vieillot, 1817), é uma espécie endêmica da Mata Atlântica (Bencke et al. 2006), com distribuição histórica ao longo do Brasil oriental, da Paraíba e Pernambuco ao Rio Grande do Sul, alcançando o sul do Mato Grosso do Sul, o leste do Paraguai e a Província de Misiones, no nordeste da Argentina (Ridgely and Tudor 1994, Pacheco and Whitney 1995, Sick 1997).

É um dos pássaros mais característicos da Mata Atlântica, sendo bem conhecido pelo seu canto que lembra ora um som produzido por uma martelada forte, ora o atrito de uma lima contra o ferro (Sick 1997). A vocalização da araponga está entre as mais fortes do mundo. Possui uma siringe muito musculosa, sendo a martelada sucedida por um som alto e estridente que se supõe ser produzido por outra parte do aparelho fonador; nesta espécie notam-se alterações na voz com a puberdade, sua martelada atinge a perfeição apenas do segundo ao terceiro ano de vida (Ridgely and Tudor 1994, Sick 1997). Os machos imaturos têm uma voz crocitante e grasnam (podendo ser diferenciados do adulto). Analisando mais detalhadamente o canto do macho, Leuchtenberger (2004) determinou a existência de três tipos de vocalização, duas isoladas e uma sequencial, a última aparentemente é uma característica importante para a escolha das fêmeas.

Vive preferencialmente em mata primária, porém ocorre em mata secundária dependendo da presença de árvores frutíferas (Aleixo and Galetti 1997, Sick 1997). É considerada inteiramente frugívora, consumido frutos de plantas das famílias Arecaceae, Myrtaceae, Myrcinaceae, Moraceae, Myristicaceae, Apocynaceae, Sapindaceae, Lauraceae, Leguminosae, Burseraceae, Malpighiaceae, Celastraceae, Elaeocarpaceae, Araliaceae e Liliaceae (Sick 1997, Pizo et al. 2002).

O macho adulto apresenta corpo branco e faces nuas esverdeadas, enquanto a

fêmea é um pouco menor, tem partes superiores verdes, cabeça cinza, partes inferiores estriadas de oliva e cinza e garganta cinzenta e estriada. O macho imaturo é semelhante à fêmea, mas com cabeça e garganta negras, substituindo as penas verdes sucessivamente por cinzento-esverdeada e brancas (Ridgely and Tudor 1994, Sick 1997). Na araponga a plumagem adulta é atingida apenas no terceiro ano de vida, nas mudas anteriores apresenta penas brancas marmoreadas de cinzento, parecendo quase intermediária entre o padrão do jovem e do adulto (Snow 1973, Sick 1997).

O período reprodutivo da araponga se estende de setembro a fevereiro; os machos adultos escolhem poleiros em um grupo de árvores dentro da floresta frequentando determinados galhos onde canta com perseverança na maior parte do dia e recebe visitas de vizinhos e de fêmeas. Estes pontos, se permanecerem intactos, são usados durante anos e a construção do ninho e criação do filhote são realizadas somente pelas fêmeas. O ninho é uma tigela rasa lembrando ninhos de pombos, com diâmetro de 16 cm, reúne pouco material na construção. O ovo tem cor pardo-vermelha, com uma coroa formada por manchas pardo-escuras no polo rombo. Pode criar até dois ninhos que são alimentados inteiramente com frutos (Sick 1997).

A araponga realiza migrações fora da época de reprodução, o que é notado pelo desaparecimento nas regiões mais altas. O monitoramento é difícil, pois não vocalizam nesses períodos nem formam bandos, permanecendo pelas copas onde passam facilmente despercebidas. As migrações são em geral deslocamentos altitudinais provocados pela fartura de frutos em outras regiões, no entanto, estes movimentos são pouco conhecidos (Stotz et al. 1996, Sick 1997)

A araponga está classificada como vulnerável em nível global, nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo (Machado et al. 1998, Fontana et al.

2003, Bressan et al. 2009, IUCN 2011), provavelmente ameaçada no Rio de Janeiro (Bergallo et al, 2000) e em perigo na Argentina (Fraga 1997). As principais causas do declínio populacional da espécie são a crescente falta de habitat, devido à destruição e fragmentação das florestas e a perseguição da espécie tanto para caça quanto pelo mercado de aves em gaiolas (Aleixo and Galetti 1997, Sick 1997, Fontana et al. 2003).

Três espécies do gênero já foram estudadas (*P. averano*, *P. albus*, *P. trincarunculatus*) há mais de 40 anos (Snow, 1970,1973,1977). No entanto, estes estudos apenas examinaram o comportamento reprodutivo. Assim, existe grande lacuna de dados reprodutivos e populacionais de todas as espécies do gênero. *P. nudicollis* é a espécie menos estudada, sem nenhum estudo do seu comportamento e dinâmica populacional, o que faz com que ela seja considerada com alta prioridade para pesquisa (Stotz et al.1996).

Com estas considerações, este estudo visa avaliar a aplicabilidade da técnica de amostragem por distância por meio de triangulação auditiva, testando a eficiência e precisão, para assim desenvolver uma técnica para estudar dinâmicas populacionais em espécies difíceis de estudar, como a araponga. Além de examinar as dinâmicas de cantos e abundância ao longo de um ciclo reprodutivo para entender o padrão sazonal da espécie e determinar a melhor época para estimar densidade populacional.



## Referências

- Aleixo A., and M. Galetti. 1997. The conservation of the avifauna in a lowland Atlantic forest in south-east Brazil. *Bird Conservation International* 7:235-261.
- Allredge M. W. , T. R. Simons, and K. H. Pollock. 2007. A field evaluation of distance measurement error in auditory avian point count surveys. *Journal of Wildlife Management* 71:2759-2766.
- Andriolo, A., C. C. A. Martins, M. H. Engel, J. L. Pizzorno, S. Más-Rosa, A. C. Freitas, M. E. Morete and P. G. Kinas. 2006. The first aerial survey to estimate abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the breeding ground off Brazil (Breeding Stock A). *Journal of Cetacean Research and Management* 8:2835-2853.
- Andriolo, A., U. Piovezan, M. J. R. P. Costa, J. Laake and J. M. B. Duarte. 2005. Aerial line transect survey to estimate abundance of marsh deer (*Blastocerus dichotomus*) (Illiger, 8115). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48:807-814.
- Azhar B., M. Zakaria, E. Yusof, and P. C. Leong. 2009. Efficiency of fixed-width transect and line-transect-based distance sampling to survey Red Junglefowl (*Gallus gallus spadiceus*) in peninsular Malaysia. *Journal of Sustainable Development* 1:63-73.
- Baptista L. F., and Gaunt SL .1997. Bioacoustics as a tool in conservation studies, p. 212-242. *In* J. R. Clemmons, and R. Buchholz [eds.], *Behavioral approaches to conservation in the wild*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bencke, G. A., G. N. Mauricio, P. F. Develey, and J. M. Goerck. 2006. Áreas importantes para a conservação de aves no Brasil. Parte I – Estados do domínio da Mata Atlântica. SAVE Brasil, São Paulo.

- Bergallo, H. G., C. F. D. Rocha, M. A. S. Alves, and M. VanSluys. 2000. *A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro*. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Bollinger, E.K., T. A. Gavin, and D. C. McIntyre. 1988. Comparison of transects and circular plots for estimating Bobolink densities. *Journal of Wildlife Management* 52:777-786.
- Bovendorp, R. S. And M. Galetti. 2007. Density and population size of mammals introduced on a land-bridge island in southeastern Brazil. *Biological Invasions* 9:353-357.
- Bressan, P. M., M. C. M. Kierulff, and A. M. Sugieda. 2009. *Fauna Ameaçada de Extinção no Estado de São Paulo: Vertebrados*. Fundação Parque Zoológico de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Buckland, S.T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, and J. L. Laake. 1993. *Distance sampling. estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Buckland S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2004. *Advanced distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S. T., and C. M. Handel. 2006. Point-transect surveys for songbirds: robust methodologies. *The Auk* 123:345–357.
- Buckland, S. T., S. J. Marsden, and R. E. Green. 2008. *Estimating bird abundance:*

- making methods work. *Bird Conservation International* 18:S91-S108.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs* 72:3–202.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake. 1985. Efficiency and bias in strip and line transect sampling. *Journal of Wildlife Management* 49:1012–1018.
- Casagrande, D. G., and S. R. Beissinger. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *The Condor* 99:445–457.
- Cassey, P., J. L. Craig, and B.H. McArdle. 2007. Distance sampling techniques compared for a New Zealand endemic passerine (*Philesturnus carunculatus rufusater*). *New Zealand Journal of Ecology* 31:223-231.
- Cremer, M. J. and P. C. Simões-Lopes. 2008. Distribution, abundance and density estimates of franciscanas, *Pontoporia blainvillei* (Cetacea: Pontoporiidae), in Babitonga Bay, Southern Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 25:397-402.
- Cremer, M. J., F. A. S. Hardt, A. J. Tonello-Jr and P. C. Simões-Lopes. 2011. Distribution and status of the Guiana Dolphin *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) population in Babitonga Bay, Southern Brazil. *Zoological Studies* 50:327-337.
- Danilewicz, D., I. B. Moreno, P. H. Ott, M. Tavares, A. F. Azevedo, E. R. Secchi and A. Andriolo. 2009. Abundance estimate for a threatened population of franciscana dolphins in southern coastal Brazil: uncertainties and management implications. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90:1649-1657.
- Darren, N., F. Rocha-Mendes, R. Marques, R. A. Nobre and M. Galetti. 2011. Density and spatial distribution of Buffy-tufted-ear Marmosets (*Callithrix aurita*) in a

- constinuous Atlantic Forest. *International Journal of Primatology* 32:811-829.
- Fontana, C. S., G. A. Bencke, and R. E. Reis. 2003. Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EDIPUCRS.
- Fraga, R. M. 1997. Sección Aves, p. 155-219. *In* J. J. Garcis, R. Ojeda, R. Fraga, G. Díaz, and R. Baigun [eds.], Libro rojo de mamíferos y aves amenazados de la Argentina. Adm. De Parques Nacionales, Buenos Aires.
- George, J. C., J. Zeh, R. Suydam, and C. Clark. 2004. Abundance and population trend (1978-2001) of western artic bowhead whales surveyed near Barrow, Alaska. *Marine Mammal Science* 20:755–773.
- Guix, J. C., M. Martín and S. Mañosa. 1999. Conservation status of parrot populations in an Atlantic rainforest area of southeastern Brazil. *Biodiversity and Conservation* 8:1079-1088.
- Ingberman, B., R. Fusco-Costa, and E. L. A. Monteiro-Filho. 2009. Population survey and demographic features of a coastal island population of *Alouatta clamitans* in Atlantic Forest, southeastern Brazil. *International Journal of Primatology* 30:1-14.
- IUCN. [online]. 2011. IUCN Red list of threatened species. Version 2011.2. <<http://www.iucnredlist.org>> (12 Dezembro 2011).
- Leuchtenberger, R. 2004. Dieta e vocalização de *Procnias nudicollis* (Cotingidae, Aves): implicações potenciais para reprodução. Dissertação de mestrado em Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Machado, A. B., G. A. B. Fonseca, R. B. Machado, L. M. S. Aguiar, and L. V. Lins. 1998. Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna de Minas Gerais. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.
- Marsden, S. J., M. Whiffin, M. Galetti and A. H. Fielding. 2005. How well will Brazil's

- system of Atlantic forest reserves maintain viable bird populations? *Biodiversity and Conservation* 14:2835-2853.
- Marques, T. A., L. Thomas, S. G. Fancy, and S. T. Buckland. 2007. Improving estimates of bird density using multiple-covariate distance sampling. *The Auk* 124:1229-1243.
- Negro, J. J. 2011. The ghost fraction of populations: a taxon-dependent problem. *Animal Conservation* 14:338-339.
- Norvell, R. E., F. P. Howe, and J. R. Parrish. 2003. A seven-year comparison of relative-abundance and distance-sampling methods. *The Auk* 120:1013-1028.
- Pacheco, J. F., and B. M. Whitney. 1995. Range extensions for some birds in northeastern Brazil. *Bulletin of the British Ornithologists Club* 115:157-163.
- Pacifici, K., T. R. Simons, and K. H. Pollock. 2008. Effects of vegetation and background noise on the detection process in auditory avian point-count surveys. *The Auk* 125:600-607.
- Payne, K. B., M. Thompson, and L. Kramer. 2003. Elephant calling patterns as indicators of group size and composition: the basis for an acoustic monitoring system. *African Journal of Ecology* 41:99-107.
- Pizo, M. A., W. R. Silva, M. Galetti, and R. Laps. 2002. Frugivory in cotingas of the Atlantic Forest of southeast Brazil. *Ararajuba* 10: 177-185.
- Ridgely, R., and G. Tudor. 1994. *The birds of South America, Vol. 2. The suboscine passerines.* University of Texas Press, Austin.
- Rosenstock, S. S., D. R. Anderson, K. M. Giesen, T. Leukering, and M. F. Carter. 2002. Landbird counting techniques: current practices and an alternative. *The Auk* 119:46-53.

- Sick, H. 1997. *Ornitologia Brasileira*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- Simons, T. R., M. W. Alldredge, K. H. Pollock, and J. M. Wettroth. 2007. Experimental analysis of the auditory detection process on avian point counts. *The Auk* 124:986-999.
- Slagsvold, T. 1977. Bird song activity in relation to breeding cycle, spring weather, and environmental phenology. *Ornis Scandinavica* 8:197–222.
- Snow, B. K. 1970. A field study of the Bearded Bellbird in Trinidad. *Ibis* 112:299–329.
- Snow, B. K. 1973. Notes on the behavior of the White Bellbird. *The Auk* 90:743-751.
- Snow, B. K.. 1977. Territorial behavior and courtship of the male Three-wattled Bellbird. *The Auk* 94:623–645.
- Snow, D. W. 1973. Distribution, ecology and evolution of the bellbirds (*Procnias*, Cotingidae). *Bulletin of the british Museum* 25:369-395.
- Stotz, D. F., J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker, and D. K. Moskovits. 1996. *Neotropical birds: ecology and conservation*. Chicago, University of Chicago Press.
- Sutherland, W. J., I. Newton, and R. E. Green. 2004. *Bird ecology and conservation: a handbook of techniques*. New York, Oxford University Press.
- Thomas L., S. T. Buckland, K. P. Burnham, D. R. Anderson, J. L. Laake, D. L. Borchers and S. Strindberg. 2002. Distance sampling, p. 544 – 552. *In* A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorisch [eds.]. *Encyclopedia of environmetrics..* John Wiley & Sons, Chichester.
- Thomas, L., S. T. Buckland, E. A. Rexstad, J. L Laake, S. Strindberg, S. L Hedley, J. R. B. Bishop, T. A. Marques, and K. P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *The Journal of Applied Ecology* 47:5-14.

- Thompson, W. L. 2002. Towards reliable bird surveys: accounting for individuals present but not detected. *The Auk* 119:18–25.
- Tomás, W. M., W. McShea, G. H. B. Miranda, J. R. Moreira, G. Mourão and P. A. L. Borges. 2001. A survey of a pampas deer, *Ozotoceros bezoarticus leucogaster* (Artiodactyla, Cervidae), population in the Pantanal wetland, Brazil, using the distance sampling technique. *Animal Biodiversity and Conservation* 24:101-106.
- Waide, R. B., and P. M. Narins. 1988. Tropical forest bird counts and the effect of sound attenuation. *The Auk* 105:296-302.
- Wilson, D. M., and J. Bart. 1985. Reliability of singing bird surveys: effects of song phenology during the breeding season. *The Condor* 87:69–73.

## **Capítulo I – Método de triangulação para estimar a abundância de aves de difícil visualização e fácil audição**

Samuel Lopes Oliveira<sup>1</sup>

James Joseph Roper<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Jardim das Américas, CEP 81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil.

e-mail para correspondência: [samuel.lo@hotmail.com](mailto:samuel.lo@hotmail.com)

Revista para formatação: The Condor



## **Abstract**

Population dynamics are both poorly studied and poorly known for most neotropical species of birds. An important cause of this lack of information is the difficulty with which data are collected to estimate a variety of population parameters, including population density. Many species are elusive or of naturally low densities. Thus, typical methods as in point counts and the use of distance estimation are of limited usefulness for many species. Here, we propose a method whereby difficult-to-see, but vocal, birds may be counted, permitting estimation of population density. Bellbirds vocalize loudly, but often remain unseen because their song perches are high in the canopy and difficult to see from the ground. Here, we describe triangulation to estimate the distance to singing birds and generating data that may then be used in distance sampling methods, such as in the program DISTANCE. We compared three methods used to estimate the distance to the bird from the winding road transect (perpendicular, radial, triangulation). Both perpendicular and radial methods are those often used in the literature, while we added triangulation as a means to simplify the process. The three methods provided similar estimates and confidence intervals, but both radial and perpendicular methods required more time and, being more labor intensive, are more prone to human errors than when using triangulation. We recommend the use of this method for sampling any animal that is vocal and difficult to see and suggest that it may even be more useful than measuring perpendicular distances by reducing the time necessary to complete a transect.

*Key words: distance sampling, triangulation, vocalizations, line transect, Bare-throated Bellbird, Procnias nudicollis.*

## **Resumo**

Pouco se conhece sobre as dinâmicas populacionais de muitas espécies neotropicais. A principal causa disso é o grande número de espécies florestais e o comportamento elusivo de muitas. Assim, métodos típicos de estimativa populacional como ponto de escuta e amostragens por distância não são úteis para a maioria das espécies. Neste trabalho é avaliado o uso da triangulação acústica para estimar densidade de espécies de difícil visualização, mas de fácil audição. Além dos dois métodos para estimar distâncias descritos na literatura (perpendicular e radial), mais um método é proposto, a triangulação. Os métodos foram aplicados durante o ciclo reprodutivo da araponga (*P. nudicollis*). O método proposto foi tão preciso quanto os outros, porém mais eficiente, necessitando de menos tempo para tratar os dados e estimar a densidade e menos passível a erros. A triangulação pode ser largamente aplicada não somente para aves, mas para espécies florestais de difícil visualização que apresentam comportamento de *lek* ou vocalizam de um ponto por tempo suficiente para triangulação.

*Palavras-chave: amostragem por distância, triangulação, vocalização, transecto, araponga, Procnias nudicollis.*

## INTRODUÇÃO

Estimar a densidade e abundância das espécies é um dos principais elementos no estudo da ecologia populacional (Buckland et al. 2008). Entender dinâmicas populacionais é fundamental para monitoramento de populações, porque permite acessar mudanças na abundância e a viabilidade de populações. Entretanto, existem espécies difíceis de observar, como espécies raras, elusivas, de baixas abundâncias, ou espécies florestais, onde a maioria das detecções, até 94 %, ocorre somente pela vocalização (Scott et al. 1981, DeJong and Emlen 1985, Buckland et al. 2004). Assim, é difícil estimar os tamanhos populacionais para estas espécies (Thompson 2004). Muitas espécies de aves neotropicais se encaixam nestas características, além disso, o fato de que a maioria das técnicas para se estimar tamanho populacional foram desenvolvidas para regiões temperadas gera dificuldade em trabalhar com parâmetros populacionais no neotrópico (Karr 1981).

Antes de se analisar as dinâmicas populacionais de uma espécie é necessário estimar o seu tamanho populacional, utilizando um método que gere estimativas confiáveis. Entre os métodos mais utilizados se destaca a amostragem por distância (*distance sampling*) (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993, Buckland et al. 2001, Buckland et al. 2004). A vantagem deste método é permitir que a abundância seja estimada por meio de uma modelagem da probabilidade de detecção dos indivíduos, removendo a necessidade de se basear em pressupostos irrealistas e não testáveis de detectabilidade constante (Thompson 2002, Marques et al. 2007). É considerado um método chave para gerar estimativas de abundância e densidade em condições de campo adversas (Thomas et al. 2010).

Geralmente a detecção do animal alvo é feita visualmente, porém podem ser

obtidos dados de vocalização e de sinais, como sopro de baleias, fezes e ninhos, a partir do qual é possível estimar a distância (Buckland et al. 2001, Thomas et al. 2010). Para espécies que vocalizam, o monitoramento acústico pode ser uma técnica que fornece informação de populações que vivem em habitats onde amostragem visual não pode ser feita (Baptista and Gaunt 1997, Payne et al. 2003, George et al. 2004).

As estimativas populacionais de aves baseadas na vocalização geralmente são feitas em áreas florestadas com o método de ponto (*transect points*), onde as distâncias são frequentemente estimadas ao invés de medidas, relaxando o pressuposto da precisão das medidas e diminuindo a precisão do método (Rosenstock et al. 2002). Este método é usado porque estimar a distância para uma ave não vista é difícil, pois a atenuação da vocalização é afetada pelo tipo e fisionomia da vegetação, posição da ave relativa ao observador, características do canto e ruídos de fundo (Waide and Narins 1988, Simons et al. 2007, Pacifici et al. 2008), gerando incertezas nas distâncias estimadas em detecções vocais (Alldredge et al. 2007). Uma boa solução é usar a vocalização para estimar a localização do indivíduo por triangulação (Buckland et al. 2004), e o melhor método para usar a triangulação auditiva é o transecto linear, já que o próprio movimento do observador facilita a triangulação (Bibby et al. 2000).

A falta de dados populacionais básicos é comum entre alguns grupos de aves difíceis de observar, como as araongas (*Procnias* spp.) da família Cotingidae. Vários fatores dificultam o censo das quatro espécies de *Procnias*. Todas habitam o dossel florestal, as fêmeas são verdes, camufladas e silenciosas, os machos apresentam maturidade tardia e vocalizam somente durante o período reprodutivo, sendo praticamente indetectáveis quando não cantam (Snow 1970, 1977, Snow 1973, Sick 1997, Negro 2011).

Para arapongas e outras espécies difíceis de visualizar, é necessário desenvolver uma metodologia de amostragem que permita medir distâncias acuradamente sem ver os indivíduos. Este problema é resolvido por meio da característica própria do grupo, o sistema de acasalamento em *lek* explodido (*exploded lek*). Neste sistema os machos se exibem em poleiros que usam repetidamente, dentro das copas, e assim, difíceis ou impossíveis de ver. Mas suas vocalizações são ouvidas de longe, e vocalizam o dia inteiro de um ou poucos poleiros (Snow 1973, Emlen and Oring 1977, Bradbury 1981, Payne 1984).

Considerando a importância de se conhecer dados populacionais e a dificuldade de gerar estes dados para espécies florestais, este trabalho propõe o uso da triangulação auditiva e a avaliação da aplicação da metodologia por meio de transecto linear para fornecer estimativas populacionais eficientes e seguras. Para determinar a qualidade da estimativa de distância e sua precisão foram comparados três maneiras de usar triangulação. Assim foi possível determinar qual método é mais eficiente.

## **MÉTODOS**

### **Espécie estudada**

*Procnias nudicollis* é endêmica da Mata Atlântica (Bencke et al. 2006), com distribuição histórica correspondendo a da Mata Atlântica, do Brasil oriental, desde a Paraíba e Pernambuco ao Rio Grande do Sul, alcançando o sul do Mato Grosso do Sul, o leste do Paraguai e a província de Misiones, no nordeste da Argentina (Ridgely and Tudor 1994, Pacheco and Whitney 1995, Sick 1997). É bem conhecida pelo seu canto que lembra o som produzido por uma martelada forte ou o atrito de uma lima contra o ferro (SICK, 1997). O macho adulto tem corpo branco e face nua esverdeada, enquanto

a fêmea é verde estriada (Ridgely and Tudor 1994, Sick 1997). O macho imaturo é semelhante à fêmea, atingindo a plumagem adulta apenas no terceiro ano de vida (Sick 1997).

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Serra do Mar paranaense, no município de Piraquara, na localidade conhecida como Mananciais da Serra (25°30' S, 48°56' W: Fig. 1). A área está no Parque Estadual do Pico do Marumbi (87 km<sup>2</sup>) e representa um dos últimos remanescentes bem preservados de Mata Atlântica na região de Curitiba (Lacerda 1999, Reginato and Goldenberg 2007). O clima da região é subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, e invernos com geadas frequentes e sem estações secas (IAPAR, 1994). A temperatura média no mês mais frio é de 12° C e no mais quente de 20° C, a precipitação anual média dos últimos cinco anos é de 1915 mm (IAPAR, dados não publicados), sendo os meses de outubro, novembro e dezembro os mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (Maack 1981). As altitudes na área de trabalho variam entre 900 e 1020 m.

### **Os censos**

A teoria da amostragem por distância em transecto em linha está baseada em cinco premissas, que devem ser atendidas para gerar uma estimativa de densidade precisa (em ordem de importância): (1) todos os indivíduos diretamente acima da linha do transecto devem ser detectados; (2) indivíduos são detectados em sua posição inicial, antes de qualquer movimento do observador; (3) indivíduos se movem lentamente em relação a velocidade do observador; (4) distâncias são medidas ou estimadas

acuradamente; e 5) detecções são eventos independentes (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993).

Existem duas maneiras básicas de estimar a distância do indivíduo contado durante a amostragem em transecto em linha. A mais simples é a distância perpendicular ( $x$ ), na qual o observador encontra o animal, anda até o ponto do transecto que é perpendicular ao animal, e mede a distância. Na segunda maneira o observador, ao avistar o indivíduo, mede a distância de avistamento (distância radial =  $r$ ) e o ângulo de avistamento relativo ao ângulo (direção da linha) do transecto ( $\theta$ ) (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 2001). Posteriormente a distância perpendicular pode ser calculada pela expressão:

$$x = r \times \sin\theta$$

Para estimar a abundância de *P. nudicollis*, o método radial foi modificado para usar a triangulação nos machos adultos vocalizando, com base de dois ângulos partindo de pontos com coordenadas conhecidas separados por distância maior de 20 m. A triangulação foi feita com dois pontos (A e B), cujas coordenadas de GPS foram anotadas e os ângulos até o som do indivíduo vocalizando foram medidos com uma bússola (Fig. 2).

Por causa da vegetação densa e do relevo montanhoso não foi possível realizar a amostragem em transectos em linha reta. Portanto, uma trilha já existente foi usada, da qual eram percorridos 6 km por contagem (Fig. 1). As amostragens eram iniciadas no máximo até uma hora após o nascer do sol e somente na ausência de chuva e neblina, por diminuir a atividade e afetar a habilidade do observador de detectar indivíduos (Peres 1999). Cada amostragem correspondeu a uma contagem percorrendo o transecto, feita em dias diferentes e com intervalo mínimo de sete dias.

As amostragens foram realizadas como parte de um estudo do ciclo reprodutivo que iniciou em 2010. Durante o pico anual de atividade de canto foram obtidas seis amostragens independentes com tamanho amostral de 20 indivíduos ou mais. Na estação reprodutiva seguinte foi realizada mais uma amostragem, porém com o comprimento do transecto maior (9 km) (Fig. 1) para aumentar o tamanho amostral e a precisão da estimativa de densidade. A data para realização da amostragem no ciclo de 2011 foi baseada no período de maior atividades dos machos no ciclo anterior.

### **Análise**

Em transectos com curvas é recomendado o uso das distâncias mais curtas entre o transecto e os indivíduos (Hiby and Krishna 2001). No entanto, no presente estudo não era possível determinar esta distância diretamente em campo, porque os indivíduos não eram visíveis, assim as distâncias foram estimadas no computador a partir das informações coletadas em campo. Os dados coletados (coordenadas e ângulos) foram usados em três métodos para estimar as distâncias que posteriormente foram usadas no programa DISTANCE (Thomas et al. 2010) para gerar a estimativa de densidade. Pela literatura, em geral, são usadas duas maneiras de medir as distâncias. A priori, é proposto mais um método que é testado com relação a eficiência, sem comprometer a confiabilidade dos dados. Os três métodos foram:

Perpendicular – Recomendado para espécies de fácil visibilidade (Buckland 1985), (e.g. Andriolo et al. 2005, Rocha et al. 2008, Azhar et al. 2009, Ingberman et al. 2009, Williams et al. 2011). Neste estudo representa a distância mais curta entre a ave e o transecto (Fig. 3A), baseado em Hiby e Krishna (2001). Para medir esta distância neste estudo, primeiro as posições geográficas dos indivíduos (P) foram obtidas por



meio de triangulação com o programa Locate III (Nams 2006) e inseridas no programa Google Earth (Google Inc. 2011), onde foi medida a distância da posição do indivíduo até o ponto mais próximo da linha do transecto percorrido. As distâncias obtidas foram usadas no programa DISTANCE.

Radial – Recomendado para espécies que fogem ou se movimentam devido ao movimento do observador (Hayes and Buckland 1983), (e.g. Brennan and Block 1986, Kelley Jr 1996, Wingard et al. 2011). Neste estudo a distância foi calculada com base no ângulo zero orientado pela direção predominante do transecto (Fig. 3B). O ponto (P), onde se localiza o indivíduo é obtido por triangulação no programa Locate III e inserido no Google Earth, junto com os pontos A e B. A distância entre os pontos obtidos por GPS e o indivíduo é medida, a menor das duas ( $r$ ) e o ângulo formado entre o braço e a linha predominante do transecto ( $\theta$ ), medido manualmente, são inseridos na função radial do programa DISTANCE.

Triangulação – Método proposto aqui para facilitar as estimativas e reduzir o tempo gasto nos cálculos. A distância é calculada com base em um triângulo, através da lei do cosseno e as coordenadas obtidas em campo. A lógica do cálculo é no ângulo zero orientado pela linha reta entre os pontos A e B (Fig. 3C). Neste método é realizada uma triangulação básica, formando-se um triângulo entre os pontos A, B e P. Determina-se qual ponto marcado no transecto tem a distância mais curta ( $r$ ) até o ponto P, e o ângulo ( $\theta$ ) entre esta linha e a linha entre o ponto A e B. Assim, usando somente os ângulos da bússola e as coordenadas, um *script* de triangulação escrito no programa R (R Development Core Team 2011) foi criado para calcular o comprimento dos lados do triângulo, com as suas direções, determinar qual das linhas (A-P ou B-P) é a mais curta e calcular o ângulo formado entre a linha A-B e a linha mais curta, dispensando a

necessidade de usar um mapa (Apêndice). A partir deste processo, uma tabela com a medida da distância e o ângulo do menor dos dois braços é gerada pelo programa R e importada para ser analisada no programa DISTANCE.

Os três métodos têm uma parte em comum – a de digitar as coordenadas e ângulos dos indivíduos cantando. Os primeiros dois necessitam de trabalho posterior no computador para gerar os dados para usar no DISTANCE. O *script* do terceiro método gera, a partir das coordenadas e ângulos, uma planilha pronta para usar no DISTANCE, sem passos intermediários. Os três métodos foram comparados no tempo gasto e nas estimativas de densidades geradas. Foram usadas as seis amostragens com o maior número amostral para esta comparação. O valor do coeficiente de variação (CV) determina a precisão da estimativa e se o tamanho amostral foi suficiente, sendo aceitáveis valores menores de 30 % (Buckland et al. 2001). A seleção do melhor modelo para cada estimativa foi baseada no menor valor do AIC (*Akaike's Information Criterion*) e da avaliação visual da curva de probabilidade de detecção (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993, Bibby et al. 2000, Buckland et al. 2001).

## RESULTADOS

Dos três métodos usados para gerar a distância entre o transecto e o indivíduo, os dois primeiros exigem medidas extras além dos dados obtidos em campo, o que demanda mais tempo para triangular, inserir os pontos nos mapas e realizar as medidas de distância. Por exemplo, em uma amostragem com 40 indivíduos referenciados, para o método perpendicular o tempo médio necessário para processar os dados obtidos em campo seria de 60 min (IC 95% = 57-63), e para o método radial 96 min (IC 95% = 94-98). No método de triangulação somente digitamos as coordenadas dos pontos A e B de

cada registro e os respectivos ângulos, não sendo necessária nenhuma medida além das obtidas em campo. Todo o cálculo de triangulação realizado no programa R.

As estimativas de densidade geradas na primeira estação reprodutiva para os três métodos variam de 11 a 17 machos km<sup>-2</sup> (Tabela 1). Os três métodos de estimar a distância geraram estimativas populacionais semelhantes (Fig. 4). Foram obtidos valores baixos de coeficiente de variação ( $\leq 15$ ), mesmo com tamanho amostral menor do que o recomendado de 40 indivíduos (Buckland 2001), o que reflete a precisão das amostragens.

Na amostragem realizada na estação reprodutiva de 2011, com o aumento do comprimento do transecto, foi possível aumentar o tamanho amostral para 36 indivíduos. Assim, a estimativa de densidade foi mais precisa (CV = 10) e os resultados gerados usando os três métodos variaram entre 14.5 e 15.3 machos km<sup>-2</sup> (Tabela 1). Além disso, mesmo com o CV menor em 2011 (média de 10.6 contra 18), as estimativas ainda foram dentro do intervalo de confiança de 95 % do ano anterior. As funções de probabilidade de detecção da estimativa mais precisa foram aceitáveis e visualmente semelhantes (Fig. 5). Para as três metodologias usadas os modelos analisados no programa DISTANCE que melhor se ajustaram a função de detecção foram função *Half-normal* e o termo de ajuste *Simple polynomial*.

## **DISCUSSÃO**

As metodologias perpendicular, radial e triangulação geraram estimativas semelhantes, com intervalos de confiança sobrepostos, a triangulação foi muito mais eficiente, além de eliminar possíveis erros do pesquisador durante o mapeamento. Quando o transecto percorrido possui curvas, o recomendado é usar a distância mínima

entre o indivíduo e o transecto (método perpendicular) (Hiby and Krishna 2001), porém com a impossibilidade de visualizar o indivíduo em campo, esta medida deve ser feita posteriormente, o que torna o processo trabalhoso e demorado. O método radial, baseado na distância radial e no ângulo formado entre a linha do transecto e a linha radial, apresentou resultados semelhantes com os do método perpendicular, no entanto é mais trabalhoso e demorado. Já a triangulação tem a melhor relação custo benefício, com resultados semelhantes aos outros métodos (IC sobrepostos) e consideravelmente mais rápido, além de ser menos sujeito ao erro humano. Mesmo em um transecto com curvas o terceiro método apresentou resultados semelhantes aos outros métodos. No caso de pesquisas com o transecto em linha reta, onde não é possível ver o indivíduo, a estimativa gerada na triangulação deve ser igual à fornecida pelo método perpendicular. A precisão e similaridade das estimativas populacionais entre os três métodos resultaram principalmente do desenho amostral e implementação cuidadosos, o que nos permitiu atingir a maioria dos pressupostos do método e minimizar o viés.

Ao estimar o grau do ângulo em campo, é possível que ocorra perda de precisão com o aumento da distância do indivíduo. No entanto, se não houver viés nas estimativas de distâncias curtas, a menor precisão em longas distâncias não vai gerar viés no resultado da densidade estimada (Buckland et al. 1993, Buckland and Handel 2006).

Os resultados satisfatórios obtidos por amostragens em transecto em linha são bem conhecidos (Andersen et al. 1985, Brennan and Block 1986, Kelley Jr 1996), e estudos que comparam a precisão entre diferentes metodologias para gerar estimativas populacionais mostram maior precisão fornecida por transectos em linha (Burnham et al. 1985, Casagrande and Beissinger 1997, Cassey et al. 2007, Azhar et al. 2009),

corroborando o descrito na literatura (Rosenstock et al. 2002, Buckland and Handel 2006). Além disso, métodos com vocalizações tem obtido bons resultados com mamíferos (Thompson et al. 2010).

A amostragem realizada em dezembro de 2011 foi a que resultou nas estimativas mais precisas, considerando os três métodos analisados, apresentando menores coeficientes de variação e intervalos de confiança, devido ao aumento no tamanho amostral (Buckland et al. 1993). No entanto, as estimativas geradas no ciclo reprodutivo anterior também podem ser consideradas precisas, porque apresentaram coeficiente de variação menor que 30% (Buckland et al. 2001). Isto significa que o tamanho amostral de 20 indivíduos, na metodologia usada, foi suficiente para fornecer estimativas seguras. Estimativas geradas com tamanhos amostrais entre 15 e 30 indivíduos também podem gerar estimativas robustas, dependendo da distribuição dos dados (Buckland et al. 1993, Peres 1999, Cullen and Rudran 2003).

Mesmo obtidos no período de maior atividade das araongas e mostrando precisão, os valores fornecidos pelo DISTANCE variaram de 11 a 17 ind km<sup>-2</sup>, sendo provável que a variação no comportamento dos machos cause esta diferença nos resultados. Ademais, a atividade dos machos pode ter sido afetada pelas quedas bruscas de temperatura, mesmo nos meses de verão, que ocorrem na região onde foi realizada a pesquisa, refletindo nos resultados dos dados analisados. Fatores como frio, chuva e vento estão relacionados à queda atividade de canto (Armstrong 1963). É improvável que amostras repetidas em dias diferentes forneçam estimativas exatamente iguais. Uma vez que todas as estimativas ficaram dentro do intervalo de confiança, é possível afirmar que a densidade está entre estes valores.

Normalmente, é recomendado o uso de vários transectos retos posicionados

aleatoriamente na área de interesse (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993). No entanto, em áreas densamente florestadas e montanhosas isto consome muito tempo e recursos (Karanth and Sunquist 1992, Walsh and White 1999), e pode ser impraticável se, para atingir um número amostral suficiente seja necessário transectos muito longos. Neste caso, quando se gera uma estimativa populacional por meio da amostragem de somente um transecto, se assume que ou os indivíduos são distribuídos aleatoriamente com densidade constante em toda a área de estudo ou o transecto está localizado de forma independente da densidade da espécie.

Em situações como a citada acima vale à pena considerar o uso de trilhas já existentes como transectos. Embora Buckland (2001) não recomende esta prática, Cassey et al. (2007) não encontraram diferenças nas densidades estimadas entre transectos em trilhas e transectos posicionados aleatoriamente. O viés nas estimativas geradas em transectos em trilhas pode surgir por algum tipo de comportamento de evitar a trilha (Buckland 1985). Pelo comportamento das arapongas observado em campo, elas não evitam trilhas, inclusive tendo poleiros sobre as trilhas. Isto pode ser discernido visualmente no histograma de probabilidade de detecção (Fig. 5).

Finalmente, o método de triangulação auditiva oferece uma abordagem eficiente, rápida e suficientemente precisa para ser usada com esta espécie e qualquer outra com padrões semelhantes e difíceis de observar, incluindo primatas e anfíbios. Esta metodologia pode ser usada em áreas com diferentes níveis de conservação com o objetivo de comparar os resultados com os que foram reportados aqui. Para espécies como araponga isso é fundamental para descobrir o nível de ameaça ou declínios populacionais, já que o gênero tem as características de espécies potencialmente ameaçadas, incluindo baixa taxa de reprodução e especialização em recursos

alimentares. Além disso, finalmente podem ser gerados dados populacionais para todas as espécies do gênero, permitindo o monitoramento de populações.

## LITERATURA CITADA

- Allredge, M.W., T. R. Simons, and K. H. Pollock. 2007. A field evaluation of distance measurement error in auditory avian point count surveys. *Journal of Wildlife Management* 71:2759-2766.
- Andersen, D. E., O. J. Rongstad, and W. R. Mytton. 1985. Line transect analysis of raptor abundance along roads. *Wildlife Society Bulletin* 13: 533–539.
- Andriolo, A., U. Piovezan, M. J. R. P. Costa, J. Laake, and J. M. B. Duarte. 2005. Aerial line transect survey to estimate abundance of marsh deer (*Blastocerus dichotomus*) (Illiger, 1815). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 48:807-814.
- Azhar, B., M. Zakaria, E. Yusof, and P. C. Leong. 2009. Efficiency of fixed-width transect and line-transect-based distance sampling to survey Red Junglefowl (*Gallus gallus spadiceus*) in Peninsular Malaysia. *Journal of Sustainable Development* 1:63-73.
- Baptista, L. F., and S. L. Gaunt. 1997. Bioacoustics as a tool in conservation studies, p. 212-242. *In* J. R. Clemmons and R. Buchholz [eds.], *Behavioral approaches to conservation in the wild*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bencke, G. A., G. N. Mauricio, P. F. Develey, and J. M. Goerck. 2006. Áreas importantes para a conservação de aves no Brasil. Parte I – Estados do domínio da Mata Atlântica. SAVE Brasil, São Paulo.
- Bibby, C. J., N. D. Burgess, D. A. Hill, and S. H. Mustoe. 2000. *Bird census techniques*, 2nd ed. Academic Press, London.

- Bradbury, J. W. 1981. The evolution of leks, p. 138-169. *In* R. D. Alexandre and D. W. Tinkle [eds.], *Natural selection and social behavior*. New York, Chiron Press.
- Brennan, L.A., and W.M. Block. 1986. Line transect estimates of mountain quail density. *Journal of Wildlife Management* 50:373-377.
- Buckland, S. T. 1985. Perpendicular distance models for line transect sampling. *Biometrics* 41:177-195.
- Buckland, S.T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, and J. L. Laake. 1993. *Distance sampling. estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S. T. 2004. *Advanced distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S. T., and C. M. Handel. 2006. Point-transect surveys for songbirds: robust methodologies. *The Auk* 123:345–357.
- Buckland, S. T., S. J. Marsden, and R. E. Green. 2008. Estimating bird abundance: making methods work. *Bird Conservation International* 18:S91-S108.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs* 72: 3–202.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake. 1985. Efficiency and bias in strip and line transect sampling. *Journal of Wildlife Management* 49:1012–1018.
- Casagrande, D. G., and S. R. Beissinger. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *The Condor* 99:445–457.



- Cassey, P., J. L. Craig, and B.H. McArdle. 2007. Distance sampling techniques compared for a New Zealand endemic passerine (*Philesturnus carunculatus rufusater*). *New Zealand Journal of Ecology* 31:223-231.
- Cullen, L., and R. Rudran. 2003. Transectos lineares na estimativa de densidade de mamíferos e aves de médio e grande porte, p. 169-179. *In* R. Cullen, R. Rudran, and C. Valladares-Pádua [eds.], *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*. UFPR, Curitiba.
- DeJong, M. J., and J. T. Emlen. 1985. The shape of the auditory detection function and its implications for songbird censusing. *Journal of Field Ornithology* 56:213–223.
- Emlen, S. T., and L. W. Oring. 1977. Ecology, sexual selection, and the evolution of mating systems. *Science* 197:215-223.
- George, J. C., J. Zeh, R. Suydam, and C. Clark. 2004. Abundance and population trend (1978-2001) of western arctic bowhead whales surveyed near Barrow, Alaska. *Marine Mammal Science* 20:755–773.
- Google Inc. 2011. Google Earth. Version 6.0.3.2197. Disponível em:  
<http://www.google.com/earth/index.html>.
- Hayes, R. J., and S. T. Buckland. 1983. Radial-distance models for the line-transect method. *Biometrics* 39:29-42.
- Hiby, L., and M. B. Krishna. 2001. Line transect sampling from a curving path. *Biometrics* 57:727-731.
- IAPAR. 1994. Cartas climáticas do estado do Paraná. Documento 18. Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina
- Ingberman, B., R. Fusco-Costa, and E. L. A. Monteiro-Filho. 2009. Population survey and demographic features of a coastal island population of *Alouatta clamitans* in

- Atlantic Forest, southeastern Brazil. *International Journal of Primatology* 30:1-14.
- Karr, J. R. 1981. Surveying birds in the tropics. *Studies in Avian Biology* 6: 548-553.
- Kelley Jr, J.R. 1996. Line-transect sampling for estimating breeding wood duck density in forested wetlands. *Wildlife Society Bulletin* 24:32-36.
- Lacerda, A. C. B. 1999. Levantamento florístico e estrutural da vegetação secundária em área de contato da Floresta Ombrófila Densa e Mista. Dissertação de Mestrado em Botânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Maack, R. 1981. Geografia física do Estado do Paraná. 2nd ed. José Olympio, Rio de Janeiro.
- Marques, T. A., L. Thomas, S. G. Fancy, and S. T. Buckland. 2007. Improving estimates of bird density using multiple-covariate distance sampling. *The Auk* 124:1229-1243.
- Nams, V. O. 2006. *Locate III User's Guide*. Pacer Computer Software, Tamagouche, Nova Scotia, Canada.
- Pacheco, J. F., and B. M. Whitney. 1995. Range extensions for some birds in northeastern Brazil. *Bulletin of the British Ornithologists Club* 115:157-163.
- Pacifici, K., T. R. Simons, and K. H. Pollock. 2008. Effects of vegetation and background noise on the detection process in auditory avian point-count surveys. *The Auk* 125:600–607.
- Payne, R. B. 1984. Sexual selection, lek and arena behavior, and sexual size dimorphism in birds. *Ornithological Monographs* 33:1–52.
- Payne, K. B., M. Thompson, and L. Kramer. 2003. Elephant calling patterns as indicators of group size and composition: the basis for an acoustic monitoring system. *African Journal of Ecology* 41:99-107.

- Peres, C. A. 1999. General guidelines for standardizing line-transect surveys of tropical forest primates. *Neotropical primates* 7:11-16.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing, Viena, Austria.
- Reginato, M., and R. Goldenberg. 2007. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. *Hoehnea* 34:349–364.
- Ridgely, R., and G. Tudor. 1994. The birds of South America, Vol. 2. The suboscine passerines. University of Texas Press, Austin.
- Rocha, E. C., E. Silva, R. N. Feio, S. V. Martins, and G. Lessa. 2008. Densidade populacional de raposa-do-campo *Lycalopex vetulus* (Carnivora, Canidae) em áreas de pastagem e campo sujo, Campinópolis, Mato Grosso, Brasil. *Iheringia Série Zoologia* 98:78-83.
- Rosenstock, S. S., D. R. Anderson, K. M. Giesen, T. Leukering, and M. F. Carter. 2002. Landbird counting techniques: current practices and an alternative. *The Auk* 119:46-53.
- Scott, J. M., F. L. Ramsey, and C. B. Kepler. 1981. Distance estimation as a variable in estimating bird numbers from vocalizations. *Studies in Avian Biology* 6:334-340.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia Brasileira*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- Simons, T. R., M. W. Alldredge, K. H. Pollock, and J. M. Wettroth. 2007. Experimental analysis of the auditory detection process on avian point counts. *The Auk* 124:986-999.
- Snow, D. W. 1973. Distribution, ecology and evolution of the bellbirds (Procnias, Cotingidae). *Bulletin of the British Museum* 25:369-395.

- Thomas, L., S. T. Buckland, E. A. Rexstad, J. L. Laake, S. Strindberg, S. L. Hedley, J. R. B. Bishop, T. A. Marques, and K. P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *The Journal of Applied Ecology* 47:5-14.
- Thompson, M. E., S. J. Schwager, and K. B. Payne. 2010. Heard but not seen: an acoustic survey of the African forest elephant population at Kakum Conservation Area, Ghana. *African Journal of Ecology* 48:224-231.
- Thompson, W. L. 2002. Towards reliable bird surveys: accounting for individuals present but not detected. *The Auk* 119:18-25.
- Thompson, W. L. 2004. Sampling rare or elusive species: concepts designs and techniques for estimating population parameters. Island Press, Washington, DC.
- Waide, R. B., and P. M. Narins. 1988. Tropical forest bird counts and the effect of sound attenuation. *The Auk* 105:296-302.
- Williams, R., S. L. Hedley, T. A. Branch, M. V. Bravington, A. N. Zerbini, and K. P. Findlay. 2011. Chilean Blue Whales as a case study to illustrate methods to estimate abundance and evaluate conservation status of rare species. *Conservation Biology* 25:526-535.
- Wingard, G. J., R. B. Harris, S. Amgalanbaatar, and R. P. Reading. 2011. Estimating abundance of mountain ungulates incorporating imperfect detection: argali *Ovis ammon* in the Gobi Desert, Mongolia. *Wildlife Biology* 17:93-101.

TABELA 1. Estimativas de densidade populacional de *Procnias nudicollis* (machos) geradas no programa DISTANCE, usando três métodos.  $n$  = número de indivíduos, D = estimativa de densidade, entre parênteses o intervalo de confiança 95%, CV = coeficiente de variação.

Data	$n$	Perpendicular		Radial		Triangulação	
		D	CV	D	CV	D	CV
07/11/2010	20	15.9 (12.3-20.7)	12	15.2 (11.5-20.1)	13	16.6 (12.5-21.9)	13
14/11/2010	22	13.5 (8.9-20.7)	21	13.5 (9-20.5)	20	12.2 (7.8-19.1)	22
28/11/2010	23	11.5 (7.1-18.7)	24	11.3 (7.2-17.9)	22	10.5 (6.3-17.6)	25
11/12/2010	21	10.9 (7.6-15.9)	18	12.2 (8.7-17.2)	17	12.8 (9-18.2)	17
20/12/2010	20	14.5 (10.1-20.7)	17	15.1 (10.2-22.3)	19	14 (9.9-19.9)	17
16/01/2011	21	16.3 (11.9-22.3)	15	14.3 (10.5-19.5)	15	15.3 (11-21.3)	16
18/12/2011	36	15.3 (12.5-18.6)	10	14.5 (11.7-18)	11	14.9 (11.9-18.7)	11

## Legendas das figuras

FIGURA 1. Área onde foi realizado o estudo nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. Linha escura representa o transecto de 6 km percorrido no ciclo reprodutivo de 2010 e a linha branca os 3 km a mais percorridos na amostragem feita em 2011.

FIGURA 2. Método para a triangulação dos indivíduos em campo. L = transecto. A e B são os pontos no transecto onde são marcadas as coordenadas de GPS em UTM. As linhas pontilhadas representam o ângulo da bússola em direção ao canto do indivíduo. P = localização do indivíduo. A direção em que o transecto é percorrido é mostrada pela flecha, de A para B.

FIGURA 3. Exemplo de como são geradas as distâncias a serem inseridas no programa DISTANCE. A) P = localização do indivíduo e x = distância mais curta entre o indivíduo e o transecto. B) P = localização do indivíduo, r = linha mais curta entre os dois pontos marcados no transecto,  $\theta$  = ângulo formado pelo sentido predominante do transecto e a linha mais curta. C) P = localização do indivíduo, r = linha mais curta entre os dois pontos marcados no transecto,  $\theta$  = ângulo formado entre o ponto com a distância menor e o outro ponto do transecto.

FIGURA 4. Comparação dos resultados das densidades populacionais da araponga gerados pelo programa DISTANCE usando três metodologias nas medidas de distâncias dos indivíduos, perpendicular, radial e triangulação. Linhas com intervalo de confiança 95%.

FIGURA 5. Funções da probabilidade de detecção de *P. nudicollis* para os três métodos na amostragem de 18 de dezembro de 2011, nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. A) Perpendicular, B) Radial, C) Triangulação R. O histograma representa os valores observados e a curva os valores esperados.

Figura 1

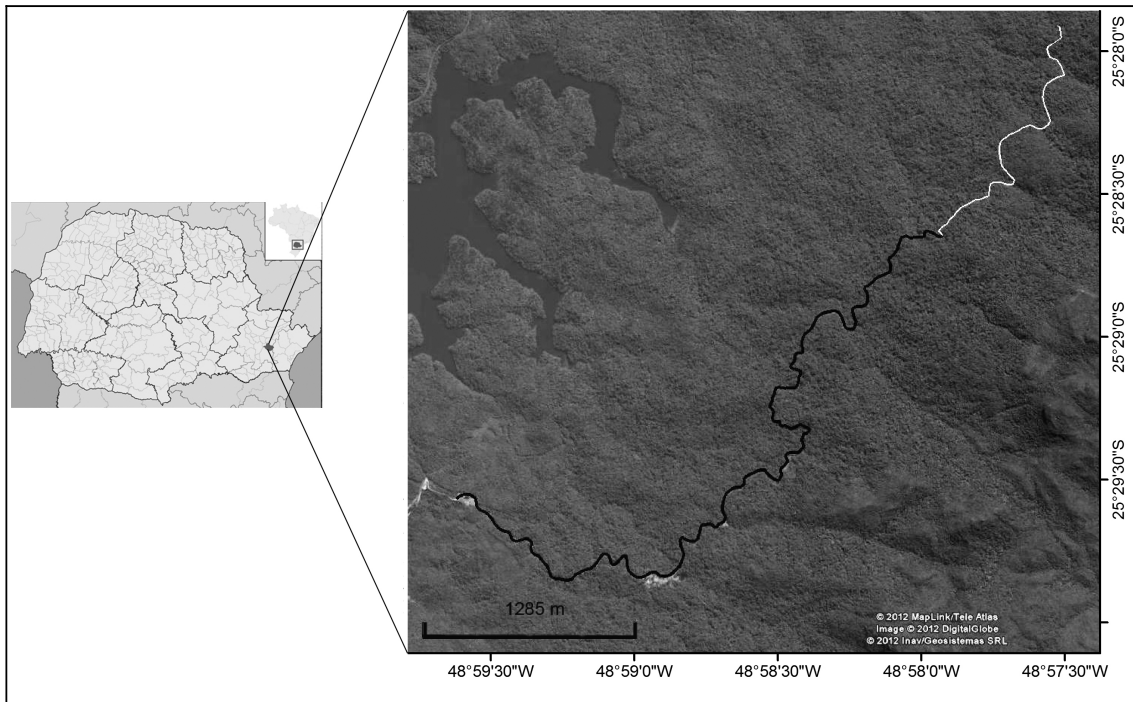


Figura 2

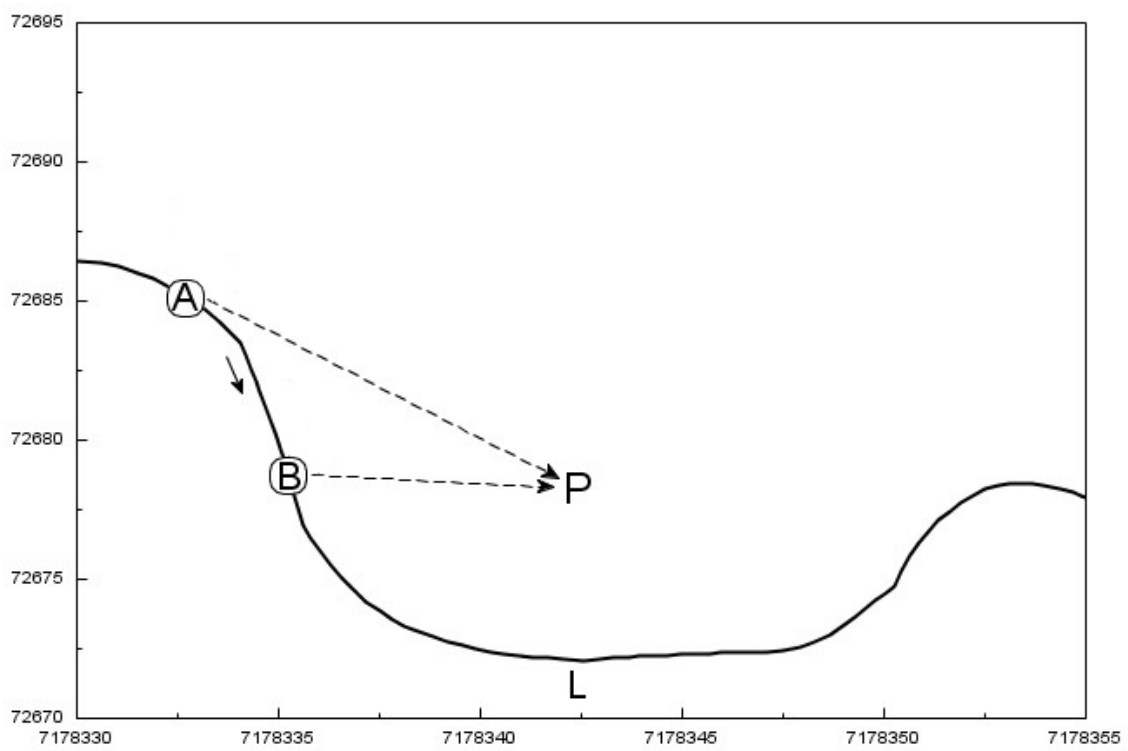




Figura 3

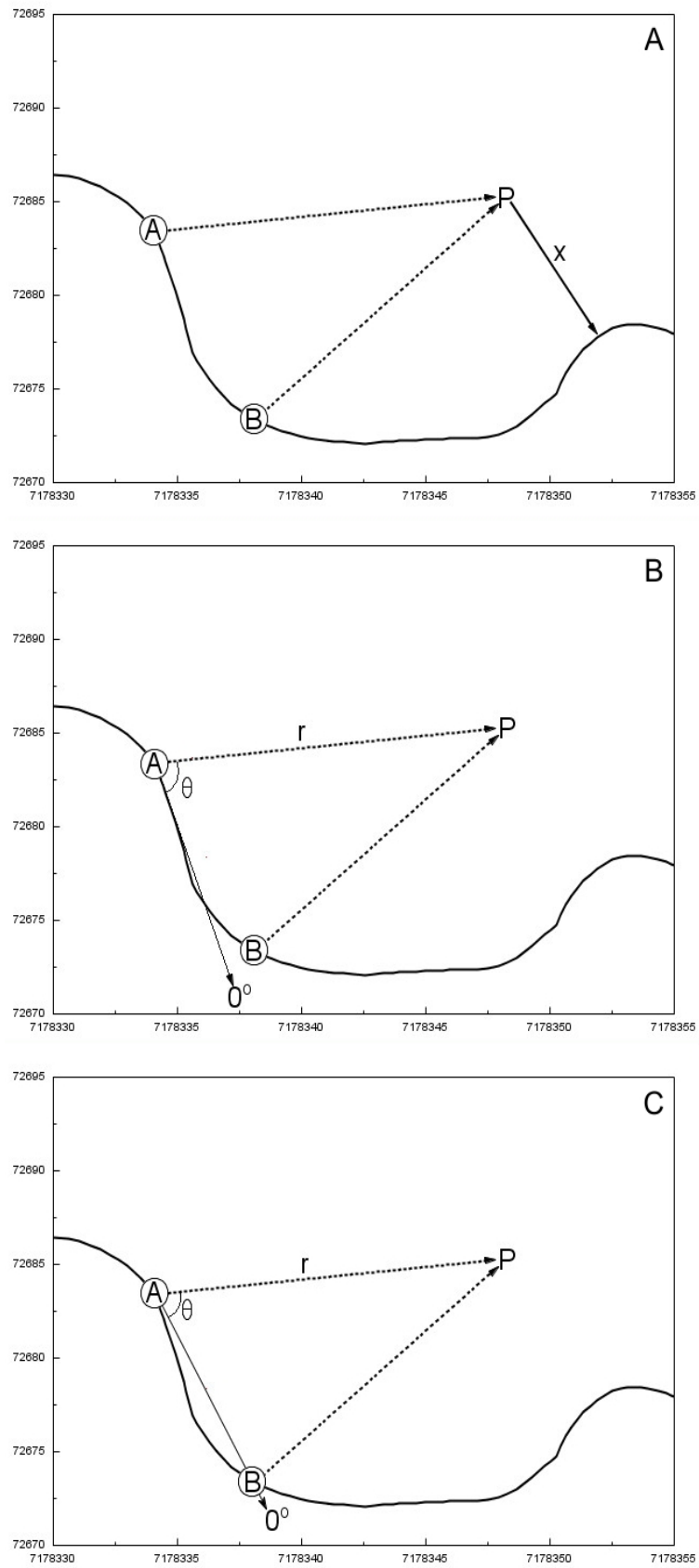


Figura 4

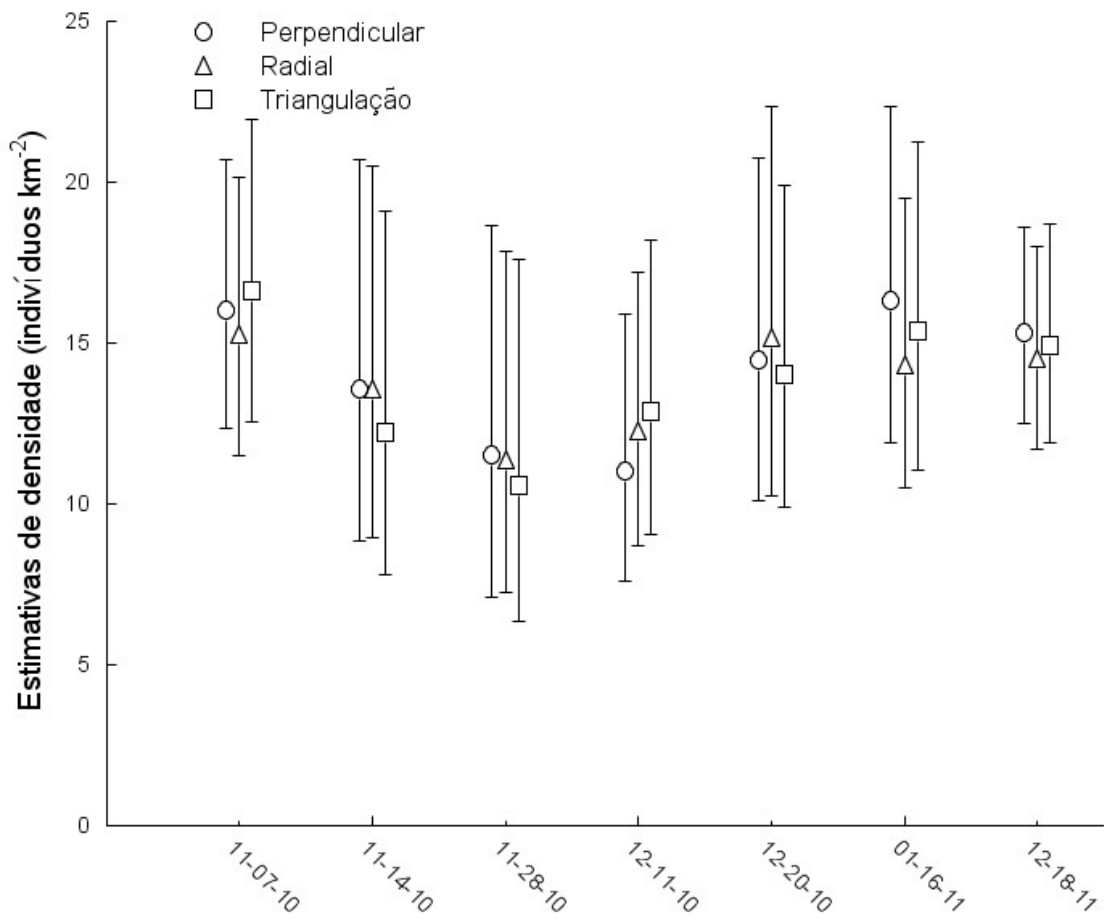
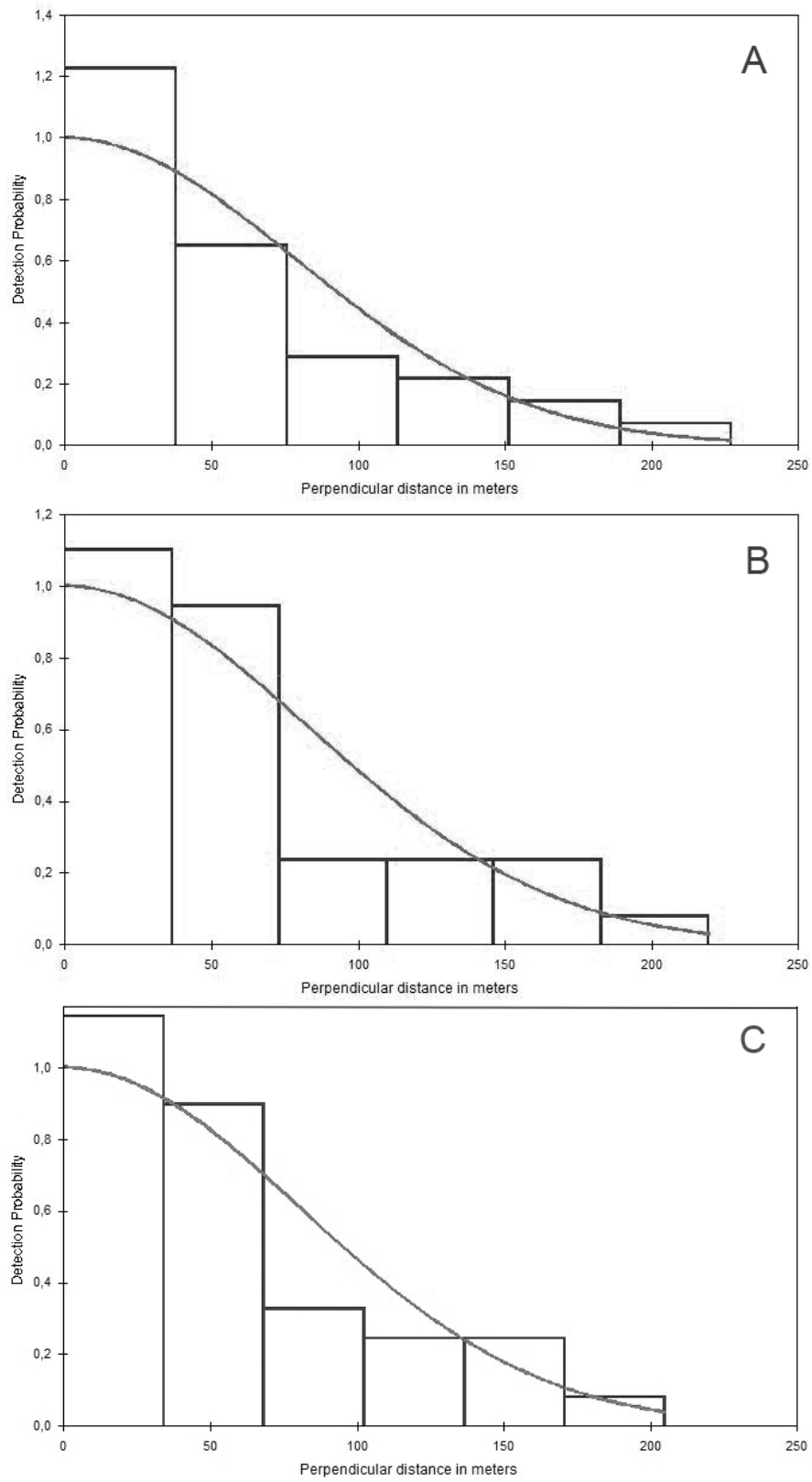


Figura 5



## Apêndice I

*Script* usado no programa R para calcular a triangulação:

```
dsn <-  
read.table()  
  
dsn$hyp = sqrt((dsn$longA-dsn$longB)^2+(dsn$latA-dsn$latB)^2)  
dsn$slopeA = 1/(tan(dsn$angleA*pi/180))  
dsn$slopeB = 1/(tan(dsn$angleB*pi/180))  
  
# nas duas linhas seguintes são corrigidos o efeito da declinação magnética. No caso da área do estudo é de 18.82° leste.  
dsn$slopeA = ifelse(dsn$angleA<19,1/(tan((dsn$angleA-18.82+360)*(pi/180))), 1/(tan((dsn$angleA-18.82)*(pi/180))))  
dsn$slopeB = ifelse(dsn$angleB<19,1/(tan((dsn$angleB-18.82+360)*(pi/180))), 1/(tan((dsn$angleB-18.82)*(pi/180))))  
  
dsn$longX = (dsn$slopeB*dsn$longB - dsn$slopeA*dsn$longA+dsn$latA-dsn$latB)/(dsn$slopeB-dsn$slopeA)  
dsn$latX = (dsn$slopeA*dsn$longX-dsn$slopeA*dsn$longA+dsn$latA)  
  
dsn$distAX = sqrt((dsn$longX - dsn$longA)^2 + (dsn$latX-dsn$latA)^2)  
dsn$distBX = sqrt((dsn$longX - dsn$longB)^2 + (dsn$latX-dsn$latB)^2)  
  
dsn$distX = ifelse(dsn$distAX < dsn$distBX, dsn$distAX, dsn$distBX)  
dsn$distX = ifelse(is.na(dsn$latB), 0, dsn$distX)  
  
dsn$angLAB = acos((dsn$distA^2 + dsn$hyp^2 - dsn$distB^2)/(2*dsn$distA*dsn$hyp))*(180/pi)  
dsn$angLBA = acos((dsn$distB^2 + dsn$hyp^2 - dsn$distA^2)/(2*dsn$distB*dsn$hyp))*(180/pi)  
dsn$anglX = ifelse(dsn$distA < dsn$distB,dsn$angLAB, dsn$angLBA)  
dsn$angleX = ifelse(dsn$anglX > 90, 180-dsn$anglX, dsn$anglX)  
  
distance <- subset(dsn, select=c(Data,distX,angleX))  
write.table(distance, "C:/path/distance.csv", sep="," , col.names=TRUE, row.names=FALSE,  
quote=FALSE, na="")
```

**Apêndice II** - Esquema matemático do script usado no programa R para calcular por triangulação a localização do indivíduo, determinar as distâncias entres os pontos de GPS marcados no transecto e o indivíduo e seleccionar qual delas é a mais curta e calcular o ângulo formado entre esta linha e a linha reta formada entre os pontos A e B.

Dados obtidos em campo:

I - Distância entre A e B (Hipotenusa):  $hyp = \sqrt{(longA - longB)^2 + (latA - latB)^2}$

II - Calcula-se o vértice dos ângulos A e B em radianos:  $slopeA = \frac{1}{\left(\tan\left(anguloA * \frac{\pi}{180}\right)\right)}$

III - Corrige-se a declinação magnética (deve ser conferida para cada área de trabalho). Na área de estudo a declinação magnética é de 19,1 graus leste. Assim, de cada ângulo obtido pela bússola deve ser subtraído 19,1 graus.

IV - Calcula-se a longitude e a latitude do indivíduo:

$$longX = \frac{(slopeB * longB - slopeA * longA + latA - latB)}{(slopeB - slopeA)}$$

$$latX = (slopeA * longX - slopeA * longA + latA)$$

V - Calcula-se as distâncias entre os pontos no transecto e o indivíduo e a distância mais curta é seleccionada:

$$distAX = \sqrt{(longX - longA)^2 + (latX - latA)^2}$$

$$distBX = \sqrt{(longX - longB)^2 + (latX - latB)^2}$$

VI - Calcula-se os ângulos que cada ponto forma entre a linha A e B e o indivíduo:

$$anglAB = \arccos \frac{(distA^2 + hyp^2 - distB^2)}{(2 * distA * hyp) * \left(\frac{180}{\pi}\right)}$$

$$anglBA = \arccos \frac{(distA^2 + hyp^2 - distB^2)}{(2 * distA * hyp) * \left(\frac{180}{\pi}\right)}$$

VII - São seleccionados a distância mais curta (obtida no passo V) e o ângulo correspondente (passo VI). Caso o ângulo for mais de 90° usa-se o ângulo oposto (ex: ângulo medido foi 105°, calcula-se 180-105 que resulta no ângulo oposto de 75°).

**Capítulo II - Ciclo reprodutivo e estimativa de densidade de araponga, *Procnias nudicollis* (Vieillot, 1817)**

Samuel Lopes Oliveira<sup>1</sup>

James Joseph Roper<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Jardim das Américas, CEP 81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil.

e-mail para correspondência: [samuel.lo@hotmail.com](mailto:samuel.lo@hotmail.com)

Revista para formatação: The Condor

## **Abstract**

The threatened Bare-throated Bellbird (*Procnias nudicollis*) is endemic to the Atlantic Forest of southern Brazil. Unfortunately, little to nothing is known about population size or dynamics. The main reason for this lack is the difficulty with which it is studied. To begin to fill this lacuna, we monitored the breeding season of 2010, in which singing birds were counted. These counts were used in a separate study to estimate abundance and here to describe the phenology of the breeding season. Density of singing males was estimated to be 15 ind.km<sup>-2</sup> (95% CI 11.9-18.7, CV = 11). Males were first heard vocalizing in early September and were no longer heard after late February. The number of singing males gradually increased until the peaks in late November. Young males began to be heard in mid November, and they also disappeared by late February. We suggest that the increase in calling was due to two possible causes: 1) variation in individual quality, where high quality individuals forage more efficiently and begin singing sooner, or 2) differential arrival on the breeding grounds after migration. The late date that juveniles begin vocalizing suggests the second option. With these data, we have the first attempt to study dynamics and feel that it is an invitation to further research for these interesting birds.

*Key words: Bare-throated Bellbird, Procnias nudicollis, reproductive cycle, distance sampling, breeding phenology.*

## **Resumo**

A araponga (*Procnias nudicollis*) é uma espécie endêmica da Mata Atlântica e ameaçada de extinção. No entanto, por ser difícil de amostrar, não possui dados populacionais básicos para que possam ser estudadas suas dinâmicas populacionais. Neste trabalho acompanhou-se o ciclo reprodutivo do ano de 2010 e usou-se a técnica de amostragem por distância e triangulação acústica em um transecto em linha para estimar a densidade populacional da araponga. A densidade de machos adultos foi estimada em 15 ind km<sup>2</sup>. A atividade dos machos adultos começou no início de setembro, terminando no meio de fevereiro de 2011. O número dos machos vocalizando aumenta gradualmente durante o ciclo reprodutivo, com pico dos machos adultos no final de novembro. A diferença no padrão sazonal entre machos adultos e jovens pode indicar que a espécie é migrante diferencial. Devem ser feitos estudos semelhantes em outras regiões para poder ver a variabilidade da abundância da espécie.

*Palavras-chave: araponga, Procnias nudicollis, ciclo reprodutivo, amostragem por distância, fenologia.*



## INTRODUÇÃO

*Procnias* é um gênero da família Cotingidae restrito ao neotrópico, representado por quatro espécies: *P. albus*, *P. averano*, *P. nudicollis* e *P. trincarunculata* (Snow 1973, Ridgely and Tudor 1994). A araponga, *P. nudicollis*, é endêmica da Mata Atlântica (Bencke. et al. 2006), com distribuição histórica ao longo do Brasil oriental, da Paraíba e Pernambuco ao Rio Grande do Sul, alcançando o sul do Mato Grosso do Sul, o leste do Paraguai e a Província de Misiones, no nordeste da Argentina (Ridgely and Tudor 1994, Pacheco and Whitney 1995, Sick 1997). É bem conhecida pelo canto do macho, que pode demorar até três anos para dominar plenamente, assim, os jovens são reconhecidos pela sua vocalização crocitante (Ridgely and Tudor 1994, Sick 1997).

Apesar de falta de informação sobre tamanho e dinâmicas populacional, a araponga é classificada como vulnerável em nível global, nos estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo, provavelmente ameaçada na Argentina e no Rio de Janeiro (Fraga 1997, Machado et al. 1998, Fontana et al. 2003, Bergallo et al. 2000, Bressan et al. 2009, IUCN 2011). A principal causa do declínio populacional da espécie é a crescente perda de habitat, devido à destruição e fragmentação das florestas (Aleixo and Galetti 1997, Sick 1997, Fontana et al. 2003).

Estudos das outras espécies do gênero (*P. albus*, *P. averano* e *P. trincarunculatus*) focaram principalmente no comportamento reprodutivo, sem obter dados sobre tamanho ou dinâmica populacional (Snow 1970, 1973, 1977, Roth et al. 1984). O comportamento elusivo destas espécies é o que dificulta a coleta de dados apropriada para estas análises. Todas habitam o dossel, dificultando a observação e captura, as fêmeas são verdes, camufladas e silenciosas e os machos apresentam maturidade tardia e vocalizam somente durante o período reprodutivo, sendo

praticamente indetectáveis quando não cantam (Snow 1970, 1973, 1977, Ridgely and Tudor 1994, Sick 1997, Negro 2011). Assim, existe grande lacuna de dados populacionais destas espécies.

Espécies raras ou elusivas são comumente as que necessitam de preocupação no manejo, devido a baixa abundância, distribuição geográfica limitada ou falta de informações confiáveis de status e tendência populacional (Thompson, 2004). Por serem estritamente frugívoras, as arapongas precisam de florestas preservadas e frutas sempre disponíveis (Snow 1971, Stotz et al. 1996, Sick 1997). Assim, a dinâmica populacional pode ser interessante tanto para ecologia, quanto para conservação, por serem possíveis indicadores de qualidade da floresta.

Informações sobre a biologia reprodutiva também é uma parte importante em estudos de ecologia populacional (Sutherland et al. 2004). Estes dados ajudam a determinar o período mais favorável para amostragem, pois diferenças fenológicas como a variação sazonal na atividade de vocalização e movimentos migratórios podem afetar a detectabilidade dos machos e, por consequência, causar um erro de até 25% na estimativa de densidade (Slagsvold 1977, Wilson and Bart 1985). Além disso, em espécies móveis como as aves, movimentos e mudanças na abundância podem estar altamente correlacionados com o ciclo reprodutivo, e o conhecimento da época de reprodução fornece as pistas para a interpretação dos movimentos e mudanças na abundância (Davis 1945).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi conhecer o ciclo reprodutivo de *Procnias nudicollis* e fornecer estimativas populacionais seguras para começar a entender dinâmicas populacionais da espécie. Com estas informações espera-se mostrar que as espécies do gênero podem ser estudadas, sendo possível analisar e acompanhar

as dinâmicas populacionais de uma espécie difícil de estudar.

## **MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Serra do Mar paranaense, no município de Piraquara, localidade conhecida como Mananciais da Serra (25°30' S, 48°56' W: Fig. 1). A área está no Parque Estadual do Pico do Marumbi (87 km<sup>2</sup>), representa uma das áreas com os últimos remanescentes bem preservados de Mata Atlântica na região de Curitiba (Lacerda 1999, Reginato and Goldenberg 2007). O clima da região é subtropical úmido, mesotérmico, com verões frescos, invernos com geadas frequentes e sem estações secas (IAPAR, 1994). A temperatura média no mês mais frio é de 12° C e no mais quente de 20° C, a precipitação anual média dos últimos cinco anos é de 1912 mm (IAPAR, dados não publicados), sendo os meses de outubro, novembro e dezembro os mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (Maack 1981). As altitudes na área de trabalho variam entre 900 e 1020 m.

### **Coleta e análise dos dados**

O estudo foi realizado na estação reprodutiva que iniciou no ano de 2010. A estimativa de densidade populacional foi gerada usando amostras por distância (*distance sampling*) em um transecto em linha (Buckland et al. 1993, Burnham et al. 1980). Uma trilha já existente foi usada, da qual foram percorridos 6 km por contagem (Fig. 1). As amostragens começaram a ser feitas antes do início do ciclo reprodutivo (antes de ouvir qualquer macho cantando) e finalizadas quando mais nenhum ouvido. O intervalo mínimo entre as amostragens foi de uma semana, sendo iniciadas sempre até

uma hora após o nascer do sol e somente na ausência de chuva e neblina, por afetar a habilidade do observador de detectar os indivíduos (Peres 1999). Cada amostragem correspondeu a uma contagem percorrendo o transecto.

Foi usada triangulação auditiva para referenciar os indivíduos em campo, por meio de dois ângulos da bússola partindo da trilha em direção à vocalização (Oliveira 2012, Capítulo 1). Com as coordenadas dos dois pontos da trilha (A e B) e os ângulos é possível obter a posição do indivíduo (P). Neste método é realizada uma triangulação básica, formando-se um triângulo entre os pontos A, B e P. Determina-se qual ponto marcado no transecto tem a distância mais curta ( $r$ ) até o ponto P, e o ângulo ( $\theta$ ) entre esta linha e a linha entre o ponto A e B. Assim, com base nos ângulos da bússola e as coordenadas, foi usado um *script* de triangulação escrito no programa R (R Development Core Team 2011) que calcula o comprimento dos lados do triângulo, com as suas direções, determina qual das linhas (A-P ou B-P) é a mais curta e calcula o ângulo formado entre a linha A-B e a linha mais curta. Posteriormente estes dados foram analisados na função radial do programa DISTANCE (Thomas et al. 2010) para gerar a estimativa de densidade populacional.

Quando a amostragem é baseada somente na vocalização das aves é necessário conhecer parâmetros do ciclo reprodutivo, como a possível variação sazonal na atividade de vocalização, pois o efeito da fenologia do canto durante o ciclo reprodutivo pode afetar a detectabilidade dos machos e por consequência a estimativa populacional (Slagsvold 1977, Wilson and Bart 1985). Assim, os adultos que por algum motivo não foram referenciados (muito distante da trilha ou pararam de cantar durante a triangulação) e os jovens, foram simplesmente contados, para acompanhar o padrão fenológico do ciclo reprodutivo e descobrir qual o período com maior atividade dos

machos, o qual representaria o melhor período de amostragem. Além disso, as contagens do número de machos adultos e jovens foram comparadas ao longo do ciclo reprodutivo para examinar a fenologia do comportamento e a estrutura temporal e sugerir uma possível razão etária. Após o término das atividades de vocalização dos machos foram realizadas mais duas visitas na área para confirmar que não haviam mais machos cantando, a última visita foi realizada em 20 de março de 2011.

Na estação reprodutiva seguinte (2011) foi realizada mais uma amostragem, porém com o comprimento do transecto de 9 km, para aumentar o tamanho amostral e a precisão da estimativa de densidade (Fig. 1). As estimativas de densidade foram calculadas no programa DISTANCE somente para as amostragens com 20 ou mais indivíduos referenciados. A seleção do melhor modelo para cada estimativa foi baseada no menor valor do AIC (*Akaike's Information Criterion*) e da avaliação visual da curva de probabilidade de detecção (Burnham et al. 1980, Buckland et al. 1993, Bibby et al. 2000, Buckland et al. 2001).

## **RESULTADOS**

Foram realizados 22 censos durante a estação reprodutiva de 2010. O primeiro censo foi realizado no dia 22 de julho de 2010 e o censo anterior ao censo em que foi registrado os primeiros machos vocalizando foi dia 25 de agosto de 2010. Os primeiros cantos foram ouvidos na amostragem do dia 1 de setembro, somente de machos adultos, tendo um intervalo de sete dias nos quais os machos já poderiam estar vocalizando. A partir desta data, o número de machos adultos aumentou em torno de dois indivíduos por semana, até o pico de 30 indivíduos em 28 de novembro de 2010. O período com a maior contagem de machos adultos durou 70 dias, de 7 de novembro de 2010 até 16 de

janeiro de 2011. Os machos jovens, facilmente identificáveis pela diferença do canto, só começaram a ser ouvidos na amostragem do dia 14 de novembro de 2010, 10 semanas após a amostragem em que foi ouvido o primeiro macho adulto. O número de juvenis cantando aumentou de forma semelhante aos adultos, em torno de dois machos por semana, até o pico de 15 indivíduos em 16 de janeiro de 2011, que ocorreu oito semanas depois do pico dos adultos (Fig. 2). A maior atividade dos jovens durou 26 dias, entre 16 de janeiro de 2011 até 11 de fevereiro de 2011. Os últimos indivíduos cantando foram ouvidos na amostragem do dia 11 de fevereiro de 2011, tanto machos adultos quanto os jovens. Se as contagens citadas acima refletirem a real razão de machos adultos e jovens, a razão etária da araponga seria de 2:1, sendo possível extrapolar para outras classes a densidade calculada para os machos adultos.

Na distância percorrida de 6 km, somente seis censos no ciclo de 2010 acumularam 20 ou mais indivíduos. Todas as amostragens coincidiram com o período de maior número de machos adultos contados no transecto, de 7 de novembro de 2010 a 16 de janeiro de 2011. Portanto, para estimar densidade, somente estes seis censos foram usados nas análises de densidade e abundância dos machos adultos. As estimativas de destes variam de 11 a 17 machos  $\text{km}^{-2}$  (Tabela 1). Os valores dos coeficientes de variação variaram entre 13 e 25%, sendo valores aceitáveis e até baixos em comparação com outros estudos ( Brennan and Block 1986, Kelley Jr 1996, Casagrande and Beissinger 1997, Buckland et al. 2001, Buckland and Handel 2006), mesmo com tamanho amostral menor do que o mínimo recomendado de 40 indivíduos (Buckland et al. 2001).

Na amostragem realizada na estação reprodutiva de 2011, com o aumento do comprimento do transecto, foi possível aumentar o tamanho amostral para 36

indivíduos. Assim, a estimativa de densidade foi mais precisa ( $CV = 11$ ), o resultado gerado foi de 15 machos  $\text{km}^{-2}$  (Tabela 1) e a função de probabilidade de detecção foi aceitável (Fig. 3), apresentando o formato de “ombro” e satisfazendo o critério de forma de Burnham (1980). As sete estimativas apresentaram intervalos de confiança de 95% sobrepostos (Fig. 4). Para a metodologia usada os modelos analisados no programa DISTANCE que melhor se ajustaram a função de detecção foram os que usaram a função *Half-normal* e o termo de ajuste *Simple polynomial*.

Pelas estimativas terem sido geradas apenas com base nos machos adultos, o melhor modo de estimar a população efetiva é considerar uma razão sexual de 1:1. Desta forma obtivemos estimativas de densidade entre 21 e 33 indivíduos  $\text{km}^{-2}$  na estação reprodutiva de 2010 (Tabela 1). E na estação reprodutiva seguinte 30 indivíduos  $\text{km}^{-2}$ . Assim, pela estimativa mais precisa (18 de dezembro de 2011), temos uma densidade estimada de arapongas na área do Parque Estadual do Pico do Marumbi (87  $\text{km}^2$ ) de 1305 machos adultos. Assumindo a razão sexual igual, teríamos uma população de adultos de 2610 indivíduos. Também é possível assumir uma razão etária de 2:1, gerada pelas contagens de machos adultos e jovens. Aceitando essa premissa, a população total de arapongas no Parque seria de 3915 indivíduos.

## **DISCUSSÃO**

O período de atividade dos machos durou aproximadamente 163 dias, do início de setembro de 2010 até a metade de fevereiro de 2011. O aumento dos machos contados no transecto ocorre gradualmente, tendo pico de atividade dos adultos no final de novembro e dos jovens no meio de janeiro. Assim, enquanto alguns machos começam a vocalizar cedo, a maioria aparece mais tarde. Ainda é desconhecido quando

as fêmeas começam a visitar os machos nos poleiros, sendo impossível dizer qual parte do ciclo realmente reflete a reprodução. Provavelmente o período com o maior número de machos adultos cantando represente a época em que as fêmeas chegam na região e visitam os poleiros para escolha dos machos, assim eles devem estar ativos na maior parte do tempo para atrair elas.

As contagens também ajudaram a conhecer a fenologia do ciclo reprodutivo, mostrando o período com maior atividade dos machos, de 7 de novembro a 16 de janeiro, o qual deve ser o melhor período para gerar as estimativas populacionais. Assim, todas as estimativas de densidade foram calculadas durante o período de maior atividade dos machos adultos. Isto é de extrema importância, pois diferenças fenológicas aleatórias, como início antecipado de um ciclo reprodutivo em comparação ao anterior e a variação da atividade de canto durante o ciclo, podem afetar a detectabilidade dos machos e causar um erro de até 25% na estimativa de densidade (Slagsvold 1977, Wilson and Bart 1985).

A estimativa de densidade mais precisa foi de 15 machos  $\text{km}^{-2}$ , no entanto todas as outras estimativas também podem ser consideradas válidas e precisas, porque apresentam coeficiente de variação aceitável (<30%) (Buckland et al. 2001), e, além disso, não são estatisticamente diferentes da estimativa mais precisa, pois os valores do intervalo de confiança estão sobrepostos. Isto significa que o tamanho amostral de 20 indivíduos, na metodologia usada, foi suficiente para fornecer estimativas seguras. Estimativas geradas com tamanhos amostrais entre 15 e 30 indivíduos também podem gerar estimativas robustas, dependendo da distribuição dos dados (Buckland et al. 1993, Peres 1999, Cullen and Rudran 2003).

A mudança na quantidade de machos detectados pode indicar uma variação na



atividade de canto durante o ciclo reprodutivo, que pode ser causada por diversos fatores como temperatura, chuva e disponibilidade de alimento (Armstrong 1963, Slagsvold 1977). Acompanhando o ciclo de 2010 foi possível observar uma queda no número de indivíduos detectados durante o mês de dezembro. É provável que as quedas bruscas de temperatura, mesmo nos meses de verão, que ocorrem na região que foi realizada a pesquisa, tenham causado esta diminuição na atividade de canto dos machos.

No caso de *P. nudicollis*, também devem ser consideradas as migrações altitudinais que a espécie realiza devido ao período de maior disponibilidade de frutos em outras regiões (Sick 1997). É possível que a chegada dos indivíduos as regiões mais altas seja gradual ou siga padrões complexos como em *P. trincarunculatus* (Powell and Bjork 2004). Assim, tanto a fenologia do canto quanto movimentos sazonais podem afetar a variação na detectabilidade dos machos.

O padrão diferente de atividade entre machos adultos e machos jovens, no qual os jovens aumentam nas contagens justamente depois que os machos adultos já atingiram o pico de atividade, pode ser explicado pela chegada mais tardia dos jovens às áreas mais altas, o que pode ser causado pela diferenças no tempo migratório ou pela distância da migração (Gauthreaux 1982, Woodrey and Chandler 1997). Neste caso a araponga poderia ser classificada como migrante diferencial (Terrill and Able 1988), onde algumas classes de indivíduos (idades, sexos ou outro) diferem no tempo de migração (Ketterson and Nolan Jr 1983). Tempo de migração diferencial entre classes etárias é bem documentado em aves (Johnson 1965, Hussell and Montgomerie 1967, Hussell 1980, Bildstein et al. 1984, Chandler and Mulvihill 1990, Hussell 1991). King e colaboradores (1965) sugerem uma explicação para este comportamento, a hipótese do tempo de chegada (*arrival-time*), na qual a seleção intrasexual faz com que indivíduos

do sexo que estabelecem territórios reprodutivos (no caso das arapongas os poleiros) passem o inverno mais próximo da área de reprodução; eles se beneficiam com a chegada mais cedo aos territórios, distâncias de migração mais curta e escolha inicial das áreas de reprodução.

Outra possibilidade é que os machos jovens chegam ao mesmo tempo que os machos adultos, porém só começam a cantar quando a temperatura e a disponibilidade de alimento são mais propícios, já que os jovens provavelmente não forrageiam tão bem como os adultos, precisando de mais tempo para se alimentar e ter energia suficiente para vocalizar. Estudos de longo prazo, com o monitoramento de mais ciclos reprodutivos, além do uso de radio telemetria como o feito por Powell and Bjork (2004) com *P. trincarunculatus*, ajudariam a entender melhor o padrão de movimentação sazonal da espécie.

Quando é difícil ou impossível de amostrar as fêmeas, a solução mais simples é assumir que o número de machos é igual ao número de fêmeas (Bibby et al. 2000; Buckland et al. 2008). Esta premissa pode não ser real em várias espécies, necessitando de abordagens mais efetivas para resolver o problema que envolve componentes críticos da população (Katzner et al. 2011). No caso das arapongas os componentes críticos são as fêmeas de todas as idades e os machos jovens. Neste trabalho assumimos premissas como razão igual entre machos e fêmeas adultos e razão etária de 2:1, baseado nas contagens, para poder extrapolar e estimar um valor para a população total. São recomendados estudos de longo prazo com capturas com rede de dossel para determinar com mais precisão a razão entre sexos e idades.

Entender as dinâmicas populacionais deste grupo de aves é importante, pois sendo frugívoros especialistas estão diretamente ligados a renovação da floresta

(Herrera 1984a, Herrera 1984b, Rey and Alcántara 2000, Calviño-Cancela 2002), devido a uma grande proporção de espécies de árvores dependem diretamente das aves para a dispersão de suas sementes (Howe 1982, Fleming et al. 1987). Assim, a diminuição de frugívoros afeta diretamente o recrutamento das espécies de que se alimentam.

Este estudo apresenta pela primeira vez dados sobre a dinâmica de uma população de arapongas no Brasil. O ciclo começa com poucos machos cantando de vez em quando, aumenta até um pico, dois meses depois, seguido pelo aumento de machos jovens cantando. Pela densidade, podem ser comuns se a distribuição for uniforme no habitat disponível. Devem ser feitos estudos semelhantes em outras regiões para poder ver a variabilidade da sua abundância. Ainda é necessário descobrir quando as fêmeas começam a nidificar, por quanto tempo e quantas vezes por ano. Agora existe um ponto de partida para começar a entender as dinâmicas populacionais destas aves com a sua ecologia única.

Por fim, estudos futuros são recomendados usando a metodologia de captura e marcação com rádio transmissor que permitiria descobrir dados importantes das arapongas, como movimentos migratórios e padrões reprodutivos. Marcando e monitorando os indivíduos seria possível acompanhar os padrões migratórios e localizar e monitorar fêmeas marcadas durante a construção do ninho e cuidado do ninhego.

## LITERATURA CITADA

- Aleixo, A., and M. Galetti. 1997. The conservation of the avifauna in a lowland Atlantic forest in south-east Brazil. *Bird Conservation International* 7:235-261.
- Bildstein, K. L., W. S. Clark, D. L. Evens, M. Files, L. Soucy, and E. Henckel. 1984. Sex and age differences in fall migration of Northern Harriers. *Journal of Field Ornithology* 55:143-150.
- Bencke, G. A., G. N. Mauricio, P. F. Develey, and J. M. Goerck. 2006. Áreas importantes para a conservação de aves no Brasil. Parte I – Estados do domínio da Mata Atlântica. SAVE Brasil, São Paulo.
- Bergallo, H. G., C. F. D. Rocha, M. A. S. Alves, and M. VanSluys. 2000. *A fauna ameaçada de extinção do Estado do Rio de Janeiro*. Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Bibby, C. J., N. D. Burgess, D. A. Hill, and S. H. Mustoe. 2000. *Bird census techniques*, 2nd ed. Academic Press, London.
- Brennan, L.A., and W.M. Block. 1986. Line transect estimates of mountain quail density. *The Journal of wildlife management* 50:373-377.
- Bressan, P. M., M. C. M. Kierulff, and A. M. Sugieda. 2009. *Fauna Ameaçada de Extinção no Estado de São Paulo: Vertebrados*. Fundação Parque Zoológico de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Buckland, S.T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, and J. L. Laake. 1993. *Distance sampling. estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of*

- biological populations. Oxford University Press, New York.
- Buckland, S. T., and C. M. Handel. 2006. Point-transect surveys for songbirds: robust methodologies. *The Auk* 123:345–357.
- Buckland, S. T., S. J. Marsden, and R. E. Green. 2008. Estimating bird abundance: making methods work. *Bird Conservation International* 18:S91-S108.
- Burnham, K. P., D. R. Anderson, and J. L. Laake. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs* 72: 3–202.
- Calviño-Cancela, M. 2002. Spatial patterns of seed dispersal and seedling recruitment in *Corema album* (Empetraceae): the importance of unspecialized dispersers for regeneration. *Journal of Ecology* 90:775–784.
- Casagrande, D. G., and S. R. Beissinger. 1997. Evaluation of four methods for estimating parrot population size. *The Condor* 99:445–457.
- Chandler, C. R., and R. S. Mulvihill. 1990. Wing-shape variation and differential timing of migration in Dark-eyed Juncos. *The Condor* 92:54-61.
- Cullen, L., and R. Rudran. 2003. Transectos lineares na estimativa de densidade de mamíferos e aves de médio e grande porte, p. 169-179. *In* R. Cullen, R. Rudran, and C. Valladares-Pádua [eds.], *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*. UFPR, Curitiba.
- Davis, D. E. 1945. The annual cycle of plants, mosquitoes, birds, and mammals in two Brazilian forests. *Ornithological Monographs* 15:243-295.
- Fleming, T. H., R. Breitwisch, and G. H. Whitesides. 1987. Patterns of tropical vertebrate frugivore diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:91-109.
- Fontana, C. S., G. A. Bencke, and R. E. Reis. 2003. *Livro Vermelho da Fauna*

- Ameaçada de Extinção no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EDIPUCRS.
- Fraga, R. M. 1997. Sección Aves, p. 155-219. *In* J. J. Garcis, R. Ojeda, R. Fraga, G. Díaz, and R. Baigun [eds.], Libro rojo de mamíferos y aves amenazados de la Argentina. Adm. De Parques Nacionales, Buenos Aires.
- Gauthreaux, S. A. Jr. 1982. The ecology and evolution of avian migration systems p. 93-167. *In* D. S. Farmer and J. R. King [eds.], Avian biology. Academic Press, New York and London.
- Hussell, D. J. T., and R. D. Montgomerie. 1967. Differential fall migration of adult and immature Least Flycatchers. *Bird-Banding* 38:61-66.
- Hussell, D. J. T. 1980. The timing of fall migration and molt in Least Flycatchers. *Bird-Banding* 51:65-71.
- Hussell, D. J. T. 1991. Fall migrations of Alder and Willow flycatchers in southern Ontario. *Journal of Field Ornithology* 62 260-270.
- Herrera, C.M. 1984a. Adaptation to frugivory of Mediterranean avian seed dispersers. *Ecology* 65:609–617.
- Herrera, M. 1984b. A study of avian frugivores, bird-dispersed plants, and their interaction in mediterranean scrublands. *Ecological Monographs* 54:1-23.
- Howe, H. F. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annual review of ecology and systematics* 13:201-228.
- IAPAR. 1994. Cartas climáticas do estado do Paraná. Documento 18. Instituto Agronômico do Paraná, Londrina.
- IUCN. [online]. 2010. IUCN Red list of threatened species. Version 2011.2. <<http://www.iucnredlist.org>> (12 Dezember 2011).
- Johnson, N. K. 1965. Differential timing and routes of the spring migration in the

- Hammond's Flycatcher. *The Condor* 67:423-437.
- King, J. R., D. S. Farner, and L. R. Mewaldt. 1965. Seasonal sex and age ratios in populations of the White-crowned Sparrow of the race *gambelii*. *The Condor* 67:489-504.
- Katzner, T. E., J. A. R. Ivy, E. A. Bragin, E. J. Milner-Gulland, and J. A. DeWoody. 2011. Conservation implications of inaccurate estimation of cryptic population size. *Animal Conservation* 14:328-332.
- Kelley Jr, J.R. 1996. Line-transect sampling for estimating breeding wood duck density in forested wetlands. *Wildlife Society Bulletin* 24:32-36.
- Ketterson, E. D., and V. Nolan Jr. 1983. The evolution of differential bird migration. *Current ornithology* 1:357-402.
- Lacerda, A. C. B. 1999. Levantamento florístico e estrutural da vegetação secundária em área de contato da Floresta Ombrófila Densa e Mista. Dissertação de Mestrado em Botânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Maack, R. 1981. Geografia física do Estado do Paraná. 2nd ed. José Olympio, Rio de Janeiro.
- Machado, A. B., G. A. B. Fonseca, R. B. Machado, L. M. S. Aguiar, and L. V. Lins. 1998. Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna de Minas Gerais. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.
- Negro, J. J. 2011. The ghost fraction of populations: a taxon:dependent problem. *Animal Conservation* 14:338-339.
- Pacheco, J. F., and B. M. Whitney. 1995. Range extensions for some birds in northeastern Brazil. *Bulletin of the British Ornithologists Club* 115:157-163.
- Peres, C. A. 1999. General guidelines for standardizing line-transect surveys of tropical

- forest primates. *Neotropical primates* 7:11-16.
- Powell, G. V. N., and R. D. Bjork. 2004. Habitat linkages and the conservation of tropical biodiversity as indicated by seasonal migrations of Three-Wattled Bellbirds. *Conservation Biology* 18:500-509.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing, Viena, Austria.
- Reginato, M., and R. Goldenberg. 2007. Análise florística, estrutural e fitogeográfica da vegetação em região de transição entre as Florestas Ombrófilas Mista e Densa Montana, Piraquara, Paraná, Brasil. *Hoehnea* 34:349–364.
- Rey, P. J., and J. M. Alcántara. 2000. Recruitment dynamics of a fleshy-fruited plant (*Olea europaea*): connecting patterns of seed dispersal to seedling establishment. *Journal of Ecology*: 622-633.
- Ridgely, R., and G. Tudor. 1994. The birds of South America, Vol. 2. The suboscine passerines. University of Texas Press, Austin.
- Roth, P., D. C. Oren and F. C. Novaes. 1984. The White Bellbird (*Procnias alba*) in the Serra dos Carajás, southeastern Pará, Brazil. *The Condor* 86:343-344.
- Sick, H. 1997. *Ornitologia Brasileira*. Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- Slagsvold, T. 1977. Bird song activity in relation to breeding cycle, spring weather, and environmental phenology. *Ornis Scandinavica* 8:197–222.
- Snow, B. K. 1970. A field study of the Bearded Bellbird in Trinidad. *Ibis* 112:299–329.
- Snow, B. K. 1973. Notes on the behavior of the White Bellbird. *The Auk* 90:743-751.
- Snow, B. K.. 1977. Territorial behavior and courtship of the male Three-wattled Bellbird. *The Auk* 94:623–645.
- Snow, D. W. 1971. Evolutionary aspects of fruit-eating by birds. *Ibis* 113:194–202.



- Snow, D. W. 1973. Distribution, ecology and evolution of the bellbirds (*Procnias*, Cotingidae). *Bulletin of the British Museum* 25:369-395.
- Stotz, D. F., J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker, and D. K. Moskowitz. 1996. Neotropical birds: ecology and conservation. Chicago, University of Chicago Press.
- Sutherland, W. J., I. Newton, and R. E. Green. 2004. Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. New York, Oxford University Press.
- Terrill, S. B., and K. P. Able. 1988. Bird migration terminology. *Auk* 105:205–206.
- Thomas, L., S. T. Buckland, E. A. Rexstad, J. L. Laake, S. Strindberg, S. L. Hedley, J. R. B. Bishop, T. A. Marques, and K. P. Burnham. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *The Journal of Applied Ecology* 47:5-14.
- Thompson, W. L. 2004. Sampling rare or elusive species: concepts designs and techniques for estimating population parameters. Island Press, Washington, DC.
- Wilson, D. M., and J. Bart. 1985. Reliability of singing bird surveys: effects of song phenology during the breeding season. *The Condor* 87:69–73.
- Woodrey, M. S., and C. R. Chandler. 1997. Age-related timing of migration: geographic and interspecific patterns. *The Wilson Bulletin* 109:52–67.

TABELA 1. Estimativas de densidade populacional de *Procnias nudicollis* geradas no programa DISTANCE.  $n$  = número de indivíduos,  $D$  = estimativa de densidade, entre parênteses o intervalo de confiança 95%, CV = coeficiente de variação.

Data	$n$	$D$	CV	Machos + Fêmeas
07/11/2010	20	16.6 (12.5 – 21.9)	13	33.2 (25 – 43.8)
14/11/2010	22	12.2 (7.8 – 19.1)	22	24.4 (15.6 – 38.2)
28/11/2010	23	10.5 (6.3 – 17.6)	25	21 (12.6 – 35.2)
11/12/2010	21	12.8 (9 – 18.2)	17	25.6 (18 – 36.4)
20/12/2010	20	14 (9.9 – 19.9)	17	28 (19.8 – 39.8)
16/01/2011	21	15.3 (11 – 21.3)	16	30.6 (22 – 42.6)
18/12/2011	36	14.9 (11.9 – 18.7)	11	29.8 (23.8 – 37.4)

## Legendas das figuras

FIGURA 1. Área onde foi realizado o estudo nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. Linha escura representa o transecto de 6 km percorrido no ciclo reprodutivo de 2010 e a linha branca os 3 km a mais percorridos na amostragem feita em 2011, totalizando 9 km.

FIGURA 2. Número total de machos adultos e jovens de *Procnias nudicollis* contados em cada censo durante o ciclo reprodutivo de 2010, nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. A Linha contínua representa os machos adultos e a linha tracejada os machos jovens.

FIGURA 3. As sete estimativas de densidade de *P. Nudicollis* durante o ciclo reprodutivo de 2010 (n = 6) e 2011 (n = 1), nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. As linhas representam o intervalo de confiança de 95%.

FIGURA 4. Função da probabilidade de detecção da estimativa de densidade populacional de *Procnias nudicollis* mais precisa, realizada em 18 de dezembro de 2011, nos Mananciais da Serra, Piraquara, Paraná. O histograma representa os valores observados e a curva os valores esperados.

Figura 1

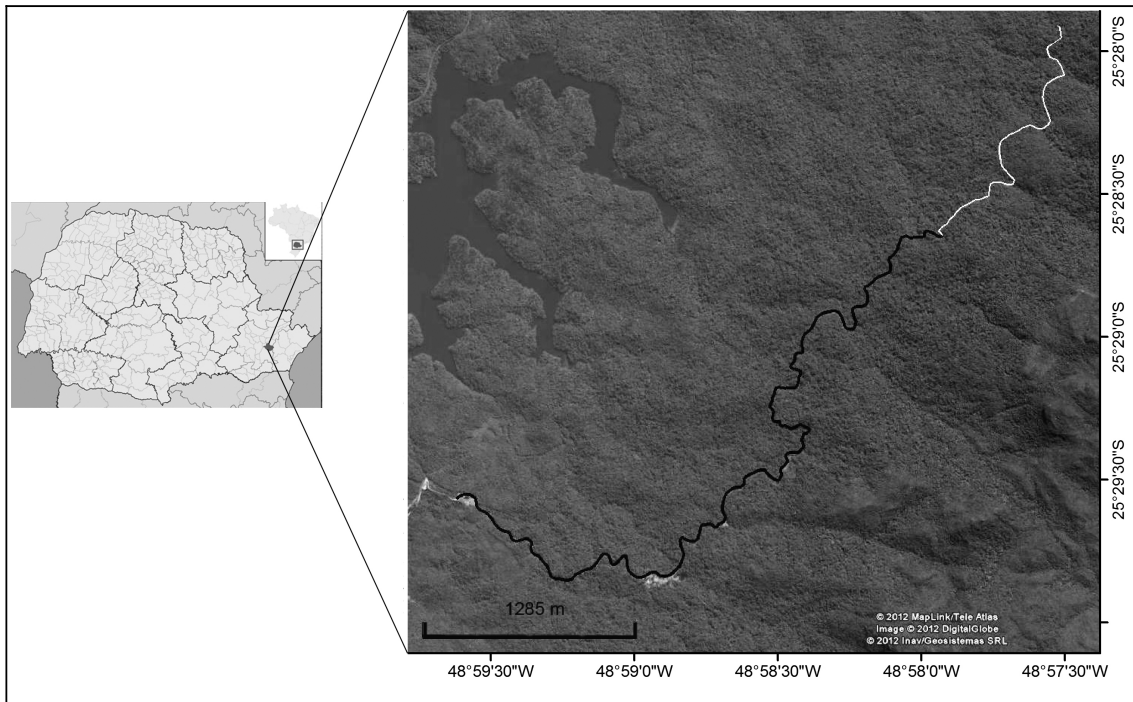


Figura 2

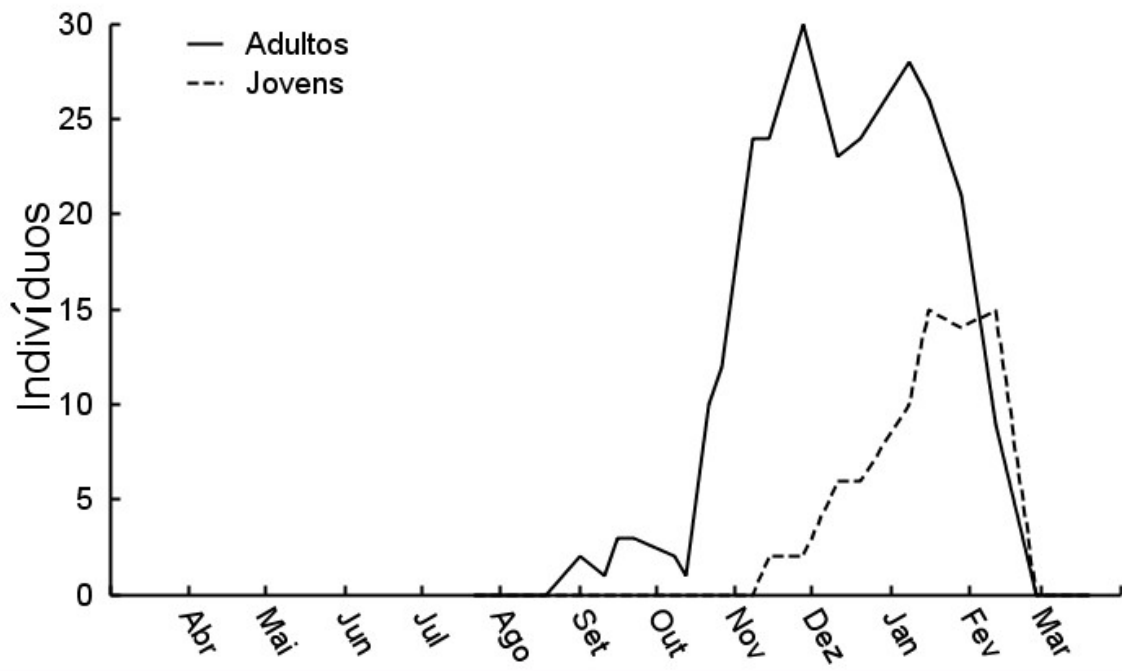


Figura 3

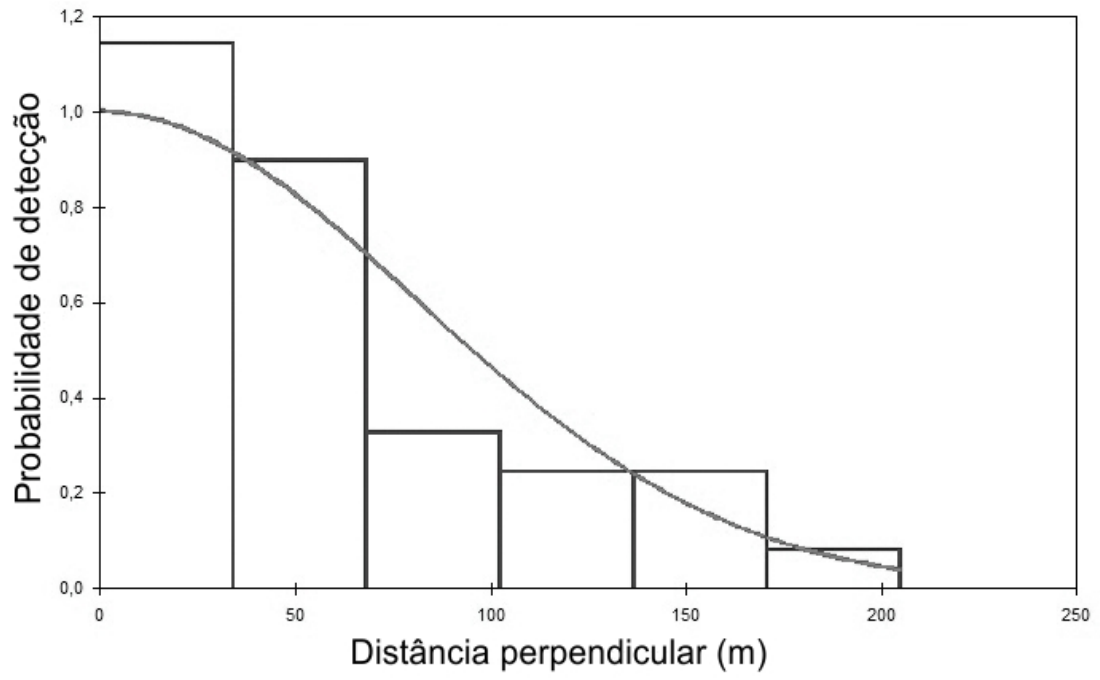


Figura 4

