
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
(Zoologia)**

RIQUEZA, DIVERSIDADE FUNCIONAL E SAZONALIDADE DE AVES EM UMA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO ARTIFICIAL

Vivian Robinson

**Rio Claro
São Paulo - 2017**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
(Zoologia)**

**RIQUEZA, DIVERSIDADE FUNCIONAL E
SAZONALIDADE DE AVES EM UMA PLANÍCIE
DE INUNDAÇÃO ARTIFICIAL**

Vivian Robinson
Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Pizo

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro,
para a obtenção do título de Mestre em Ciências
Biológicas (Zoologia).

**Rio Claro
São Paulo - 2017**

598.2 Robinson, Vivian
R658r Riqueza, diversidade funcional e sazonalidade de aves em
uma planície de inundação artificial / Vivian Robinson. - Rio
Claro, 2017
62 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Marco Aurélio Pizo

1. Ave. 2. Áreas úmidas. 3. Ecologia de aves. 4.
Conservação de aves. 5. Barragens. 6. Impactos ambientais. I.
Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Riqueza, diversidade funcional e sazonalidade de aves em uma planície de inundação artificial

AUTORA: VIVIAN ROBINSON

ORIENTADOR: MARCO AURELIO PIZO FERREIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCO AURELIO PIZO FERREIRA

Departamento de Zoologia / Instituto de Biociências de Rio Claro - SP

Prof. Dr. DEMÉTRIO LUIS GUADAGNIN

Departamento de Ecologia / UFRGS



Prof. Dr. FABIO OLMOS CORREA NEVES

Permian Brasil Serviços Ambientais / São Paulo/SP

Rio Claro, 31 de julho de 2017

“Somos assim: sonhamos com o voo mas tememos a altura. Para voar é preciso ter coragem para enfrentar o terror do vazio. O vazio é o espaço da liberdade, a ausência de certezas. Mas é isso que tememos: o não ter certezas. Por isso trocamos o voo por gaiolas. As gaiolas são o lugar onde as certezas moram”

(FIÓDOR DOITOIÉVSKY, Os irmãos Karamazov, 1880)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Katia e Henry e a meu irmão Peter, por todo o apoio, pelas discussões, pelos conselhos, por estarem presentes sempre que eu precisei e principalmente por sempre acreditarem em mim.

Ao meu orientador, Marco Aurélio Pizo, pela orientação, pela paciência, pelas discussões, críticas e sugestões que sempre contribuíram muito para a realização desse trabalho e para a minha formação como bióloga.

A todos os meus amigos que foram a campo comigo, Vanessa Bortolotti, Matheus Dourado, Murilo Afonso, Rogério Machado e Maria Fernanda Flores, e especialmente ao Carlos Gussoni que esteve presente sempre que possível. Amigo que sempre enriquece meus trabalhos com críticas, elogios e discussões muito pertinentes.

Agradeço também ao Fernando Godoy que me mostrou pela primeira vez esta área incrível e ao guia de observação de aves, Gustavo Pinto, por nos manter atualizados sobre as notícias do Tanquã.

Também sou muito grata ao barqueiro Ivanildo pelo apoio logístico e a todas as pessoas da comunidade do Tanquã por nos acolher tão calorosamente.

Ao Bruno Alleoni, pela paciência e por toda a força dada nos finalmentes deste trabalho, sem contar na ajuda em campo. A Patrícia Resende por ser mais que uma amiga a anos e sempre estar presente, nem que seja por telefone.

Aos Borralharas por fazerem minha vida muito mais divertida com diversas passarinhas! E a todas as aves por fazerem do mundo um lugar muito mais colorido.

RESUMO

As áreas úmidas são reconhecidas como prioritárias para a conservação da biodiversidade global e estão entre os ecossistemas mais frágeis e ameaçados do planeta por estarem sujeitos a impactos antrópicos na terra e na água. Estima-se que, no mundo todo, pelo menos 50% destes ambientes tenham sido perdidos nos últimos cem anos. Para São Paulo, os remanescentes da vegetação de várzea, já, ocupavam apenas 0,63% do território estadual em 2001. As várzeas do Tanquã ocorrem no rio Piracicaba em uma planície de inundação cujo pulso de inundação natural foi invertido em relação à sazonalidade de chuvas locais pela construção de uma barragem a jusante. No local ocorrem 94 espécies de aves aquáticas, 16 das quais realizam movimentos migratórios, oito são ameaçadas no estado de São Paulo, quatro são quase ameaçadas e duas não possuem dados suficientes na literatura para concluir seu grau de ameaça. A construção de diversas estruturas para regulação do fluxo d'água está prevista nesta bacia hidrográfica e o manejo correto de áreas impactadas como o Tanquã pode desempenhar um papel importante na conservação das aves. Avaliamos a variação temporal da composição e abundância da comunidade de aves aquáticas de acordo com o nível de água do Tanquã, a partir de censos mensais durante um ano em sete pontos de contagem, a fim de entender como áreas mantidas artificialmente inundadas poderiam sustentar diferentes grupos funcionais de aves, prevenindo futuras perdas de biodiversidade. Discutimos a importância da área como habitat de descanso e reprodução de espécies de aves migratórias e ameaçadas no estado de São Paulo e o risco que esta área corre caso seu regime hídrico seja alterado novamente. O empreendimento “Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra” prevê a elevação e estabilização do nível do rio em 6 ou 10 metros do máximo atual, a fim de ampliar a extensão da Hidrovia Tietê-Paraná. Diferentes grupos funcionais de aves aquáticas se relacionaram de formas diferentes com a profundidade do rio, no entanto, como a abundância geral das aves está negativamente correlacionada com o mesmo, essa modificação adicional no pulso de inundação pode fazer com que a área perca sua capacidade de suportar a biodiversidade. Futuros projetos de construção de barragens devem tomar ações como a criação de heterogeneidade de habitat e a manutenção de um pulso de inundação adequado, para transformar ou manter suas áreas de influência como habitats importantes para a comunidade ameaçada de aves aquáticas, contribuindo assim para a sua conservação.

Palavras-chave: Áreas úmidas, diversidade funcional, sazonalidade, Tanquã, aves.

ABSTRACT

Wetlands are globally recognized as priorities for biodiversity conservation and are among the planet's most fragile and threatened ecosystems, as they are subject to anthropic impacts on land and water. It is estimated that at least 50% of these environments worldwide have been lost in the last hundred years. For São Paulo, the remnants of the várzea vegetation already occupied only 0.63% of the state territory in 2001. Tanquã is a floodplain in the Piracicaba river, whose natural flood pulse was reversed in relation to the region rainfall by the construction of a dam downstream. Ninety-four species of waterbirds occur in the area, 16 of which migrate, eight are threatened in the state of São Paulo, four are almost threatened and two do not have sufficient data in the literature to conclude their degree of threat. The further construction of several infrastructures designed to regulate water flow is foreseen in this river basin and the correct management of impacted areas such as Tanquã play an important role in the conservation of birds. We evaluated the temporal variation of the composition and abundance of the waterfowl community according to the water level of Tanquã. Monthly censuses were carried out during one year at seven counting points, in order to understand how artificially flooded areas could sustain different groups and prevent future biodiversity losses. We discuss the importance of the area as a habitat for resting and reproduction of migratory and threatened bird species in the state of São Paulo and the risk that this area may face in case its water regime is altered again. The project "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra" is expected to cause the rise and stabilization of the water level at 6 or 10 meters from the current maximum, in order to extend the Tietê-Paraná Waterway in 50 kilometres. Different functional groups of waterfowl respond differently to the fluctuations on the river level, however, as overall bird abundance is negatively correlated with it, this additional modification in the flood pulse can cause the area to lose its ability to sustain such a high biodiversity. Future dam construction projects should take actions such as creating habitat heterogeneity and maintaining an adequate flood pulse in order to transform or maintain their areas of influence as important habitats for the globally threatened waterfowl community, thus contributing to their conservation.

Key words: Wetlands, functional diversity, seasonality, Tanquã, birds

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	METODOLOGIA	12
2.1	Área de estudo	12
2.2	Amostragem da avifauna pelo método de pontos	15
2.3	Amostragem qualitativa da avifauna	16
2.4	Medição do nível do Rio Piracicaba na altura do Tanquã	17
2.5	Análise de dados	17
2.6	Revisão Bibliográfica	19
	A FLOODPLAIN WITH ARTIFICIALLY REVERSED FLOOD PULSE IS IMPORTANT FOR MIGRATORY AND RARE BIRD SPECIES	20
	INTRODUCTION	20
	METHODS	22
	RESULTS	24
	DISCUSSION	30
	Noteworthy Bird Records	34
4	ECOLOGIA DAS ESPÉCIES DE AVES AQUÁTICAS DO TANQUÃ	35
4.1	Anatidae	41
4.2	Ciconiidae	42
4.3	Ardeidae	44
4.4	Threskiornithidae	45
4.5	Accipitridae	45
4.6	Rallidae	46
4.7	Recurvirostridae	47
4.8	Importância do Tanquã como habitat para espécies de aves aquáticas no Estado de São Paulo	47
5	CONCLUSÕES	49
	Apêndice A - Análise de cluster utilizada para separar 6 grupos funcionais	55
	Apêndice B - Lista das aves do Tanquã baseada em amostragens de campo, registros bibliográficos, registros para o bairro publicadas no site Wikiaves e EBird.....	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

Áreas úmidas foram definidas na convenção de Ramsar, de 1994, como: “extensões de pântanos costeiros, marismas, turfeiras, ou águas de regimes naturais ou artificiais, permanentes ou temporários, contendo água corrente ou estagnada, doce, salobra ou salgada. Estas áreas formam mosaicos de diferentes fisionomias em ecossistemas altamente dinâmicos, de bordas instáveis, onde a estabilidade e a diversidade estão condicionadas primeiramente pela hidrologia e os fluxos de materiais (NEIFF, 1999).

Essas áreas apresentam grande importância devido aos diversos serviços ambientais que proporcionam, destacando-se: estocagem e limpeza de água, recarga do lençol freático, regulação do clima e dos ciclos biogeoquímicos, estocagem de carbono, além de servirem de habitat para inúmeras espécies. Adicionalmente, esses ambientes fornecem subsídios para as populações humanas tradicionais, tais como pesca (JUNK et al., 2011).

Globalmente, são reconhecidas como prioritárias para a conservação da biodiversidade e estão entre os ecossistemas mais frágeis e ameaçados do planeta, por estarem sujeitos a impactos antrópicos na terra e na água (AMEZAGA; SANTAMARIA; GREEN, 2002; JUNK et al., 2006; SAUNDERS; MEEUWIG; VINCENT, 2002). As principais ameaças que estas áreas enfrentam estão associadas à destruição, degradação e fragmentação dos habitats (WIENS, 1995). Estima-se que, no mundo, pelo menos 50% destes ambientes tenham sido perdidos nos últimos cem anos (DUGAN; BELLAMY, 1993; HOOK, 1993; SHINE; KLEMM, 1999).

Um total entre 8,3 e 10,2 milhões de km² da superfície da terra são constituídos por áreas úmidas (MITSCH et al., 2009), sendo que cerca de 30% estão concentrados nas regiões tropicais do planeta. Na América do Sul é estimada uma área de cobertura de áreas úmidas ao redor de 20% (JUNK, 1993).

Devido as estações secas e úmidas pronunciadas em suas bacias hidrográficas, todos os grandes rios sul-americanos são caracterizados por um pulso de inundação monomodal e previsível. Durante o período de águas altas, extensas áreas ao longo dos cursos dos rios são inundadas formando planícies de inundação das mais variadas formas e tamanhos. A (JUNK, 1993).

A principal força motriz responsável pela existência, produtividade e interações da biota em planícies de inundação é o pulso de inundação. Este reflete em um efeito de borda dinâmico, que gera um "litoral móvel" ao longo da zona de encontro entre o ecossistema aquático e o terrestre. Este litoral móvel impede uma estagnação prolongada e permite uma rápida reciclagem de matérias orgânicas e nutrientes, resultando em uma área úmida de alta produtividade (Junk et al, 1989).

Planícies de inundação e outras áreas úmidas são importantes habitats para aves aquáticas, sendo usadas como local para a reprodução, cuidado com filhotes, alimentação, descanso entre migrações e abrigo. As aves aquáticas estão cada vez mais ameaçadas de extinção e os sucessos obtidos por medidas de conservação estão sendo compensados pela resposta negativa à perda de habitat (GARDNER et al., 2015; PASZKOWSKI; TONN 2000).

Apesar da crescente pressão para se preservar a integridade das áreas úmidas dos trópicos, ainda não se conhece muito sobre a biodiversidade associada a estes ambientes (JUNK et al., 2006). No Brasil ocorrem em todos os biomas, no entanto, os estudos se concentram em lagoas costeiras da região sul do país, no bioma do pantanal e em florestas alagáveis da Amazônia. São raros os estudos ou levantamentos da biodiversidade nas áreas úmidas do estado de São Paulo. No qual, os remanescentes da vegetação de várzea, já em 2001, ocupavam apenas 0,63% do território do estado (INSTITUTO FLORESTAL/GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2001) e onde quase todos os grandes rios são impactados por estruturas de regulação de fluxo, como barragens e existe a previsão de construção de muitas mais.

As represas ao alteram a hidrologia dos rios geralmente trazendo consequências negativas para a biota associada. Já que áreas drenadas ou alteradas comumente tem sua capacidade de manter populações viáveis de organismos reduzida (STEWART, 2014).

O local conhecido como “várzeas do Tanquã” ocorre no rio Piracicaba, a montante de sua foz no Rio Tietê (Fig. 1). A área compreende uma planície de inundação com cinco lagoas rasas que se conectam sazonalmente ao Rio Piracicaba e canais secundários, durante o período de águas altas. Foi impactada em 1963 pela construção da barragem de Barra Bonita a jusante da planície de inundação, que levou à elevação do nível da água e aumentou a magnitude das inundações. Além disso, o período de retenção de água da barragem é mais longo durante os meses mais secos, pois sua descarga de água é responsável pela manutenção do nível da hidrovia Tietê-Paraná, além de produzir eletricidade (PETESSE; PETRERE; SPIGOLON, 2007). Como resultado, a flutuação natural do nível da água foi alterada. Nos meses mais

chuvosos, o Tanquã enfrenta um período de águas rasas, com o nível do rio no mínimo, enquanto a represa está em sua descarga máxima, mas nos meses mais secos a área é inundada devido ao maior período de retenção de água no reservatório.

Apesar das alterações, as observações preliminares indicam que este regime hídrico artificialmente imposto pela barragem beneficiou várias espécies de aves aquáticas, incluindo raras e migratórias, um exemplo do que Rosenzweig (2003) chamou de "acidente feliz", uma ação humana que acaba tendo um efeito positivo inesperado sobre animais selvagens.

No local ocorrem 94 espécies de aves aquáticas, destacando-se a presença de 15 espécies da família Anatidae e 12 da família Scolopacidae, muitas das quais realizam movimentos migratórios, se reproduzindo no Hemisfério Norte e “invernando” no Brasil em busca de climas mais amenos. Destaca-se também a presença de oito espécies ameaçadas no estado de São Paulo, quatro espécies quase ameaçadas e duas com dados insuficientes na literatura para definir o estado de conservação (SÃO PAULO, 2014). Na área ocorrem ainda três espécies que só foram incluídas na lista das aves do estado de São Paulo após 2010 (BRESSAN; KIERULFF; SUGIEDA, 2009): o tricolino (*Pseudocolopteryx sclateri*), a andorinha-chilena (*Tachycineta leucopyga*) e o capororoca (*Coscoroba coscoroba*).

Além das aves aquáticas, são encontradas 4 espécies de mamíferos, destacando-se a lontra (*Lontra longicaudis*), que não é comum em estudos realizados na região. E 38 espécies da herpetofauna, destacando-se o jacaré-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris*) (EIA “APROVEITAMENTO MÚLTIPLO SANTA MARIA DA SERRA”, 2013).

A construção de diversas estruturas para regulação do fluxo d’água está prevista nesta bacia hidrográfica e o manejo de áreas impactadas pode desempenhar um papel importante na conservação das aves (MA et al., 2004; SEBASTIÁN-GONZÁLEZ; GREEN, 2016). Portanto, entender como áreas mantidas artificialmente inundadas como o Tanquã podem sustentar diferentes grupos funcionais de aves pode ajudar a prevenir futuras perdas de biodiversidade.

Novas mudanças na hidrologia desta área, que é um importante habitat de descanso e reprodução de espécies de aves migratórias e ameaçadas no estado de São Paulo, são propostas pelo empreendimento “Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra” que prevê a elevação e estabilização do nível do rio em 6 ou 10 metros do máximo atual, a fim de ampliar a extensão da Hidrovia Tietê-Paraná. Essas mudanças, principalmente o fim da sazonalidade de pulsos de inundação podem afetar seriamente a estrutura e função da área (JUNK et al., 2006; SHAFER 1990). A movimentação dos animais pode se tornar mais difícil e recursos críticos podem ser

perdidos ou se tornarem inacessíveis. Tendo como consequência final a diminuição da riqueza de espécies e a alteração das comunidades (PERELLO; GUADAGNIN; MALTCHIK, 2006). Como a profundidade da água e os pulsos de inundação são as características mais importantes que determinam a qualidade e a quantidade de habitat para as aves aquáticas (LANTZ et al., 2011; NTIAMOA-BAIDU et al., 1998; TAVARES et al., 2015). É importante, verificar a relação das diferentes espécies de aves presentes na área com o nível do rio, afim de compreender as possíveis respostas que estas podem apresentar.

Neste estudo investigamos como a composição e abundância da comunidade de aves aquáticas variou com a sazonalidade do pulso de inundação, para entender como o Tanquã pode ser impactado pela construção de novas estruturas de retenção de água e como áreas mantidas artificialmente inundadas poderiam sustentar diferentes grupos funcionais de aves, prevenindo futuras perdas de biodiversidade.

Num cenário em que as áreas úmidas se tornam cada vez mais escassas e a construção de muitas novas estruturas de regulação do fluxo hídrico é previsível, é essencial encontrar soluções que levem em consideração a preservação da biodiversidade nestes locais. Para isso, as áreas artificiais devidamente geridas podem desempenhar um papel importante na conservação das espécies de aves aquáticas.

Os resultados obtidos neste estudo foram divididos em dois capítulos, o primeiro intitulado “A floodplain with artificially reversed flood pulse is important for migratory and rare bird species” está apresentado no formato de manuscrito na língua inglesa, submetido a Revista Brasileira de Ornitologia em março de 2017. Este capítulo trata da ecologia da comunidade de aves que frequenta o Tanquã, discute como áreas mantidas artificialmente inundadas podem sustentar diferentes grupos funcionais de aves e o risco que a área corre caso seu regime hídrico seja alterado novamente, relacionando como a comunidade de aves aquáticas e seus diferentes grupos funcionais respondem a alteração na profundidade do rio. Termina dando sugestões para futuros projetos de construção de barragens para transformar ou manter suas áreas de influência como habitats importantes para a comunidade ameaçada de aves aquáticas, contribuindo assim para a sua conservação.

O segundo capítulo intitulado “Ecologia das Espécies de Aves Aquáticas do Tanquã” discute a importância da área como habitat de descanso e reprodução de espécies de aves migratórias e ameaçadas no estado de São Paulo ao abordar mais detalhadamente como algumas das espécies de aves aquáticas mais representativas respondem às alterações no nível da água,

abordando aspectos de suas histórias naturais para compreensão dos modelos e fazendo estimativas do que aconteceria com suas abundâncias se construída a barragem "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra", com base nas duas opções de operação do reservatório (elevação do nível do rio em 6 e 10 m do máximo atual).

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado 30 km a montante do estuário formado pela confluência dos rios Piracicaba e Tietê no sudeste do Brasil (22°39'S e 48°01'O, 452 m asl) (Fig. 1), em um complexo conhecido localmente como “várzeas do Tanquã”, localizadas em frente a um bairro rural de mesmo nome, onde moram aproximadamente 17 famílias de pescadores.

O clima no município de Piracicaba apresenta grande sazonalidade, com a presença de dois períodos bem definidos, um mais quente e úmido, entre outubro e abril, e outro mais frio e seco. Segundo Koppen, o clima da região é classificado como Cwa, subtropical úmido, com verões chuvosos e inverno seco (Alvares et al. 2013).

A planície de inundação de 2.400 ha engloba cinco lagoas cujas profundidades variam sazonalmente, conectando-as ao rio Piracicaba no período de águas altas. Seu regime hídrico é controlado pela barragem de Barra Bonita a jusante. O período de retenção de água da barragem é mais longo durante os meses mais secos, pois sua descarga de água é responsável pela manutenção do nível da hidrovia Tietê-Paraná, além de produzir eletricidade (PETESSE; PETREIRE; SPIGOLON, 2007). Sendo assim, nos meses mais chuvosos, o Tanquã possui menor nível de água, enquanto a represa está em sua descarga máxima, mas nos meses mais secos a área é inundada devido ao maior período de retenção de água no reservatório (Fig. 2). Este regime leva a uma variação notável na profundidade do rio e na área alagada da planície de inundação, onde as lagoas podem até secar no período de águas rasas (Fig. 3) ou estarem inundadas e conectadas com o rio, em um ambiente homogêneo no período de águas profundas (Fig 4.)

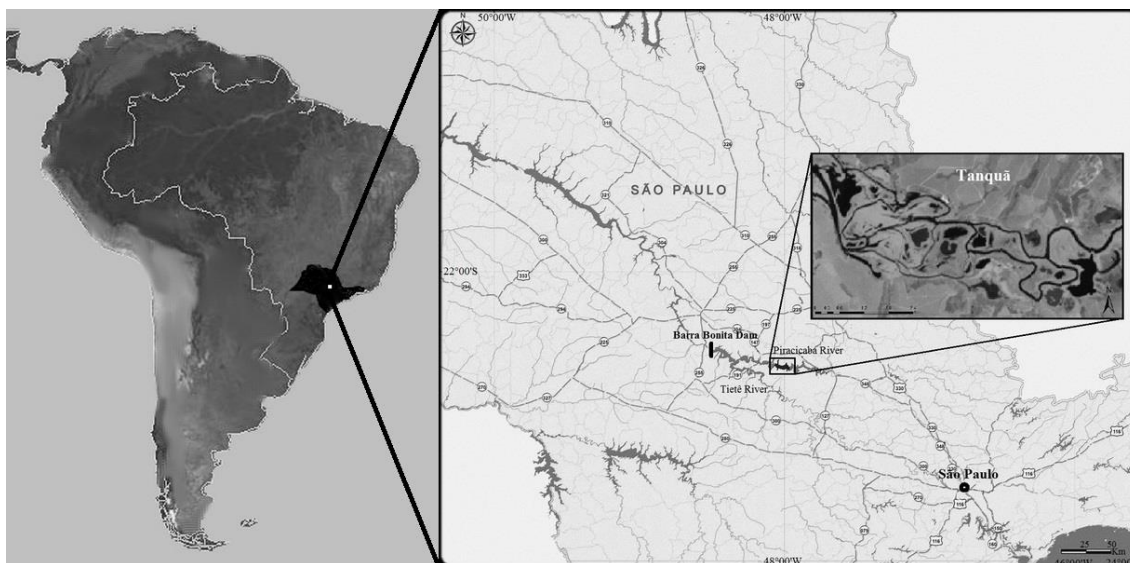


Figura 1. Localização das várzeas do Tanquã e da barragem de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, na América Latina.

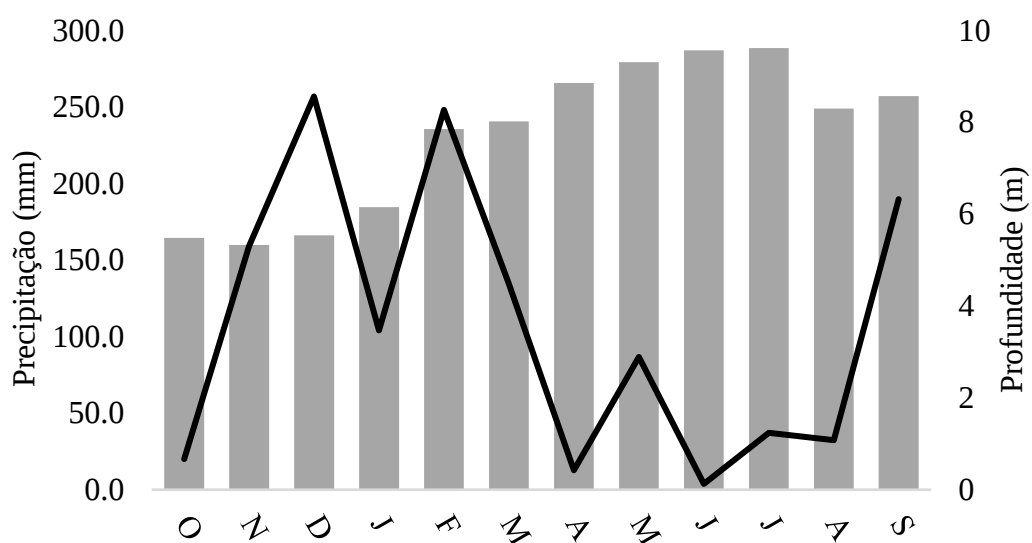


Figura 2. Profundidade do Rio Piracicaba medida no local do estudo (colunas) e precipitação medida no mesmo mês na estação meteorológica da ESALQ-Piracicaba (linhas)



Figura 3. Foto retirada no ponto 5 em novembro de 2014.



Figura 4. Foto retirada no ponto 5 em julho de 2015.

A figura 5 mostra as variações mensais na descarga de água do rio Piracicaba, obtidos na estação pluviométrica mais próxima do Tanquã, CESP, do projeto Piracena (USP) ($22^{\circ}41'S$ e $47^{\circ}35'O$).

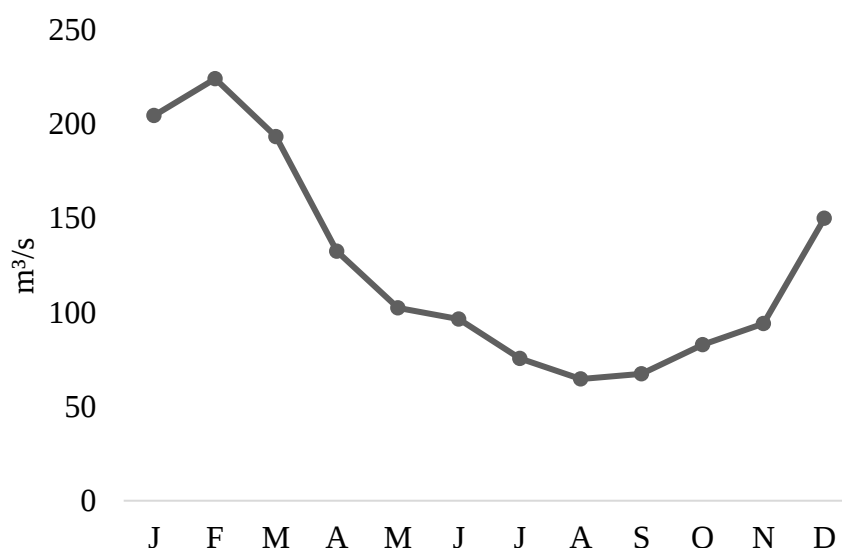


Figura 5. Descarga média mensal do rio Piracicaba no posto CESP/ PiraCena/ USP

2.2 Amostragem da avifauna pelo método de pontos

Foram escolhidos 7 pontos amostrais em locais que permitiam o acesso a barco e a visualização das aves presentes na área de estudo, estando estes a uma distância mínima de 500 m uns dos outros (Fig. 6).

Os pontos foram amostrados mensalmente de outubro de 2014 a setembro de 2015 no período das 7:00 às 11:30 horas. A cada mês, cada ponto foi amostrado durante 20 min, totalizando 66 h de esforço amostral. A ordem de amostragem foi sorteada em cada mês e uma embarcação motorizada foi utilizada para acessar os pontos. O motor permaneceu desligado durante as amostragens. Todos os indivíduos em repouso, forrageando ou realizando atividades reprodutivas em um raio de 250 m a partir de cada ponto de amostragem foram registrados com a ajuda de binóculos (NIKON Prostaff 10x42), conforme metodologia estabelecida para monitoramento de aves aquáticas (BIBBY; BURGESS; HILL, 1992). As aves foram registradas com uma câmera Canon EOS 7D e lente Canon 70-300. Alguns dos arquivos de imagem foram depositados em bases digitais, como WikiAves e IBC (coleção de pássaros na internet). As espécies foram identificadas com a ajuda dos guias de campo: "O Guia de Campo Avis Brasilis para as Aves do Brasil " (Sigrist 2009) e "Aves Marinhas Costeiras do Brasil: identificação e biologia" (Novelli, 1997). Foram registrados o número total de indivíduos de cada espécie, número de fêmeas, machos, jovens e filhotes para investigar a ocorrência de atividades

reprodutivas. A nomenclatura de espécies e o arranjo taxonômico seguem a lista das aves do Brasil, do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO; Piacentini et al. 2015). O estado de conservação de espécies no estado de São Paulo segue o Decreto 60.133, de 7 de fevereiro de 2014 (SÃO PAULO, 2014), as espécies foram consideradas migratórias de acordo com Piacentini et al. (2015) e como migrantes de curta distância no território brasileiro de acordo com Antas (1994), Sick (2001) e Sigrist (2009).

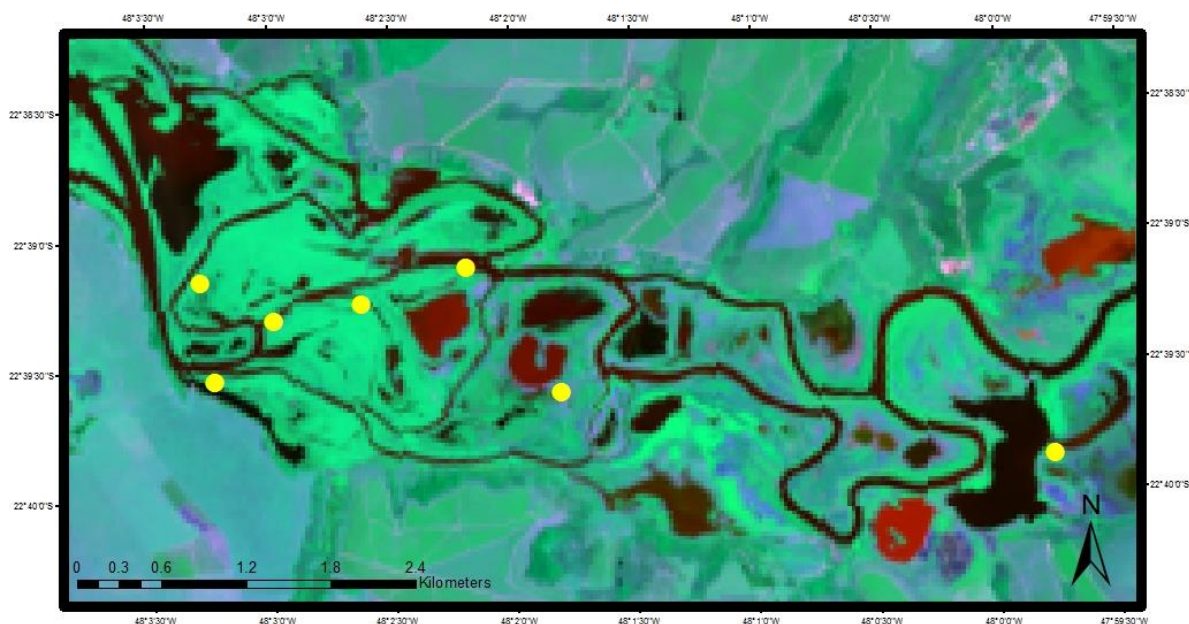


Figura 6. Distribuição dos pontos de amostragem (pontos amarelos) na várzea do Tanquã.

2.3 Amostragem qualitativa da avifauna

Além do levantamento quantitativo, fizemos 60 h de observações ad libitum para complementar a lista de espécies de aves, foram realizados transectos de barco pela área do Tanquã, no mesmo dia das amostragens sistematizadas, a partir das 16 horas.

Nas ilhas ou margens com maior presença de vegetação foi feito uso de playback com o canto dos Rallidae cuja presença era conhecida na área, afim de determinar a presença ou ausência de indivíduos dessas espécies nos meses de amostragem. As espécies desta família que ocorrem em banhados são especialmente inconspícuas e seu registro se dá quase que exclusivamente pelo canto (BRAMBILLA; JENKINS, 2009; SICK, 2001).

Para cada espécie foi emitido o canto durante 30 segundos, esperando-se mais 30 segundos, período após o qual era emitido o canto da próxima espécie. A ordem da emissão dos playbacks seguiu a ordem crescente do peso das espécies.

O uso de playback é vantajoso sobre outros métodos porque: aumenta as taxas de detecção; não causa estresse de captura e manuseio nas aves; uma única sessão é suficiente em áreas pequenas; o equipamento é acessível e; gera boas estimativas populacionais (BRAMBILLA; JENKINS, 2009).

2.4 Medição do nível do Rio Piracicaba na altura do Tanquã

Foram instaladas seções de réguas limnimétricas visando facilitar o acompanhamento da altura da coluna d'água do rio Piracicaba.

As réguas foram confeccionadas em bambu, numeradas de 2 em 2 cm, sendo os espaçamentos intermediários indicados por traços.

O nível da água foi anotado antes do início de cada amostragem de pontos, para que fosse possível correlacionar a profundidade do rio com a abundância e riqueza de espécies registrada.

2.5 Análise de dados

Para todas as análises, foram consideradas apenas espécies de aves aquáticas, excluindo aquelas que habitam a área, mas não dependem de corpos de água para forrageamento ou reprodução. Estimamos a riqueza de espécies de aves usando os estimadores Jackknife 1 e Chao 2 com o software Past (versão 1.81, HAMMER et al., 2001).

Para investigar como as características das aves afetam sua resposta às flutuações no nível da água, as classificamos em grupos funcionais usando uma análise de cluster realizada no software FDivsity (CASANOVA et al., 2011). O método de Ward e a distância de Gower foram utilizados, pois este método é mais adequado para traços funcionais qualitativos usados neste estudo (SCHLEUTER et al., 2010). As seguintes características de aves foram utilizadas para o agrupamento: (1) massa corpórea; (2) substrato de forrageamento (coluna de água, margens, praia de lama, superfície da água, macrófitas flutuantes, macrófitas emersas, e margens do corpo d'água), (3) dieta (considerando as seguintes categorias: peixes, outros vertebrados, vegetação aquática, insetos ou outros invertebrados e macro invertebrados bentônicos) e; (4) se a espécie é migratória no Brasil (PIACENTINI ET AL., 2015). Para os dados qualitativos, foi determinado um número de um a cinco que representa a afinidade da espécie com o traço particular, com base em observações de campo e literatura (SICK, 2001;

SIGRIST, 2009). Uma análise de correlação foi realizada no software FDiversity para certificar que nenhuma das características funcionais foram correlacionadas.

A abundância de aves foi relacionada a profundidade do Rio Piracicaba observada em frente ao bairro do Tanquã através de um GLM (Modelo Linear Generalizado) no software R, estimando um modelo de regressão de Poisson com um parâmetro de sobre dispersão (ou quase-Poisson). Este método permite que o modelo linear seja relacionado à variável de resposta permitindo que a magnitude da variância de cada medida seja uma função do seu valor previsto. Uma análise de desvio foi realizada para testar todos os modelos contra modelos nulos (ZUUR et al., 2009). Para calcular o poder de explicação dos modelos foi feito o cálculo de pseudo- R^2 , dividindo o desvio do modelo pelo desvio dos resíduos do modelo nulo, já que R^2 pode ser interpretada como a redução relativa no desvio devido às covariáveis no modelo, as medidas R^2 baseadas em resíduos de desvio têm a vantagem de coincidir com a medida baseada na variação explicada (CAMERON; WINDMEIJER, 1996).

Espécies migratórias de acordo com Piacentini et al. (2015), cuja presença era mais dependente da sazonalidade do que da profundidade da água, e os passeriformes, cujas contagens nem sempre eram precisas, foram excluídos das análises GLM.

Ardea alba e *Nannopterum brasilianus* foram registradas em agregações muito discrepantes em relação às outras espécies em seus grupos funcionais (660 e 385, respectivamente) e foram excluídas dos modelos de grupos funcionais como outliers. Ambas as espécies são muito generalistas e encontradas em grandes agregações em uma variedade de corpos de água alterados, sendo consideradas péssimos indicadores da qualidade ambiental, podendo sua abundância não ser influenciada pelas mesmas características ambientais que as outras espécies de seus grupos funcionais (SICK, 2001; STOTZ et al. 1996).

Foram gerados separadamente modelos lineares generalizados (GLM's) relacionando a profundidade do rio como variável explicativa da abundância de todas as espécies registradas em pelo menos 25% dos meses, as equações dos GLM's foram então utilizadas para estimar a abundância dessas espécies se construída a barragem "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra", com base nas duas opções de operação do reservatório (elevação do nível do rio em 6 e 10 m do máximo atual).

Uma "MANOVA PERMUTÁVEL" ("MANOVA não paramétrica") foi realizada no software R, para verificar se existe diferença significativa entre as comunidades de aves registradas nos pontos nos 4 meses com menores profundidades e nos 4 meses com maiores profundidades. Este método é uma alternativa robusta tanto ao MANOVA paramétrico quanto aos métodos de ordenação para descrever como a variação é atribuída a diferentes tratamentos experimentais e pode ser utilizado quando existe pseudo-replicação dos dados, ao se impedir a permutação entre grupos (neste caso, pontos amostrais) (ANDERSON, 2001). Como foram consideradas as abundâncias das espécies e os dados não eram paramétricos, foi utilizado o método de distância de Bray-Curtis. Um escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) foi então realizado no software R para visualizar esta diferença.

2.6 Revisão Bibliográfica

Foi gerada também uma lista compilando os registros dos censos, registros feitos em campanhas posteriores aos censos, registros publicados no EIA do empreendimento “Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra” e registros confiáveis e verificados publicados no site Wikiaves. Para tal foram utilizados preferencialmente registros nos quais o fotógrafo ou pesquisador era conhecido. Para as duas espécies em que isso não foi possível, o fotógrafo foi contatado para confirmar a localização da foto.

A FLOODPLAIN WITH ARTIFICIALLY REVERSED FLOOD PULSE IS IMPORTANT FOR MIGRATORY AND RARE BIRD SPECIES

ABSTRACT. Wetlands are becoming increasingly scarce and the construction of many water-flow regulation structures is predicted. The correct management of these impacted areas may play an important role in the conservation of wetland bird species. In a floodplain whose natural flood pulse was reversed in relation to local rainfall seasonality by the construction of a dam (the Tanquã floodplain), we investigated how the composition and abundance of the waterbird community varied with the water level to understand how artificially maintained flooded areas could sustain different bird functional groups, preventing future biodiversity losses. We recorded 72 waterbird species, 17 reproducing in the area. Seventeen species are short-distance migrants in Brazil, while eight are long-distance migrants. As overall bird abundances are negatively correlated with the water level, any further modification in the flood-pulse may cause the area to lose its ability to support its biodiversity. Future dam construction projects should take actions to transform or maintain their areas of influence as important habitats for the threatened waterbird community, thus contributing to their conservation.

KEY WORDS: wetland management, bird functional groups, dam impacts, waterbirds, wetlands.

INTRODUCTION

As energy demand grows and governments seek for cleaner forms of energy production, the focus has been set on hydropower plants, which are responsible for approximately 16% of the global electricity consumption and is a rapidly growing industry (IHA 2015). The re-accelerating construction of hydropower dams will globally lead to the fragmentation of 25 of the 120 large river systems currently classified as free-flowing, primarily in South America (Zarfl et al. 2014).

Dams usually alter the river hydrology, with consequences for the associated biota, including species associated with wetlands, one of the most fragile and threatened ecosystems in the world, recognized as priority for biodiversity conservation (Amezaga et al. 2002). At least 64% of wetlands were lost globally during the past century (Gardner et al. 2015). As these

areas are drained or altered, their ability to sustain viable populations of wetland-dependent organisms decreases. Waterbirds, for instance, are increasingly threatened to extinction and the successes of conservation measures are being outweighed by their negative response to habitat loss (Paszkowski & Tonn 2000, Gardner et al. 2015). In order to compensate for habitat loss, birds often occupy artificial wetlands, whose correct management can contribute to conservation (Ma et al. 2004, Acosta et al. 2010, Sebastián-González & Green 2016).

The region known as “Tanquã” is a floodplain located upstream from the estuary formed by the confluence of the Piracicaba and Tietê rivers in southeast Brazil (Fig. 1). It encompasses five shallow lakes seasonally connected to the Piracicaba River and secondary channels. In 1963, the construction of Barra Bonita dam downstream from the floodplain led to the elevation of the water level and increased the magnitude of the floods, creating a more dynamic habitat. Furthermore, the dam water retention period is longer during the drier months, as its water discharge is responsible for maintaining the level of the Tietê-Parana waterway, in addition to producing electricity (Petesse et al. 2007). As a result, the seasonal fluctuation of the water level was altered in Tanquã. In the wettest months Tanquã faces a drought period, with the river level at its minimum while the dam is at its maximum discharge, but in the driest months the area is flooded because of the longer water retention period in the reservoir.

Preliminary observations indicate that this artificial hydrological cycle imposed by the dam apparently benefited several waterbird species, including rare and migratory ones, an example of what Rosenzweig (2003) called “happy accident”, a human action that ends up having an unexpected positive effect on wildlife. Notwithstanding, a project to construct a new dam to expand the Tietê-Paraná waterway is planned, providing the necessary depths to new sections of the river that would cause a further rise and stabilization of the water level.

Because water depth and flood-pulses are the most important features determining the quality and quantity of habitat for waterbirds (Ntiamoa-Baidu et al., 1998, Lantz et al. 2011, Baschuk et al. 2012, Tavares et al. 2015), in this study we investigated how the composition and abundance of the waterbird community varied with the river depth seasonality, to understand how Tanquã may be impacted by the construction of new water retention structures, and how artificially maintained flooded can be managed in order to sustain different bird functional groups, preventing future biodiversity losses. In a scenario where wetlands are becoming increasingly scarce and the construction of many new water-flow regulation structures is predicted, it is essential to find solutions that take into consideration the

preservation of the biodiversity of wetlands while meeting human needs. For this, properly managed artificial areas may play an important role in the conservation of waterbird species.

METHODS

Study site: The study was conducted 30 km upstream the estuary formed by the confluence of the Piracicaba and Tietê rivers in southeast Brazil (22°39'S and 48°01'O, 452 m asl). The floodplain of 2.4 ha encompasses five shallow lakes that are seasonally connected to the Piracicaba River, forming a complex locally known as Tanquã (Fig. 1). The climate is highly seasonal, with two well-defined seasons, a warmer and humid season from October to April, with the remainder of the year being cooler and drier.

Tanquã is surrounded by pastures and sugarcane plantations, with only two small fragments remaining from the original riparian forest. The vegetation in the floodplain is composed by herbs and bushes in the dryer margins and islands, while floating and emergent macrophytes dominate the flooded areas.

Bird survey: We surveyed birds monthly from October 2014 to September 2015 (66 h of sampling effort) in seven sampling points, separated by at least 500 m from each other, which permitted a good view of the birds and were accessed by a 2,5 meters aluminium canoe powered by an Yamaha 40W engine (locally known as “voadeira”). Points were sampled once a month by two researchers from 7:00 am to 11:30 am for 20 min each, period in which the boat engine remained turned off. The sampling order was randomized for each month. All individuals resting, foraging or engaging in reproductive activities within 250 m from sampling points were recorded with the aid of Nikon Prostaff 10x42 binoculars. Data on the total number of individuals of each species, number of females, males, young and offspring were recorded to investigate the occurrence of reproductive activities. In addition to the quantitative survey, we made 60 h of *ad libitum* observations during the afternoons, from 3:00 pm to 6:00 pm to complement the bird species list. Birds were registered with a Canon EOS 7D camera and Canon 70-300 lens. Some of the files were deposited in digital bases such as WikiAves and IBC (internet bird collection). Species were identified with the help of the field guides: “The Avis Brasilis Field Guide to the Birds of Brazil: species account” (Sigrist 2009) and “Aves Marinhas Costeiras do Brasil: identificação e biologia” (Novelli, 1997), species from Scolopacidae and Charadriidae families were always photographed. The nomenclature and taxonomic arrangement follow the Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian

Ornithological Records Committee, compiled by Piacentini and collaborators (2015). Species conservation status in São Paulo state follow Decret 60.133, from February 7th, 2014 (São Paulo 2014), were considered as migratory according to Piacentini and collaborators (2015) and as short-distance migrants inside Brazil territory according to Antas (1994), Sick (2001) and Sigrist (2009). The height of the water column of the Piracicaba River was visually monitored before the start of each bird sampling with limnimetric rulers graded every 2 cm.

Data Analyses: For all the analyses, only waterbird species were considered, including typically water dependent families but also species from the families Anhimidae, Accipitridae, Furnariidae, Tyrannidae, Hirundinidae and Icteridae, that depended on waterbodies for foraging or reproduction. Species that inhabited the area but were not dependent on water bodies for foraging or reproducing were excluded from the analyses. We estimated bird species richness using estimators Jackknife 1 and Chao 2 with the software Past (version 1.81; Hammer et al. 2001).

To investigate how bird traits affect their response to fluctuations in the water level, we classified birds in functional groups using a cluster analysis carried out in FDivsity software (Casanoves et al. 2011). Ward's method and Gower distance were used, as this method is most suitable for qualitative functional traits as used in this study (Schleuter et al. 2010). The following bird traits were used for clustering: (1) body mass (Dunning 1992); (2) diet (considering the following categories: fish, other vertebrates, insects or other invertebrates, benthic macroinvertebrates, macrophytes), (3) foraging substrate (water column, shores, mudflats, water surface, floating macrophytes, emerged macrophytes, water margins) and (4) migratory status (Piacentini et al. 2015). For these qualitative data, a number from one to five representing the affinity of the species with the particular trait was determined, based on field observations and literature (Sick 2001, Sigrist 2009). A correlation analysis was performed in the FDivsity software to certify that none of the functional traits were correlated.

Bird abundance (total and separated by functional groups) was related to the water level through GLM (Generalized Linear Model) in the software R, estimating a Poisson regression model with a dispersion parameter (or quasi-Poisson), as the count data presented overdispersion. This method allows the linear model to be related to the response variable by allowing the magnitude of the variance of each measurement to be a function of its predicted value. An analysis of deviance was carried out to test all models against null models (Zuur et al. 2009).

Eight migratory non-reproductive species according to Piacentini et al. (2015), whose presence was more dependent on the seasonality than on water depth, and all 12 passerines, whose counts were not always precise, were excluded from the GLM analyses (Table1).

Ardea alba and *Nannopterum brasilianus* were recorded in aggregations too discrepant in relation to the other species in their functional groups (660 and 385, respectively), and were excluded from the functional group models as outliers. Both species are habitat generalists found in great aggregations in a variety of water bodies.

Bibliographic survey: A total species list was created compiling the census records, species recorded in campaigns performed after the official one year censuses, records published in the EIA (Environmental Impacts Study) of the dam "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra" and reliable and verified records published on Wikiaves, IBC and EBird websites. To do so, records in which the photographer or researcher was known were used, when this was not possible (*Anas platalea* and *Anas georgica*) the photographer or his guide were contacted to confirm the exact location of the photo.

RESULTS

We recorded 72 waterbird species, 12 of which were recorded only during ad libitum observations. Species were distributed in 24 families, being Anatidae (11), Ardeidae (10) and Rallidae (9) the families with the highest number of species. *Nannopterum brasilianus* was the most abundant species, followed by *Gallinula galeata*, *Ardea alba* and *Dendrocygna bicolor*. The species whose abundance varied the most were *Nannopterum brasilianus* and *Gallinula galeata*, followed by *Himantopus melanurus* and *Ardea alba*. We found signs of reproduction, such as nests and younglings for 17 species, and the presence of five species locally threatened to extinction, two near threatened and one with deficient data (Table 1). Richness estimated with Jackknife 1 was 76.42 ± 3.94 , and with Chao 2 73.21 ± 3.40 , figures similar to the species richness actually recorded.

Table 1. Wetland-dependent bird species abundances recorded from October 2014 to September 2015 in Tanquã floodplains ("x" represent the presence of a specie registered in *ad libitum* observations).

Species	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Group*
Anhimidae													
<i>Anhima cornuta</i> ^{1,6}												x	WS
Anatidae													

Species	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Group*
<i>Dendrocygna bicolor</i> ^{5,6}	50	44	71	24	5	12	x	x	4	100	337	9	WS
<i>Dendrocygna viduata</i> ⁵	85	148	12	6	x	x	x		x		x	x	WS
<i>Dendrocygna autumnalis</i> ⁶	43	47	26	21	2	5	x	x	9	x	18	5	WS
<i>Cairina moschata</i>				x	1								WS
<i>Sarkidiornis sylvicola</i> ¹						x	x	x	x	x			WS
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	20	1	30	17	6	14	4	10	17	31	10	16	WS
<i>Anas bahamensis</i>	20	x	1	10	1		x				2	x	WS
<i>Anas versicolor</i> ⁵	25	11	2	9	9	x	x	2	2	5	2	x	WS
<i>Netta erythrophthalma</i>	20			1	4	x	x	5		1		x	WS
<i>Netta peposaca</i> ^{4,5,6}	16	8	10	35	10	x	x	1	52	9	103	4	WS
<i>Nomonix dominicus</i> ²						x	x				x		WS
Podicipedidae													
<i>Tachybaptus dominicus</i>	1			2									DP
<i>Podilymbus podiceps</i> ⁶	3	3	3	3	2	4	7	14	6	6	3		DP
Ciconiidae													
<i>Jabiru mycteria</i> ^{1,5}		12	19	8	x	x					x	x	LP
<i>Mycteria americana</i> ²	26	130	129	99	15	x	x					1	LP
Phalacrocoracidae													
<i>Nannopterum brasilianus</i> ⁵	662	119	9	2	25	42	106	71	59	86	130	103	DP
Anhingidae													
<i>Anhinga anhinga</i>	x	2	x	4	3	3		1	1	1	x	1	DP
Ardeidae													
<i>Tigrisoma lineatum</i>	x	x	x	x	x	1	x	x	x	x		2	LP
<i>Ixobrychus involucris</i>									x				EM
<i>Nycticorax nycticorax</i> ⁶	x	4	23	4	15	5	8	2	5	3	3	14	LP
<i>Butorides striata</i> ⁶	x	x	x	4	2	25	1	4	3	1	4	5	LP
<i>Bubulcus ibis</i>	2	15	4		x		x				x		LP
<i>Ardea cocoi</i>	11	35	12	17	22	30	19	14	29	37	11	28	LP
<i>Ardea alba</i>	83	79	49	27	11	122	92	42	136	409	16	79	LP
<i>Syrigma sibilatrix</i>	x										1		LP
<i>Egretta thula</i>	207	110	11	9	6	48	60	19	12	12	2	58	LP
<i>Egretta caerulea</i>	x	x				x		x					LP
Threskiornithidae													
<i>Plegadis chihi</i> ⁵	28	x					x						PW
<i>Mesembrinibis cayennensis</i>		x		x	2	x			x		x		PW
<i>Phimosus infuscatus</i> ⁵		x	x	2	x		x	2	x	x	1	4	PW
<i>Theristicus caudatus</i>	2								x	x			PW
<i>Platalea ajaja</i> ⁵	40	22	10	x	x						x	1	PW
Pandionidae													

Species	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Group*
<i>Pandion haliaetus</i> ⁴			1	1					1				LP
Accipitridae													
<i>Circus buffoni</i> ^{1,6}					x	1	1	x		2	1		PW
<i>Rostrhamus sociabilis</i> ^{5,6}					x	1	x		1	x	x	x	PW
Aramidae													
<i>Aramus guarauna</i> ⁶	1		1	x	x	x	x	1	x	1		x	PW
Rallidae													
<i>Aramides cajaneus</i>	x	x											EM
<i>Laterallus melanophaius</i> ⁵	4	x	1	4	1	3	2	6	6	16	1	1	EM
<i>Laterallus exilis</i> ³		1	1	1	x		x		x			x	EM
<i>Porzana flaviventer</i> ⁵			3					1		x	x	1	EM
<i>Mustelirallus albicollis</i>			x	x	x	x		x	x	x	x	x	EM
<i>Pardirallus maculatus</i> ⁵			x					x		x			EM
<i>Pardirallus nigricans</i> ⁵			x	x	x	x		x	x	x	x	x	EM
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>		x	x	x	x	x	x	x	1	x	x	x	EM
<i>Gallinula galeata</i> ⁶	468	237	117	45	60	53	21	42	36	35	89	58	WS
<i>Porphyrio martinicus</i> ^{5,6}	3	2	7	1	10	4	5	2	4	x	2	5	WS
Charadriidae													
<i>Charadrius semipalmatus</i> ⁴				x									SW
Recurvirostridae													
<i>Himantopus melanurus</i> ⁶	393	53	3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	PW
Scolopacidae													
<i>Gallinago paraguaiiae</i>									x				PW
<i>Tringa flavipes</i> ⁴	13			x	x								SW
<i>Tringa melanoleuca</i> ⁴	86			1									SW
<i>Tringa solitaria</i> ⁴	5	x	x										SW
<i>Calidris melanotos</i> ⁴				2									SW
<i>Calidris fuscicollis</i> ⁴				x									SW
Jacaniidae													
<i>Jacana jacana</i> ⁶	40	48	26	48	43	46	31	42	51	50	111	68	WS
Sternidae													
<i>Phaetusa simplex</i> ¹		2			x	x	x		x	3		x	DP
Rynchopidae													
<i>Rynchops niger</i>		1		x	x		1	x		x	x	x	DP
Alcedinidae													
<i>Megaceryle torquata</i>		x	x	x	2	x	1	1	1	1	2	x	DP
<i>Chloroceryle amazona</i>	x	x	2	x		x	x	x	1	x		x	DP
Furnaridae													

Species	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Group*
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i> ⁶	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
<i>Cranioleuca vulpina</i>							x	x					-
Tyrannidae													
<i>Pseudocolaptes sclateri</i>					1				1	x	1	x	-
<i>Fluvicola albiventer</i>	x	x	x	1	x	x	x	x	x	x	x	x	-
<i>Fluvicola nengeta</i>	x		x	x		2	x	x	x	x	x	x	-
<i>Arundinicola leucocephala</i>		x	x	1	x		x	x	x			x	-
<i>Gubernates yetapa</i>				x									-
Hirundinidae													
<i>Tachycineta albiventer</i> ⁵			1	x	x	x		2	x		1		-
Donacobiidae													
<i>Donacobius atricapilla</i> ⁶			1	x	x	1	x	1	x	1			-
Icteridae													
<i>Agelasticus cyanopus</i>	x	x	x	x			x		x	x			-
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-
<i>Pseudoleistes guirahuro</i>					x	x	x						-

Species superscripts:

¹ – Threatened to extinction (São Paulo 2014)

² – Near Threatened (São Paulo 2014)

³ – Data Deficient (São Paulo 2014)

⁴ – Migratory species (Piacentini et al. 2015)

⁵ – Short-distance migrant species (Antas 1994; Sick 2001; Sigrist 2009)

⁶ – Species that we found signs of reproduction

* - Functional groups generated in the cluster analyses (PW = Probing waders, SW = small waders; LP = Large Piscivores, DP = diving piscivores, EM = emerged macrophytes, and WS = water surface)

However, the list compiled with reliable and verified records published on the internet collections (Wikiaves, IBC and Ebird), records published in the EIA of the "Santa Maria da Serra Multiple Utilization" and records made in campaigns subsequent to the censuses (Appendix B), gathered 94 species. Representing almost the total of wetland dependent bird species that occur in the Atlantic Forest according to Stotz et al. 1996 (n = 99). From the 22 species in that list that were not registered in the censuses, eight are migratory that nest in the northern hemisphere and spend only a few days in the study area and four carry out seasonal movements throughout the country. Those species may have visited the area during the study year but not in the sampling days.

Twenty-one species from the censuses (29.5%) were recorded in more than 90% of the sampling months, being considered residents, while 67.8% of the species were recorded in at least half of the samplings, thus considered common in the area. Eighteen species are short-distance migrants in Brazil (Antas 1994, Sick 2001, Sigrist 2009), and eight are classified as

non-reproductive long-distance migrants, although we found more than one nest and many juveniles of one of these species (*Netta peposaca*). Except from *Netta peposaca*, which was present all year round, the other migratory species visited the area from October to February (Table 1).

The cluster analysis generated six functional groups with a cophenetic correlation coefficient from the distance matrix of 0.73 (Appendix A). These groups were further entitled: Probing Waders, Small Waders, Large Piscivores, Diving Piscivores, Birds that inhabit Emerged Macrophytes and birds that feed on the Water Surface. Large Piscivores and birds that feed on the Water Surface were the most abundant groups, responsible for 87.34% of the total abundance.

The water level varied monthly from 5.3 m to 9.6 m, while monthly bird abundance ranged from 294 to 2411 individuals, and species richness varied from 24 to 35. Richness was not correlated to water level ($p=0.4$, $R^2 = 0.016$), but total bird abundance was negatively correlated to it ($p=0.041$, pseudo $R^2 = 0.36$) (Fig. 7, Table 2). Each functional group showed a different relation to water level fluctuations. The absolute abundances of Water surface, Large Piscivores and Probing Waders were negatively correlated with the water level, while models for Emerged Macrophytes and Diving Piscivores groups were non-significant (Fig. 8, Table 2).

Table 2. Analysis of deviance table for the GLM and Null models relating the total bird abundance and abundances of functional groups with the water level.

	<i>Residual - Df</i>	<i>Residual Deviance</i>	<i>Df</i>	<i>Deviance</i>	<i>F</i>	<i>Pr(>F)</i>
<i>Null</i>	11	3964.50				
<i>Total Abundance</i>	1	1463.80	10	2500.70	5.48	0.041
<i>Null</i>	11	696.76				
<i>Big Piscivores</i>	1	557.95	10	138.81	44.45	<0.01
<i>Null</i>	11	2019.55				
<i>Probing Waders</i>	1	803.11	10	1216.40	13.77	<0.01
<i>Null</i>	11	24.49				
<i>Diving Piscivores</i>	1	2.53	10	21.97	1.29	0.283
<i>Null</i>	11	36.18				
<i>Emerged Macrophytes</i>	1	7.08	10	29.11	2.39	0.153
<i>Null</i>	11	1893.00				
<i>Water Surface</i>	1	677.89	10	1215.10	4.68	0.055

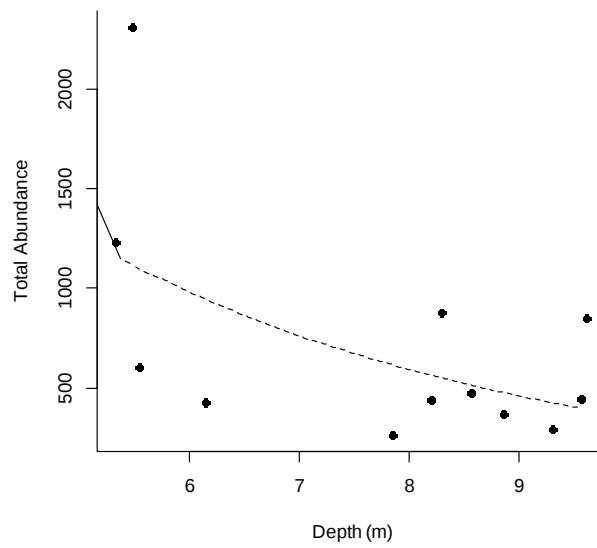


Figure 7. Quasi-poisson regression model relating total bird abundance with the water level.

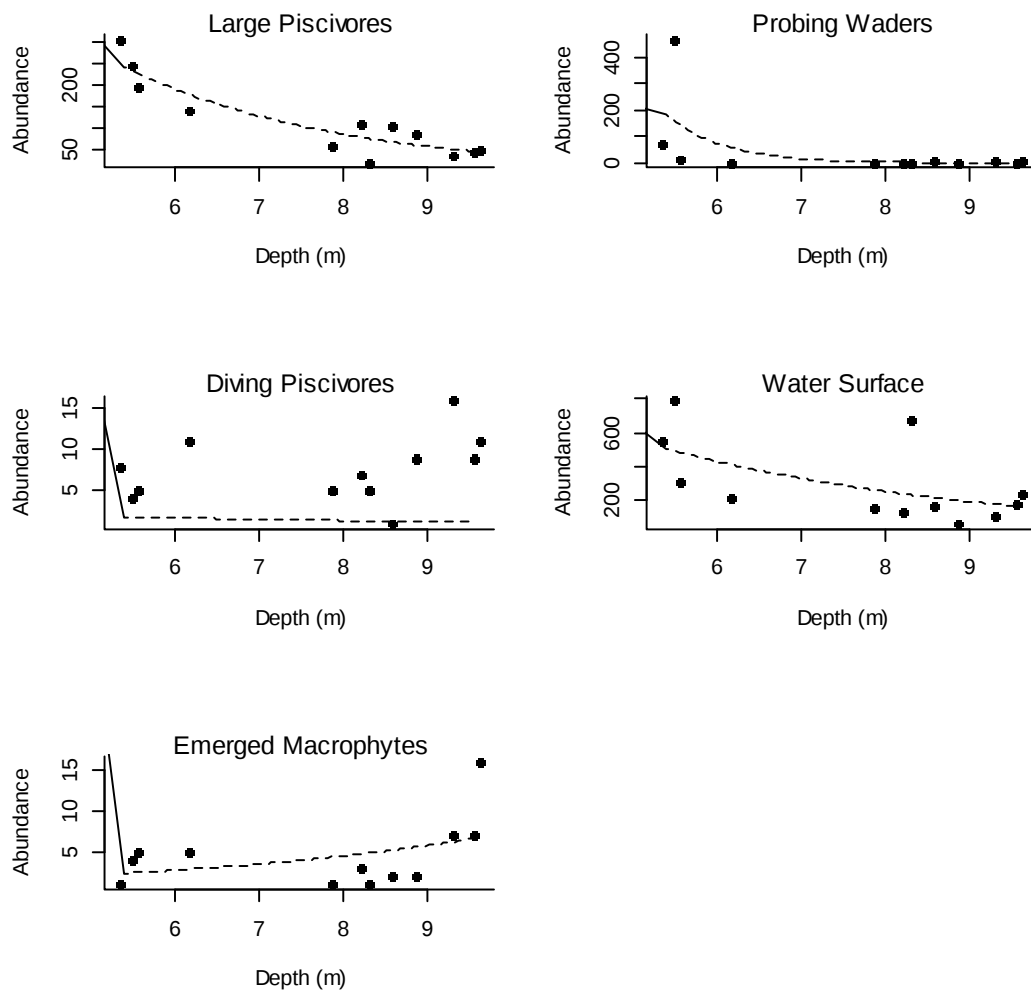


Figure 8. Quasi-poisson regression model relating the abundances of the different bird functional groups with the water level.

DISCUSSION

In comparison to other wetlands in southeast Brazil, Tanquã's water dependent species richness was the highest, representing 53.3% of all wetland species found in the Atlantic Forest Biome (Lima 2013) (Table 3).

Table 3. Richness comparison among wetlands in southeast Brazil.

Localização	Espécies dependentes de áreas úmidas	Índice de Jacknife	Referência
Tanquã (São Paulo)	72	76	
Quissamã (Rio de Janeiro)	46	146	Tavares & Siciliano (2004)
Santa Bárbara (Minas Gerais)	37	-	Faria et al. (2006)
São João da Barra (Rio de Janeiro)	42	-	Suzuki et al. (2005)
Tremembé (São Paulo)	51	-	Crozariol (2010)
Embu-Guaçu (São Paulo)	39	-	Schunck et al. (2016)
São Paulo (São Paulo)	49	-	Schunck & Rodrigues (2016)

Apart from the great bird species richness, Tanquã is important for rare, migratory and locally threatened species. During the censuses, we recorded the presence of five species threatened to extinction in the State of São Paulo and two almost threatened (Table 1) (São Paulo, 2014). But adding up the species found in other campaigns and in the literature, the area is visited by a total of 8 Threatened species (*Anhima cornuta*, *Sarkidiornis sylvicola*, *Ciconia maguari*, *Jabiru Mycteria*, *Busarellus nigricollis*, *Circus buffoni*, *Phaetusa simplex* and *Sternula Superciliaris*) and five almost Threatened (namely: *Nomonyx dominicus*, *Mycteria americana*, *Tryngites subruficollis*, *Pluvialis dominica* and *Gallinago undulata*) (Appendix B).

In Tanquã, only 29.5% of the registered species were considered residents, the site is visited by several species that carry out seasonal movements within the Brazilian territory, many migrating through the Paraná River Valley, from the south of Brazil to the Pantanal region, as the Tuiuiú (*Jabiru mycteria*) (Antas 1994).

Valente et al. (2011) produced the first catalogue of important areas for Nearctic migratory birds in Brazil, highlighting six sites in southeastern Brazil. The number of species classified as non-reproductive long-distance migrants (Piacentini et al., 2015) recorded in the census in Tanquã (n=8) is similar to the average species richness recorded at these areas (8.14 ± 3.02 species) denoting its importance for Nearctic birds in Brazil (Table 4). In addition, in the

literature review, records of 16 species classified as non-reproductive long-distance migrants (Piacentini et al., 2015) were found.

Table 4. Important areas for Nearctic migratory birds in Brazil and the number of water-dependent species registered (Valente et al. 2011).

Location	Migratory Water-Dependent Species
Tanquã (São Paulo)	8
São Francisco River (Minas Gerais)	6
Guarapiranga's Reservoir Basin (São Paulo)	8
Ilha Comprida Island (São Paulo)	12
Tremembé (São Paulo)	9
Tietê Ecological Park (São Paulo)	3
Coastal areas* (Rio de Janeiro)	11

Mehlman et al. (2005) analyzed the importance of migratory passerine stopover sites in the northern hemisphere and generated a useful scale for their categorization. Although designed for terrestrial birds, Kirby et al. (2008) considered this typology adaptable to other groups of migratory birds.

At one end of the scale there are habitats type 1 ("fire-escape"). Sites that are rarely used, but vital in emergencies, usually small, isolated habitats surrounded by unsuitable habitat. At the center of the scale are habitats called "convenience store", structurally heterogeneous sites with freshwater and a variety of food resources where birds can rest briefly (two days or less) and easily replenish body reserves. At the other end of the scale, there are type 3 habitats ("full service hotel"), an extensive area suitable for migratory birds, where all the necessary resources are relatively abundant and available. These areas can sustain many individuals of many species that can remain there for weeks allowing them to achieve the physiological conditions necessary to continue their migration to the next stop or final destination.

We believe that Tanquã can be classified as a type 2 or 3 stopover site, because large agglomerations of species from the families Scolopacidae and Charadriidae were found during their wintering periods in Brazil. These families mainly comprise migratory species that require newly exposed mud to forage, since their beaks are adapted to search for small invertebrates buried in the exposed mud or shallow water (Sick 2001), these species find in Tanquã a safe place that Supports many individuals so that they can easily replenish their reserves.

The energy accumulated in sites like Tanquã is fundamental for these species to return to the Northern Hemisphere, as food obtained in stopovers sites provide energy to continue the

migration (Davison & Evens 1988) and the increase in reserves is essential to further reproductive success (Hvenegaard & Barbieri 2010).

In the rainy season, the water levels fall because the power plant is operating and the water is flowing fast out of Tanquã. As a result, the higher abundance of birds observed in this period may be due to the availability of shallow waters, which increase prey concentrations (Macedo-Soares et al. 2010, Tavares & Siciliano 2014), and recently exposed mudflats occurring concomitantly with the arrival of migratory species that feed on this microhabitat. Shallow waters and recently exposed mudflats are likely scarce in the region in the rainy season, making Tanquã an important feeding site for birds.

The abundances of birds of the Water Surface, Large Piscivores, and Probing Waders groups were negatively correlated with the water level. Species from the Water Surface group forage by filtering organisms in the water surface; when the water level raises, water surface increases and vegetation become scarce. Baschuk et al. (2012) observed that it is easier for dabbling ducks to access submerged aquatic vegetation in shallow waters. Lack of vegetation may also increase the risk of duck predation. Furthermore, shallow lakes were considered preferred habitats for ducks in previous studies (Paszkowski & Tonn, 2000, Tavares et al. 2015). The Large Piscivores group may be influenced by water level because of their foraging behaviour, as they tend to capture fish in shallow areas near the shore. When the water level rises it gets more difficult to capture their prey due to an increase in the dimensional space (Ntiamoa-Baidu et al. 1998; Lantz et al., 2010). The water level has also a great influence in vegetation cover (Padial et al. 2009, Ma et al. 2010) that may act as a barrier reducing visibility to detect predators. Species in the Probing Waders group have a preference for foraging mainly on the shores and exposed mudflats (Tavares et al. 2015), a microhabitat that temporarily disappear with the rise of the water level.

Abundance of Emerged Macrophytes and Diving Piscivores groups were not correlated with the water level. However, the Emerged Macrophytes group is composed of several small and inconspicuous species that are recorded mainly by their vocalizations. Since these species sing more in the reproductive period, their abundance may have been underestimated during other seasons. Although the abundance of Diving Piscivores was not significantly related to the river depth, previous studies have shown that aerially foraging and diving piscivores could be favoured by higher water levels (Paszkowski and Tonn, 2000; Paillisson et al. 2002; Baschuk et al. 2012). Our results show that any rise in the water level can negatively affect bird

abundance, especially for species in the Large Piscivores, Water Surface and Probing Waders functional groups. Therefore, the predicted alteration of the current flood cycle by the construction of the planned new dam (called Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra) carries a real risk of threatening several elements of the local bird community.

In sum, Tanquã is a large floodplain with high environmental heterogeneity offering a mosaic of habitats, ranging from exposed mudflats to open water of variable depth, with remarkable temporal changes in environmental characteristics. The water level seasonality, heterogeneity of habitats, and the size of the floodplain may be the reasons why so many waterbirds species occurring in high abundances were recorded, as these are among the main factors influencing bird abundance in wetlands (Paracuellos & Tellería 2004). Any further infrastructure project that would maintain Tanquã permanently flooded will lead it to lose its ability to support such a diverse community of waterbirds.

Apparently the artificial flood regime imposed by the Barra Bonita dam counteracted the damage expected from the construction of the power plant, having ensured the requirement for a functional floodplain. As such, the Tanquã “happy accident” showed that, by reproducing natural cycles of floodplains during their operation, existing and future power plant projects may take actions to transform or maintain their areas of influence as important habitats for the threatened aquatic bird community. Future studies need to focus on better understanding such actions, which likely includes regulatory provisions foreseeing the establishing of a monomodal flood-pulse when possible. As different bird groups are differently influenced by the water level and its variation, maintaining a monomodal and annual flood pulse contributes to the maintenance of a high species and functional diversity in wetlands. When appropriate flood-pulse regulation is not an option, then the creation of habitat heterogeneity, such as shallow shorelines or island development should be recommended as mitigation actions in response to dam construction (Desgranges et al. 2006). As smaller dams probably offer more manageable options and opportunities, they should be taken into consideration when establishing investment priorities and financing towards new dam projects, either for power generating or any other uses.

Noteworthy Bird Records

Netta peposaca is a migratory species that nests in the west or south of Brazil (CBRO 2014, Antas 1994), but was found all year round and breeding in Tanquã. This is the first place outside of the south region of Brazil where breeding was recorded.

Mycteria americana, a threatened species in the state of São Paulo, was recorded in 50% of the surveys in flocks of up to 150 individuals. This species also migrates through Parana River Valley, staying in Pantanal from November to April where it breeds and then migrates to feeding areas in Rio Grande do Sul, south Brazil (Antas 1994). This period coincides with its presence at Tanquã. We could not find any signs of breeding, but many of the individuals were juveniles that could be using the area only for foraging.

Other noteworthy bird records are *Pseudocolopteryx sclateri*, which was recorded in the State of São Paulo only in 2009 and likely breeds in Tanquã, and *Porzana flaviventer*, a bird common in Tanquã but rarely seen in this part of Brazil whose biology and regional movements are not yet understood. The promises of easy sightings of both species is driving birdwatchers from all over the country to visit Tanquã's floodplains.

4 ECOLOGIA DAS ESPÉCIES DE AVES AQUÁTICAS DO TANQUÃ

O Tanquã é um ambiente altamente dinâmico e a composição de sua avifauna é alterada mensalmente acompanhando as mudanças decorrentes da flutuação no nível da água. Uma MANOVA não paramétrica (MANOVA permutável) foi realizada, indicando que existe uma diferença significativa entre as comunidades de aves registradas nos 4 meses com menores profundidades e nos 4 meses com maiores profundidades ($F= 11.825$, $p=0.001$). Um escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) foi então realizado para visualizar esta diferença, sendo agrupadas as comunidades de aves registradas nos pontos com as menores e maiores profundidades registradas (Fig. 9).

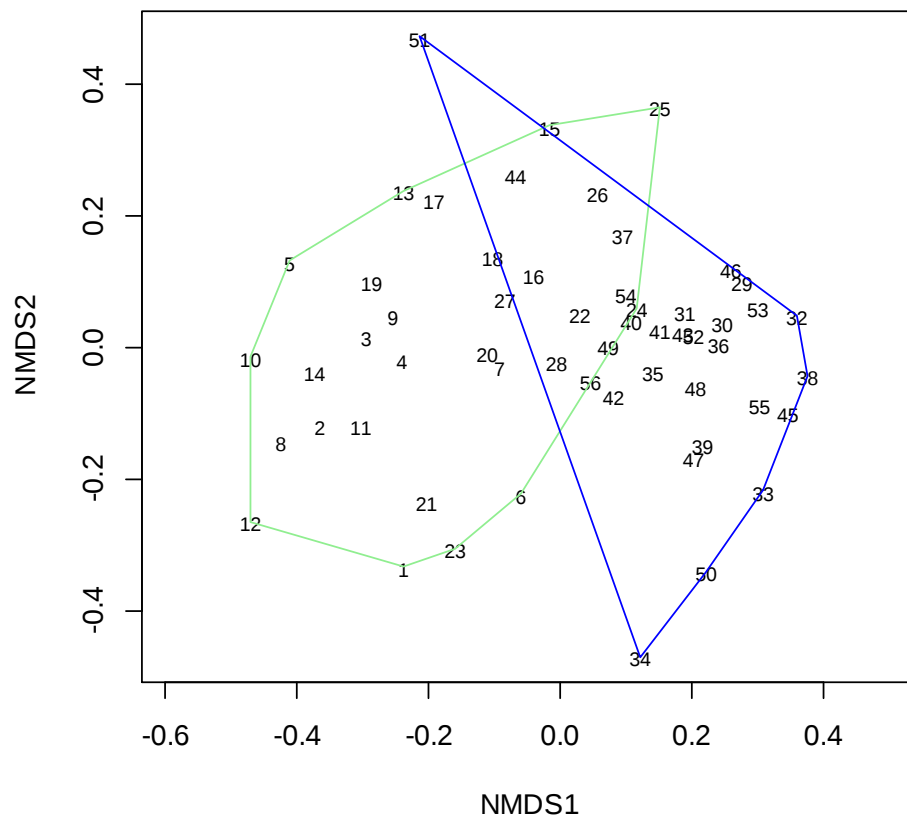


Figura 9. Escalonamento multidimensional não métrico (nMDS), agrupando a comunidade de aves dos pontos registrados nas quatro menores profundidades (verde) e nas quatro maiores profundidades (azul).

A figura 10 ilustra a variação da composição das comunidades registradas em cada profundidade ao apontar a porcentagem de indivíduos pertencentes a cada grupo funcional. Pode-se notar que nos meses com menores profundidades, os indivíduos estão distribuídos mais uniformemente entre os grupos funcionais. Isso pode ocorrer não só devido a maior disponibilidade de micro habitats no ambiente, mas também a uma distribuição mais equilibrada dos mesmos ao longo da planície de inundação.

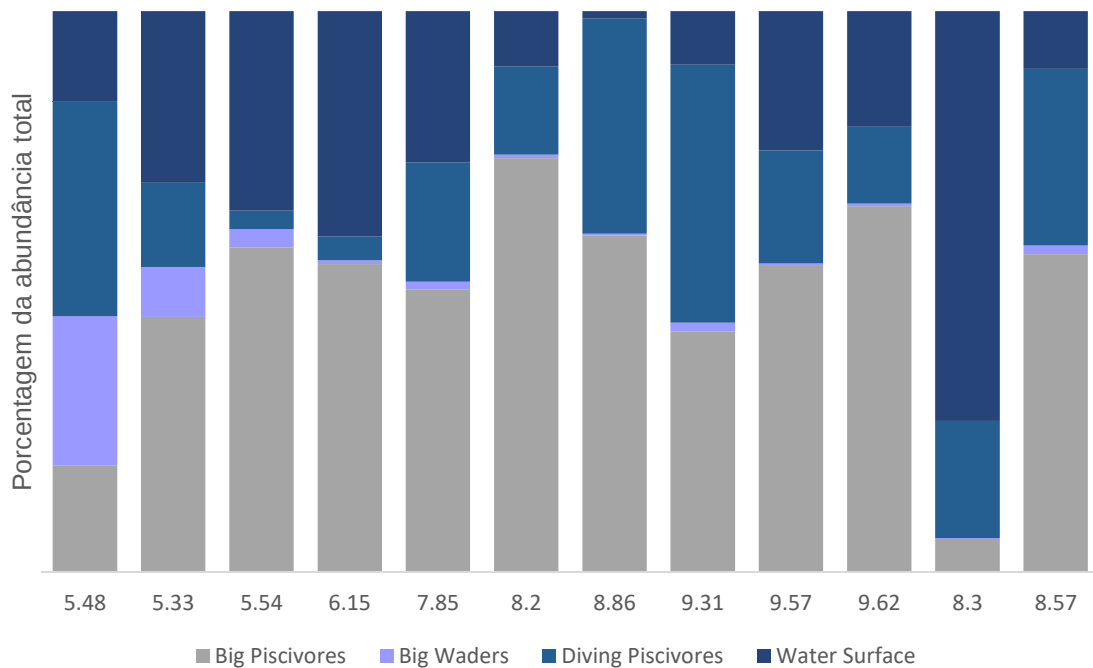


Figura 10. Porcentagem de indivíduos pertencentes a cada grupo funcional do total registrado em cada profundidade amostrada.

A figura 11 representa o Rank das abundâncias das espécies no mês com a menor profundidade registrada (pontos pretos, n= 5.33) e no mês com a maior profundidade registrada (balões cinzas, n = 9.62). No mês com a maior profundidade apenas *Ardea alba* foi registrada em alta abundância (409), seguida por *Dendrocygna bicolor* com menos da metade de indivíduos registrados (100).

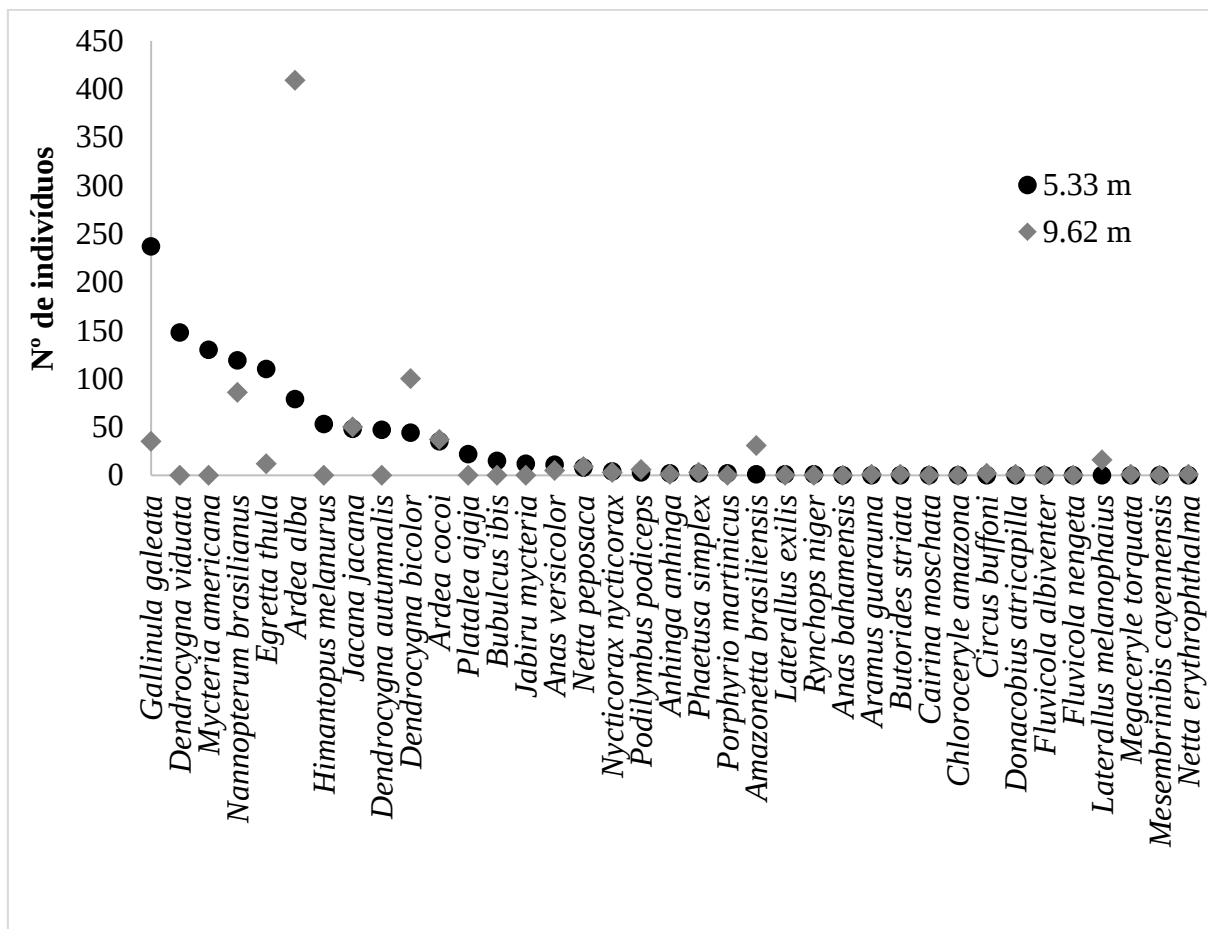


Figura 11. Abundâncias das espécies de aves nos meses com a menor e a maior profundidade registrada na área do Tanquã. As espécies estão ranquiadas da esquerda para direita em ordem decrescente das abundâncias registradas no mês com a menor profundidade.

Foram gerados separadamente modelos lineares generalizados (GLM) relacionando a profundidade do rio como variável explicativa da abundância de todas as espécies registradas em pelo menos 25% dos meses (Tabela 5). Das 28 espécies, 10 geraram modelos significativos ($p < 0,05$) (Fig. 12). As equações dos GLM foram utilizadas para estimar a abundância das espécies se construída a barragem "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra", com base nas duas opções de operação do reservatório (elevação do nível do rio em 6 e 10 m do máximo atual). A seguir serão detalhadas as relações observadas nos modelos significativos para cada espécie e suas famílias:

Tabela 5. Parâmetros estatísticos dos modelos lineares generalizados (GLM) que relacionam a profundidade do rio como variável explicativa da abundância de todas as espécies registradas em pelo menos 25% dos meses amostrados. Com base nestes modelos são feitas previsões de abundâncias caso seja construída a barragem "Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra" com duas opções de operação do reservatório (elevação do nível do rio em 6 e 10 m do máximo atual). Abundâncias negativas denotam o desaparecimento das espécies destacadas em cinza.

Espécie	R ²	F	P	Abundância na menor profundidade	Abundância na maior profundidade	Previsão de abundância com elevação de 6m	Previsão de abundância com elevação de 10m
Anatidae							
<i>Dendrocygna bicolor</i>	0.00	0.00	0.99	44	100	4	4
<i>Dendrocygna viduata</i>	0.94	166.63	0.00	148	-	-48	-70
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	0.74	27.38	0.00	47	0	-2	-5
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	0.00	0.00	0.94	1	31	3	3
<i>Anas bahamensis</i>	0.47	10.57	0.01	-	-	-6	-10
<i>Anas versicolor</i>	0.44	8.94	0.01	11	5	-2	-4
<i>Netta erythrophthalma</i>	0.19	2.12	0.18	-	1	-3	-5
<i>Netta peposaca</i>	0.01	0.07	0.80	8	9	1	1
Podicipedidae							
<i>Podilymbus podiceps</i>	0.27	4.23	0.07	3	6	3	4
Ciconiidae							
<i>Mycteria americana</i>	0.80	48.39	0.00	130	-	-6	-11
Phalacrocoracidae							
<i>Nannopterum brasilianus</i>	0.18	2.20	0.16	119	86	2	1
Anhingidae							
<i>Anhinga anhinga</i>	0.01	0.18	0.68	2	1	0	-1
Ardeidae							
<i>Nycticorax nycticorax</i>	0.03	0.35	0.57	4	3	1	1
<i>Butorides striata</i>	0.08	0.54	0.48	-	1	3	4
<i>Ardea cocoi</i>	0.09	0.95	0.35	35	37	4	4
<i>Ardea alba</i>	0.26	3.32	0.10	79	409	-3	-4

Espécie	R ²	F	P	Abundância na menor profundidade	Abundância na maior profundidade	Previsão de abundância com elevação de 6m	Previsão de abundância com elevação de 10m
<i>Egretta thula</i>	0.31	5.04	0.05	110	12	1	-1
Threskiornithidae							
<i>Phimosus infuscatus</i>	0.03	0.31	0.59	-	0	1	2
<i>Platalea ajaja</i>	0.83	23.26	0.00	22	-	-18	-27
Accipitridae							
<i>Circus buffoni</i>	0.31	5.70	0.04	-	2	4	7
<i>Rothramus sociabilis</i>	0.09	1.01	0.34	-	-	1	3
Aramidae							
<i>Aramus guaraúna</i>	0.01	0.12	0.74	-	1	-2	-2
Rallidae							
<i>Laterallus melanophaius</i>	0.34	4.63	0.06	-	16	4	6
<i>Gallinula galeata</i>	0.66	19.11	0.00	237	35	1	-1
<i>Porphyrio martinicus</i>	0.01	0.06	0.81	2	-	1	1
Recurvirostridae							
<i>Himantopus melanurus</i>	0.61	14.74	0.00	53	0	-21	-32
Jacaniidae							
<i>Jacana jacana</i>	0.07	0.67	0.43	48	50	4	5
Alcedinidae							
<i>Megaceryle torquata</i>	0.30	4.01	0.07	-	1	3	5

* R² = deviance of the model divided by residual deviance of the null model.

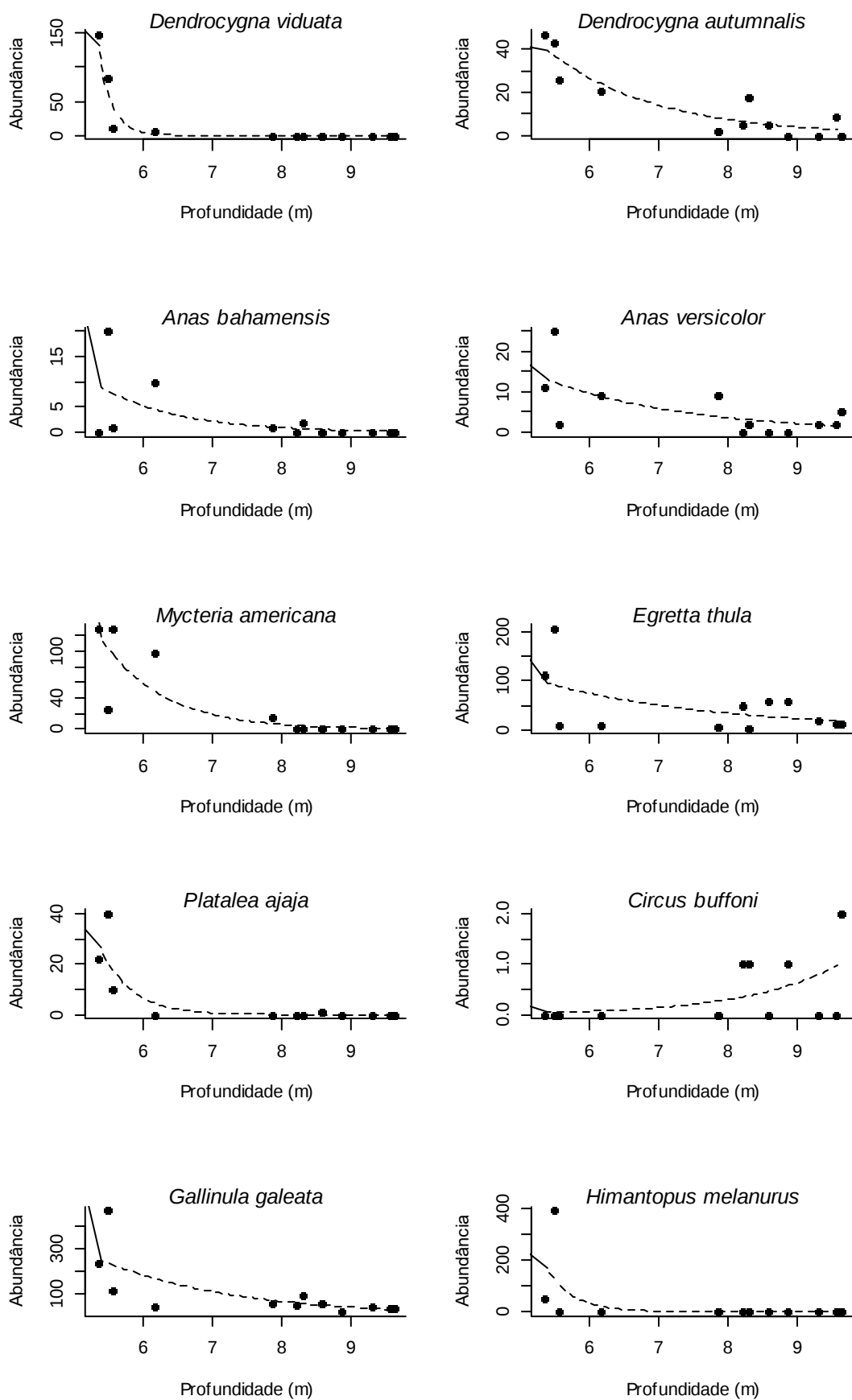


Figura 12. Modelos de regressão linear generalizados significativos ($p < 0.05$) relacionando a profundidade do rio como variável explicativa da abundância das espécies registradas em pelo menos 25% dos meses.

4.1 Anatidae

Anatidae foi a família com maior riqueza de aves na área de estudo, compreendendo 15.2% (n = 11) das espécies registradas no Tanquã. Os anatídeos são aves sociáveis que podem ocorrer em grandes concentrações (SICK, 2001). Espécies dessa família voam bem e são nômades buscando novos locais quando o nível d'água não está favorável (SICK, 2001). Durante este estudo foram encontradas grandes aglomerações de *Dendrocygna bicolor* (n = 337), *Dendrocygna autumnalis* (aprox. 300), *Netta peposaca* (n = 103), *Sarkidiornis sylviola* (aprox. 150). As espécies de Anatidae foram classificadas no grupo Superfície da Água e se relacionaram negativamente com o nível do rio.

Os Anatidae geralmente se alimentam de sementes, raízes e vegetação aquática, porém durante a reprodução muitos muitos sua dieta buscando alimentos mais ricos em proteínas, como crustáceos e larvas de insetos (SICK, 2001). O Tanquã foi utilizado por espécies dessa família para alimentação, reprodução e também como refúgio na época da muda, quando trocam simultaneamente todas as rêmiges e ficam impossibilitados de voar. A presença de grandes aglomerações de espécies dessa família indica que o Tanquã apresenta condições muito favoráveis a elas, tanto para alimentação quanto para descanso e proteção em momentos importantes de seu ciclo anual, a muda e a reprodução.

De forma geral, as espécies do gênero *Anas* necessitam de águas rasas e eutróficas para se alimentarem, onde remexem a superfície da água para filtrar seus alimentos (Sick 2001). Isso pode explicar porque a abundância de *Anas bahamensis* se relacionou de forma negativa com a profundidade do rio ($p < 0.01$, $R^2 = 0.47$) (Fig. 12). De acordo com o modelo, a expectativa é de que a espécie desapareça do Tanquã caso ocorra uma elevação de 6 ou 10 metros no nível do rio na área (Tabela 5).

Anas versicolor foi a única espécie do gênero *Anas* que foi encontrada em mais de 80% das amostras (n = 11), estando presente quase o ano inteiro e se reproduzindo na área (Tabela 1). Quando o rio apresenta condições menos favoráveis para a alimentação através de filtração, a espécie pode complementar sua dieta se alimentando em pastagens (SICK, 2001), que são abundantes no entorno do Tanquã. Apesar disso sua abundância também se relacionou de forma negativa com o nível do rio ($p = 0.01$, $R^2 = 0.44$) (Fig. 12). De acordo com o modelo, a expectativa é de que a espécie desapareça do Tanquã caso ocorra uma elevação de 6 ou 10 metros no nível do rio na área (Tabela 5).

Dendrocygna autumnalis ocorre do Texas à Bolívia e Argentina, é comum em todo o Brasil, mas torna-se rara no Sudeste em determinadas épocas do ano (Sick 2001, Sigrist 2009). No entanto foram registrados grandes bandos da espécie, com mais de 300 indivíduos, ocorrendo no Tanquã, estando presentes durante o ano inteiro (100% das amostras *ad libitum*) e se reproduzindo na área (Tabela 1). Apesar disso sua abundância nos pontos de contagem variou de 47 a nenhum indivíduo. Relacionou-se também de forma negativa com o nível do rio ($p < 0.01$, $R^2 = 0.74$) (Fig. 12). De acordo com o modelo, a expectativa é de que a espécie desapareça do Tanquã caso ocorra uma elevação de 6 ou 10 metros no nível do rio na área (Tabela 5).

Dendrocygna viduata apresenta distribuição pantropical, sendo bastante comum também em áreas alteradas e antrópicas (SIGRIST, 2009). No Tanquã esteve presente em 11 dos 12 meses, no entanto é a espécie do gênero *Dendrocygna* menos comum na área, chegando a não ser encontrada nos pontos de amostragem em alguns dos meses (Tabela 1). Sua abundância nos pontos de contagem também foi negativamente correlacionada com o nível do rio ($p < 0.01$, $R^2 = 0.94$) (Fig. 12). De acordo com o modelo, a expectativa é de que a espécie também desapareça do Tanquã caso ocorra uma elevação de 6 ou 10 metros no nível do rio (Tabela 5).

A abundância de *Netta peposaca* nos pontos de contagem se manteve relativamente estável ao longo do ano e não foi correlacionada com o nível do rio, gerando um modelo não significativo ($p = 0.80$, $R^2 = 0.01$). A espécie é classificada como migratória e que se reproduz em terras a oeste do Brasil (ANTAS, 1994; NASCIMENTO et al., 2000; PIACENTINI et al., 2015). É visitante comum na região sul, havendo alguns registros de sua reprodução no Rio Grande do Sul (NASCIMENTO et al., 2000), porém na região sudeste é considerada rara (NASCIMENTO et al., 2000; SICK, 2001). No entanto a espécie foi encontrada durante o ano todo com vários casais se reproduzindo no local de estudo (Tabela 1). A espécie tem grande capacidade para voos longos, tendo sido registrada a distância de 1380 km percorridos em 3 dias por um indivíduo anilhado no Rio Grande do Sul (NASCIMENTO et al., 2000). Sua alta capacidade de dispersão e ocorrência frequente no Tanquã, ao longo do ano todo, mostra a adequabilidade da área para esta espécie que poderia com facilidade migrar para ambientes mais favoráveis em diferentes épocas do ano. Mais estudos são necessários para compreender o comportamento desta população aparentemente residente no Tanquã.

4.2 Ciconiidae

Esta família compreende grandes aves aquáticas dulcícolas de vasta distribuição no globo (SICK, 2001). O tuiuiú (*Jabiru mycteria*) e o maguari (*Ciconia maguari*) são as maiores aves

voadoras do Brasil (SICK, 2001). Das três espécies encontradas no país, duas foram registradas nos censos (*Mycteria americana* e *Jabiru mycteria*), e uma foi listada no EIA do empreendimento “Aproveitamento múltiplo Santa Maria da Serra” (*Ciconia maguari*). As três espécies apresentam uma estratégia de forrageamento semelhante, que consiste em caminhar por águas rasas em busca de presas escondidas em meio ao lodo e a vegetação (SICK, 2001). Portanto o comprimento de seus tarsos é o limite máximo de profundidade no qual as espécies buscam alimento.

Todas as espécies encontram mais recursos, inclusive para a reprodução, no início da época seca, quando ocorre maior concentração de animais aquáticos que servem de presa. Quando a profundidade da água começa a diminuir eles se juntam a espécies de garças na busca de peixes moribundos que ficaram presos em poças (SICK, 2001). Dificilmente ficam presos a locais menos favoráveis à sua alimentação, podendo voar tranquilamente grandes distâncias como 30 km (SICK, 2001) buscando as melhores lagoas ou banhados.

Mycteria americana, conhecida como cabeça-seca, é a espécie mais gregária da família (SICK, 2001), sendo encontrada em grupos de mais 150 indivíduos na área de estudo e em 50% das amostras (Tabela 1). Porém é listada como espécie quase ameaçada no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2014). Realiza movimentos sazonais pelos sistemas fluviais da região do Pantanal até o Rio Grande do Sul e Argentina, de forma a sempre ter faixas marginais de água rasa à sua disposição (ANTAS, 1994; SICK, 2001). Assim como outras espécies encontradas neste estudo, o cabeça-seca utiliza uma rota migratória interna pelo Vale do Rio Paraná, utilizando áreas no Rio Grande do Sul e Argentina e retornando ao Pantanal de novembro a abril para se reproduzir (ANTAS, 1994). Foi durante este período que a espécie foi encontrada no Tanquã, porém sem sinais de reprodução. A maioria dos indivíduos encontrados eram juvenis que podiam estar usando a área apenas para a alimentação, sem completar o resto de sua migração até o Pantanal para a reprodução. Além disso, segundo Sick (2001), indivíduos dessa espécie podem também escolher não se reproduzir em anos que não consideram favoráveis.

O modelo de regressão linear mostrou que a profundidade do rio influencia negativamente a abundância do cabeça-seca ($p < 0.01$, $R^2 = 0.80$) (Fig. 12), e prevê um desaparecimento da espécie caso ocorra a elevação do nível do rio em 6 ou 10 m do máximo atual (Tabela 5). Como a espécie frequenta o Tanquã apenas de setembro a abril, a presença da espécie depende da presença de lagoas rasas nesta época. Assim como outras espécies dessa família, os cabeça-secas se aproveitam da atual sazonalidade do Tanquã para se alimentarem de peixes que ficam presos

nas lagoas que começam a secar a partir de setembro, quando a barragem de Barra Bonita opera liberando a água que escoar rapidamente da planície de inundação. Nesta época, foram observados grupos de até 25 indivíduos andando em filas esquadrinhando o fundo das lagoas que estavam secando, buscando os peixes aprisionados.

4.3 Ardeidae

A família compreende aves de vasta distribuição, sendo na sua maioria paludícolas. As populações de quase todas as espécies de garças flutuam bastante e várias são localmente migratórias no Brasil (SICK 2001, Stotz et al. 1996).

As aves desta família se alimentam de insetos aquáticos, caranguejos, moluscos, anfíbios e répteis, mas principalmente de peixes e, como predadores de topo, apresentam papel fundamental em suas comunidades. Além disso, seus dormitórios proporcionam acúmulo de matéria orgânica que beneficia a microfauna, que serve de alimento para os peixes (SICK, 2001).

Apesar de ser a segunda família com maior riqueza de espécies no Tanquã (10 espécies) e a maior abundância (2124 registros), apenas a garça-branca-pequena (*Egretta thula*) apresentou um modelo significativo relacionando sua abundância com a profundidade do rio. A maioria das espécies desta família é bem generalistas e apresentam baixa sensibilidade à perturbação ambiental, podendo ser más indicadores de qualidade de habitat (Stotz et al. 1996). Elas ocorrem em diversos ambientes, podendo preda peixes pequenos na borda de reservatórios bem poluídos e impactados.

Egretta thula é uma espécie bem generalista que ocorre em corpos d'água doce ou salgados, na maior parte da América do Sul e em todo o Brasil, setentrionalmente até o sudeste dos EUA (SICK, 2001). Apresentam grande capacidade de dispersão, havendo registro de um indivíduo que foi recuperado a 1400 km do local de anilhamento (SICK, 2001).

O modelo gerado neste estudo mostrou uma relação negativa entre a profundidade do rio e a abundância desta espécie na área de estudo ($p = 0.05$, $R^2 = 0.31$) (Fig. 12). Utilizando a equação do modelo para prever a abundância da espécie nas cotas de operação previstas para o “Aproveitamento múltiplo Santa Maria da Serra” observamos que apesar da queda, a espécie não desapareceria na primeira cota de operação (elevação de 6 m do nível máximo atual do rio) mas sim na segunda (elevação de 10 m do nível máximo atual do rio) (Tabela 5). No entanto, a espécie é bem generalista e possui baixa sensibilidade à perturbação antrópica (STOTZ et al., 1996).

4.4 Threskiornithidae

As espécies desta família apresentam alimentação e morfologia do bico bastante especializada, alimentando-se primordialmente de crustáceos e moluscos (SICK, 2001). No Tanquã ocorrem 55% das espécies desta família registradas para o Brasil (9 espécies).

Platalea ajaja é uma espécie que habita praias lamacentas no litoral ou interior da região neotropical, desde o sul dos EUA até a Argentina (SICK, 2001). Chamada de colhereiro, recebe este nome devido a morfologia de seu bico altamente especializado. Os bandos procuram alimento nas águas rasas, mergulhando seus bicos em forma de colher e sacudindo-os lateralmente, apanhando peixinhos, insetos, moluscos e crustáceos. É comum ver vários indivíduos realizando pescarias coletivas (SICK, 2001).

A profundidade do rio influenciou negativamente a abundância desta espécie ($p < 0.01$, $R^2 = 0.83$) (Fig. 12), e o modelo prevê um desaparecimento da espécie caso ocorra a elevação do nível do rio em 6 ou 10 m do máximo atual (Tabela 5). Isso se justifica pois o forrageio da espécie é limitado pelo comprimento de seu tarso, não adentrando em águas mais profundas.

4.5 Accipitridae

Os accipitridae formam uma grande família cosmopolita e apresentam papel indispensável como reguladores da fauna e como predadores de topo. Encontram-se ameaçados pela degradação ambiental, caça indiscriminada e acúmulo de toxinas, sendo mais impactados aqueles que se alimentam de peixes e outras aves (SICK, 2001), como é o caso das espécies dependentes de áreas úmidas encontradas no Tanquã.

Algumas espécies como o falcão peregrino (*Falco peregrinus*), a águia-pescadora (*Pandion haliaetus*), a águia-careca (*Haliaeetus leucocephalus*) e o gavião-caramujeiro (*Rosthramus sociabilis*) já se mostraram especialmente sensíveis a degradação e contaminação ambiental (HICKEY, 1969; SICK, 2001). Dada esta sensibilidade, alguns autores consideram as aves de rapina excelentes indicadoras ambientais, especialmente nos neotrópicos, onde as pressões sobre os habitats naturais dessas espécies têm aumentado devido ao desmatamento e contaminação pelo uso indiscriminado de pesticidas (BIERREGAARD, 1995; HICKEY, 1969).

Circus buffoni (gavião-do-banhado) é uma espécie paludícola que ocorre em quase todo o país. Porém, encontra-se na lista de espécies ameaçadas de extinção no estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2014). Alimenta-se de rãs, preás e outros pequenos animais, nidificando no solo entre a vegetação de áreas alagadas (SICK, 2001). O modelo mostrou uma relação positiva entre

o aumento da profundidade do rio e a abundância da espécie ($p = 0.04$, $R^2 = 0.31$) (Fig. 12). Essa relação pode ser justificada pois durante as cheias, algumas de suas presas ficam isoladas nas ilhas de tamanhos cada vez menores, sendo mais facilmente capturadas. Assim os indivíduos não precisariam ir buscar alimento em outros locais. No entanto, foi encontrado apenas um casal na área, que nidificou gerando um terceiro indivíduo imaturo que depois abandonou o Tanquã. Não se conhece muito sobre a biologia e área de vida da espécie, mas apesar da relação encontrada, não sabemos se o Tanquã apresenta tamanho suficiente para comportar mais de um casal da espécie.

4.6 Rallidae

Apesar de apresentarem uma distribuição global e de se utilizarem de diversos tipos de habitats, desde florestas até áreas alagadas, os Rallidae são pouco estudados. As espécies que ocorrem em banhados são especialmente inconspícuas, o que tem desencorajado seu estudo, dificultando definir seu status de conservação e ecologia (BRAMBILLA; JENKINS, 2009). Apesar disso, existem diversas evidências de que as espécies realizam movimentos migratórios ou que ao menos têm a tendência de se dispersarem consideravelmente (Sick 2001).

Apesar de terem sido registradas 10 espécies desta família no Tanquã, muitas não eram encontradas em todos os censos, o que não indica que as espécies não estavam presentes, pois por serem muito inconspícuas e viverem em meio a vegetação seu registro se dá quase que exclusivamente pelo canto (Sick 2001). Brambilla e Jenkins (2009) mostraram que as taxas de detecção através do canto e por resposta a playback de uma mesma população variam muito ao longo do ano, dependendo da época em que a espécie se reproduz, podendo em alguns meses não serem detectadas. Sendo assim, é de se esperar que mesmo *Laterallus melanophaius*, uma espécie que esteve presente em mais de 50% das amostras, não tenha gerado um modelo significativo, já que seu registro se deve mais ao período reprodutivo do que à sua abundância no local de estudo.

Gallinula galeata, o frango-d'água-comum, é uma espécie amplamente distribuída, ocorrendo inclusive na América do Norte e no Velho Mundo (SICK, 2001). Dentre as espécies de Rallidae encontradas no Tanquã é a mais comum, apresentando um comportamento diferenciado, frequentando áreas mais abertas e sem vegetação ou cruzando áreas abertas do rio. *Gallinula galeata* e *Porphyrio martinicus* foram as únicas espécies da família cujo registro visual era comum, podendo a primeira gerar um modelo significativo ($p < 0.01$, $R^2 = 0.66$) (Fig. 12) (Tabela 5). Este modelo mostrou uma relação negativa entre a profundidade do rio e a abundância da espécie. Utilizando a equação do modelo para prever a abundância da espécie nas cotas de

operação previstas para o “Aproveitamento múltiplo Santa Maria da Serra” observamos que, apesar de apresentar queda em sua abundância, a espécie não desapareceria na primeira cota de operação (elevação de 6 m do nível máximo atual do rio) mas sim na segunda (elevação de 10 m do nível máximo atual do rio) (Tabela 5). No entanto, a espécie também é bem generalista e pouco sensível à degradação ambiental (STOTZ et al., 1996), sendo comumente encontrada em corpos d’água muito alterados e impactados.

4.7 Recurvirostridae

É uma família distribuída por diversos continentes, incluindo zonas temperadas e de alta altitude (SICK, 2001). Habita águas rasas onde se alimenta de insetos e outros invertebrados.

Himantopus melanurus (pernilongo-de-costas-brancas) ocorre desde os EUA até a porção setentrional da América do Sul. Vive nas margens lodosas de lagos, banhados, manguezais e arrozais, nidificando em brejos (SICK, 2001). Esta espécie se alimenta na lâmina d’água ou no lodo recém exposto, buscando pequenos invertebrados, portanto necessita deste ambiente de águas rasas para seu forrageamento. Foram encontrados diversos filhotes na amostragem de outubro de 2014, mostrando que a espécie utiliza a área para a reprodução (Tabela 1). A abundância de *H. melanurus* variou muito durante os meses do estudo, sendo 53 indivíduos registrados no mês mais seco e nenhum registrado no mês em que o rio apresentou a maior profundidade. Enquanto a planície de inundação ia sendo cada vez mais alagada, os grupos desta espécie começaram a ser avistados cada vez mais a montante do rio, onde o alagamento é mais tardio, até sumirem completamente da área.

A profundidade do rio influenciou negativamente abundância de *H. melanurus* ($p < 0.01$, $R^2 = 0.61$) (Fig. 12) (Tabela 5). O modelo prevê um desaparecimento da espécie caso ocorra a elevação do nível do rio em 6 ou 10 m acima do máximo atual.

4.8 Importância do Tanquã como habitat para espécies de aves aquáticas no Estado de São Paulo

Com os dados obtidos durante um ano de censo e levantados na literatura podemos notar que as várzeas do Tanquã, apesar de serem um ambiente alterado e terem seu pulso de inundação controlado pela Barragem de Barra Bonita, oferecem um refúgio para diversas espécies de aves migratórias ou ameaçadas no estado de São Paulo. A grande capacidade de voo e dispersão das espécies observadas no Tanquã levam a crer que estas espécies não permaneceriam na área de estudo caso o local não fosse adequado e evitariam se reproduzir na área. Após 54 anos da construção da barragem de Barra Bonita, muitas espécies parecem ter se adequadado ao regime

hídrico pela barragem, frequentando o Tanquã no período em que estão disponíveis os recursos de que necessitam, sejam eles macro invertebrados bentônicos, peixes, macrófitas aquáticas, suas sementes, insetos, ou mesmo materiais para nidificação.

Sabe-se que a preservação de bons sítios de parada é essencial para espécies migratórias, mas estas áreas apresentam papel importante na conservação de todas as aves aquáticas. Muitas das espécies que frequentam o Tanquã realizam movimentos sazonais pela paisagem em busca de recursos. Neste contexto, a perda ou alteração do regime hídrico desta área úmida pode afetar a conectividade da paisagem para estas aves. De uma maneira geral a elevação e principalmente a estabilização do nível d'água na altura do Tanquã traria consequências negativas para as espécies de aves. A maior parte das espécies apresentou uma relação negativa entre a abundância e a profundidade do rio Piracicaba e, portanto, seriam afetadas diretamente. Não obstante, não se sabe como alterações no regime hídrico poderiam afetar as espécies que não mostraram relação direta entre suas abundâncias e o nível do rio, já que a falta de um pulso de inundação alteraria a ciclagem de nutrientes, o controle de macrófitas e as trocas gasosas.

5 CONCLUSÕES

O Tanquã é uma grande planície de inundação com alta heterogeneidade ambiental, oferecendo um mosaico de habitats, que vão desde praias de lodo exposto a águas abertas de profundidade variável, com alterações temporais consideráveis em suas características ambientais. A sazonalidade do nível da água, a heterogeneidade dos habitats e o tamanho da planície de inundação, provavelmente são responsáveis pela ocorrência de tantas espécies de aves aquáticas em altas abundâncias.

Elevações no nível da água afetam negativamente a abundância de várias espécies de aves. Portanto, a alteração prevista do atual ciclo de inundação pela construção da nova barragem (denominada “Aproveitamento Múltiplo Santa Maria da Serra”) representa um risco real de ameaçar várias espécies da comunidade de aves. Projetos de infraestrutura que mantenham o Tanquã permanentemente alagado, acabarão com a sazonalidade e diminuirão consideravelmente a heterogeneidade de habitats, levando a uma diminuição de sua capacidade de sustentar uma comunidade tão diversificada de aves aquáticas.

Aparentemente, o regime de inundação artificial imposto pela barragem de Barra Bonita contrapõe o dano esperado pela sua construção na área do Tanquã. Como tal, este "happy accident" mostrou que, reproduzindo ciclos naturais de inundação durante sua operação, os operadores das usinas hidrelétricas e barragens podem tomar ações para adequar as áreas de influência destas infraestruturas e transformá-las em elementos chave na conservação de aves aquáticas ameaçadas e migratórias. Tais ações têm muita importância em regiões como o sudeste do Brasil, onde o status de conservação das áreas úmidas é desconhecido, não sendo possível estimar a disponibilidade de recursos para as aves aquáticas nem a conectividade efetiva entre as áreas úmidas por elas usadas.

Estudos futuros precisam focar em um melhor entendimento das relações das aves com outros fatores bióticos, como a disponibilidade de alimentos, como peixes e macro invertebrados e de áreas para abrigo, como abundância de macrófitas, a fim de determinar quais seriam as melhores ações a serem tomadas por empreendimentos a fim de transformar suas áreas de impacto em habitats adequados. Este estudo demonstrou que, como diferentes grupos de aves são influenciados de formas distintas pelo nível da água e sua variação, a preservação de um pulso de inundação monomodal e anual contribui para a manutenção de uma alta diversidade de espécies de aves e de seus grupos funcionais. Como as barragens menores provavelmente

oferecem mais opções e oportunidades de manejo, elas devem ser levadas em consideração ao estabelecer prioridades de investimento e financiamento, seja para geração de energia ou qualquer outro uso. Em barragens maiores, onde a regulação deste pulso de inundação pode não ser uma opção economicamente viável, outras ações de mitigação podem ser recomendadas para a criação de heterogeneidade de habitat. Entre elas estão: a atenuação da declividade nas margens dos reservatórios e a criação de ilhas artificiais, que ampliariam a disponibilidade de habitats e refúgios de águas rasas.

A criação e a preservação de bons sítios de parada são essenciais para a conservação de espécies de aves aquáticas que realizam movimentos sazonais pela paisagem em busca de recursos. Neste contexto, a perda de uma área úmida capaz de dar suporte a elas pode afetar a conectividade da paisagem. Como o movimento das aves aquáticas pela paisagem é pouco compreendido, e na região sudeste do Brasil restam poucas áreas inalteradas, seria de extrema relevância a compreensão de quantas e quais áreas úmidas, assim como o Tanquã, ainda dão suporte a estas espécies, antes de tomadas decisões que acarretem na perda de remanescentes críticos de habitats ou da conectividade entre eles.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, M. et al. Birds of rice fields in the Americas. **Waterbirds**, Fla., US, v. 33, n. 1, p. 105-122. 2010.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- ANDERSON, M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, pp. 32–46. 2001.
- ANTAS, P.D.T. Migration and other movements among the lower Paraná River valley wetlands, Argentina, and the south Brazil/Pantanal wetlands. **Bird Conservation International**, Cambridge, UK, v. 4, p. 181-190. 1994.
- AMEZAGA, J.M.; SANTAMARÍA, L.; GREEN, A.J. Biotic wetland connectivity-supporting a new approach for wetland policy. **Acta oecologica**, Paris, FR, v. 23, n. 3, p. 213-222. 2002.
- BASCHUK, M.S. et al. Effects of water depth, cover and food resources on habitat use of marsh birds and waterfowl in boreal wetlands of Manitoba, Canada. **Waterbirds**, Fla., US, v. 35, n.1, p. 44-55. 2012.
- BIBBY, C.J.; BURGESS, N.D.; HILL, D.A. **Bird census techniques**. London, Academic Press limited, 1992. 256 p.
- BIERREGAARD, R.O. The biology and conservation status of Central and South American Falconiformes: a survey of current knowledge. **Bird Conservation International**, Cambridge, UK, v.5, n. 2-3, p. 325-340. 1995.
- BRAMBILLA, M; JENKINS, R. K. B. Cost-Effective Estimates Of Water Rail Rallus Aquaticus Breeding Population Size. **Ardeola**, Madrid, ES, v. 56, n. 1, p. 95-102. 2009.
- BRESSAN, P.M.; KIERULFF, M.C.M.; SUGIEDA, A.M. **Fauna Ameaçada de Extinção no Estado de São Paulo**: Vertebrados. FPZSP & SMA, São Paulo. 2009. 648 p.
- CAMERON, A.C.; WINDMEIJER, F.A. R-squared measures for count data regression models with applications to health-care utilizatiov. **Journal of Business & Economic Statistics**, Washington, US, v. 14, n.2, p. 209-220. 1996.
- CASANOVES, F. et al. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity. **Methods in Ecology and Evolution**, London, UK, v. 2, n. 3, p. 233-237. 2011.
- CROZARIOL, M.A. Birdwatching em campos de arroz irrigados: Uma atividade que tem tudo para dar certo. **Atualidades Ornitológicas On-line**, n. 157, pp. 47-54. 2010.
- DAVISON, N. C.; EVENS, P. R. Prebreeding accumulation of fat and muscle protein by arctic-breeding shorebirds. In: XIX Congress International of Ornithology, 1988, Ottawa. **Acta XIX Congressus Internationalis Ornithologici**, Ottawa: University of Ottawa Press, 1988. p. 342-352.

DESGRANGES, J.L. et al. Modelling wetland bird response to water level changes in the Lake Ontario–St. Lawrence River hydrosystem. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, Holanda, NL, v. 113, n. 1-3, p. 329-365. 2006.

DUGAN, P.; BELLAMY, D. **Wetlands in Danger: A World Conservation Atlas**. London: Oxford University Press, 1993. 192 p.

FARIA, C. M. et al. Aves de um fragmento de Mata Atlântica no alto Rio Doce, Atlântica no alto Rio Doce, Minas Gerais: colonização e extinção colonização e extinção. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, BR, v. 23, n.4, p. 1217-1230. 2006.

GARDNER, R.C. et al. **State of the World's Wetlands and Their Services to People: A Compilation of Recent Analyses**. Ramsar Briefing Note No. 7. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat. 2015.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, Florida, US, v. 4, p. 1-92, 2001.

HICKEY, J. J. **Peregrine Falcon populations: their biology and decline**. London: University of Wisconsin Press. 1969. 596 p.

HOOK, D.D. Wetlands – History, Current Status, and Future. **Environmental Toxicology and Chemistry**, [S.I], v. 12, p. 2157-2166. 1993.

HVENEGAARD, G.T.; BARBIERI, E. Shorebirds in the State of Sergipe, northeast Brazil: potential tourism impacts. **Revista Brasileira de Ornitologia**, São Paulo, BR, v. 18, n. 3, p. 169-175. 2010.

IHA. **Hydropower Status Report**. International Hydropower Association. 2015. Disponível em: <<https://www.hydropower.org/2015-hydropower-status-report>> Acesso em: 11 ago. 2016

INSTITUTO FLORESTAL E GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Quantificação das Diferentes Fitosionomias da Vegetação Natural Remanescentes de Acordo com as Regiões Administrativa do Estado de São Paulo – Legenda IBGE Regional**. 2001. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gon.br/sifesp/files/2014/01/tabela1.pdf>>

JUNK, W.J. et al. A classification of major Amazonian wetlands. **Wetlands**, [S.I], n.31, p. 623–640. 2011.

JUNK, W.J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Science**, Dubendorf, Eawag, n. 68, p.278-309. 2006.

JUNK, W. J., BAYLEY, P. B. & SPARKS, R. E. The flood pulse conceptc in river-floodplain sysrems, p. 110-127. In Dodge, D. P. [ed.]. Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. **Fish Aquat. Sci.**, n 106. 1989.

JUNK, W.J. Wetlands of Tropical South America. In: WHIGHAM, D., HEJNÝ, S.; DYKYJOVÁ, D. (Eds.). **Wetlands of the World I: inventory, ecology and management**. Dordrecht, Dr. W. Junk Publ., 1993. p. 679-739.

KIRBY, J.S. et al. Key conservation issues for migratory land-and waterbird species on the world's major flyways. **Bird Conservation International**, Cambridge, UK, v. 18, n. S1, p. S49-S73. 2008.

LANTZ, S.M.; GAWLIK, D.E.; COOK, M.I. The effects of water depth and emergent vegetation on foraging success and habitat selection of wading birds in the Everglades. **Waterbirds**, Fla., US, v. 34, n. 4, p. 439-447. 2011.

LIMA, L. M. **Aves da Mata Atlântica: riqueza, composição, status, endemismos e conservação**. 2013. n. 1, 526 f. Dissertação (Mestre em Ciências - Zoologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MA, Z. et al. Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds?—A case study on Chongming Island, China. **Biodiversity and Conservation**, London, UK, v. 13, n. 2, p. 333-350. 2004.

MACEDO-SOARES, D. et al. Hydrological connectivity in coastal inland systems: lessons from a Neotropical fish metacommunity. **Ecology of Freshwater Fish**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 7-18. 2010.

MEHLMAN, D.W. et al. Conserving stopover sites for forest-dwelling migratory landbirds. **The Auk**, Washington, US, v. 122, n. 4, p. 1281-1290. 2005.

MITSCH, W.J. et al. Tropical wetlands: seasonal hydrologic pulsing, carbon sequestration, and methane emissions. **Wetlands Ecology and Management**, [S.I.], n.18, p. 573-586. 2009.

Nascimento, J. L. X. et al. Migração e dados demográficos do marrecão *Netta peposaca* (Anseriformes, Anatidae) no sul do Brasil, Uruguai, Paraguai e norte da Argentina. **Melopsittacus**, Belo Horizonte, BR, v. 3, n. 4, p. 143-158. 2000.

NEIFF, J. J. El regimen de pulsos em rios y grandes humedales de Sudamerica. In: MALVÁREZ, A. I. (ed.) **Tópicos sobre humedales subtropicales y templados em Sudamérica**. UNESCO, Montevideo. 1999. 229 p.

NOVELLI, R. **Aves marinhas costeiras do Brasil (Identificação e Biologia)**. Cinco Continentes, Porto Alegre (Brazil). 92 p. 1997.

NTIAMOA-BAIDU, Y.A.A. et al. Water depth selection, daily feeding routines and diets of waterbirds in coastal lagoons in Ghana. **Ibis**, London, UK, v. 140, n. 1, p. 89-103. 1998.

PADIAL, A. A. et al. The role of an extreme flood disturbance on macrophyte assemblages in a Neotropical floodplai. **Aquatic Sciences**, Basel, CH, v. 71, n. 4, p. 389-398. 2009.

PAILLISSON, J.M.; REEBER, S.; MARION, L. Bird assemblages as bio-indicators of water regime management and hunting disturbance in natural wet grasslands. **Biological Conservation**, Essex, UK, v. 106, n. 1, p.115-127. 2002.

PARACUELLOS, M.; TELLERÍA, J. L. Factors affecting the distribution of a waterbird community: the role of habitat configuration and bird abundance. **Waterbirds**, Fla. US, v. 27, n. 4, p. 446-453. 2004.

PASZKOWSKI, C.A.; TONN, W.M. Community concordance between the fish and aquatic birds of lakes in northern Alberta, Canada: the relative importance of environmental and biotic factors. **Freshwater Biology**, Oxford, UK, v. 43, n. 3, p. 421-437. 2000.

PERELLO, L. F. C.; GUADAGNIN, D. L.; MALTCHIK, L. **Efeito das características do hábitat e da matriz nas assembléias de aves aquáticas em áreas úmidas do sul do Brasil**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia, Universidade do Vale do Rio dos Sionos, São Leopoldo, 2006.

PETESSE, M. L.; PETRERE JR. M.; SPIGOLON, R. J. The hydraulic management of the Barra Bonita reservoir (SP, Brazil) as a factor influencing the temporal succession of its fish community. **Brazilian journal of Biology**, São Carlos, BR, v. 67, n. 3, p. 433-445. 2007.

PIACENTINI, V.D.Q. et al. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, São Paulo, BR, v. 23, n. 2, p. 90-298. 2015.

RODRIGUES, M.; MICHELIN, V.B. Riqueza e diversidade de aves aquáticas de uma lagoa natural no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, BR, v. 22, n. 4, p. 928-935. 2005.

ROSENZWEIG M. **Win-win Ecology, How the Earth's species can survive in the midst of human enterprise**. Oxford, UK: Oxford University Press. 2003. 224 p.

SAUNDERS, D.L.; MEEUWIG, J.J.; VINCENT, A.C.J. Freshwater protected areas: Strategies for conservation. **Conservation Biology**, Boston, US, v.16, p. 30-41. 2002.

SÃO PAULO. **Decreto nº 60.133, de 07 de fevereiro de 2014**. Declara As Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção, As Quase Ameaçadas e As Deficientes de Dados Para Avaliação no Estado de São Paulo e Dá Providências Correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2014/decreto-60133-07.02.2014.html>>. Acesso em: 10 out. 2015.

SCHLEUTER, D. et al. A user's guide to functional diversity indices. **Ecological Monographs**, Lawrence, Kan., US, v. 80, n. 3, p. 469-484. 2010.

SEBASTIÁN-GONZÁLEZ, E.; GREEN, A.J. Reduction of avian diversity in created versus natural and restored wetlands. **Ecography**, Lund, SE, v. 39, p. 01-09. 2016.

SHAFER, C.L. The Problem: Fragmentation with Insularization. In: CRAIG, L.; SHAFER, C.L. (Eds) **Nature Reserves: Island Theory and Conservation Practice**. Melbourne, Australia, CSIRO. 1990. 95 p.

SHINE, C.; KLEMM. **Wetlands, water and the law: Using law to advance wetland conservation and wise use**. Gland, International Union for the Conservation of Nature. 1999. 348 p.

SCHUNCK, F., MELO, M. A., SANCHES, L. A., DE GODOY, F. I., MARTINS, G. G., & MIX, P. Avifauna do Parque Ecológico do Guarapiranga e sua importância para a conservação das aves da Região Metropolitana de São Paulo. **Ornithologia**, n. 9, v.2, pp. 35-57. 2016.

SCHUNCK, F., & RODRIGUES, K. E. Avifauna do Parque Estadual da Várzea do rio Embu-Guaçu e sua importância para a conservação das aves de várzea da porção Sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo. **Ornithologia**, n. 9, v. 2, pp. 58-79. 2016.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Edição revista e ampliada por Jose Fernando Pacheco. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro. 2001. 862 p.

SIGRIST, T. **The Avis Brasilis Field Guide to the Birds of Brazil**: species accounts. Avibrasilis, São Paulo, SP. 2009. 600 p.

SORENSEN, L. G. Variable mating system of a sedentary tropical duck: the white-cheeked pintail (*Anas bahamensis bahamensis*). **The Auk**, Washington, US, v. 109, n. 2, p. 277-292. 1992.

STEWART, R. E. **Technical Aspects of Wetlands Wetlands as Bird Habitat. National Water Summary on Wetland Resources**. United States Geological Survey Water Supply Paper 2425. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/nwsum/WSP2425/birdhabitat.html>> Acesso em: 02 set. 2014.

STOTZ, D. F et al. **Neotropical birds**: ecology and conservation. Chicago, University of Chicago Press. 1996. 502 p.

TAVARES, D.C. et al. Environmental and anthropogenic factors structuring waterbird habitats of tropical coastal lagoons: implications for management. **Biological Conservation**, Essex, UK, v. 186, p. 12-21. 2015.

TAVARES, D.C.; SICILIANO, S. The bird community in a threatened coastal lagoon in southeastern Brazil. **Open Journal of Ecology**, [S.l.], v. 4, p. 98-112. 2014.

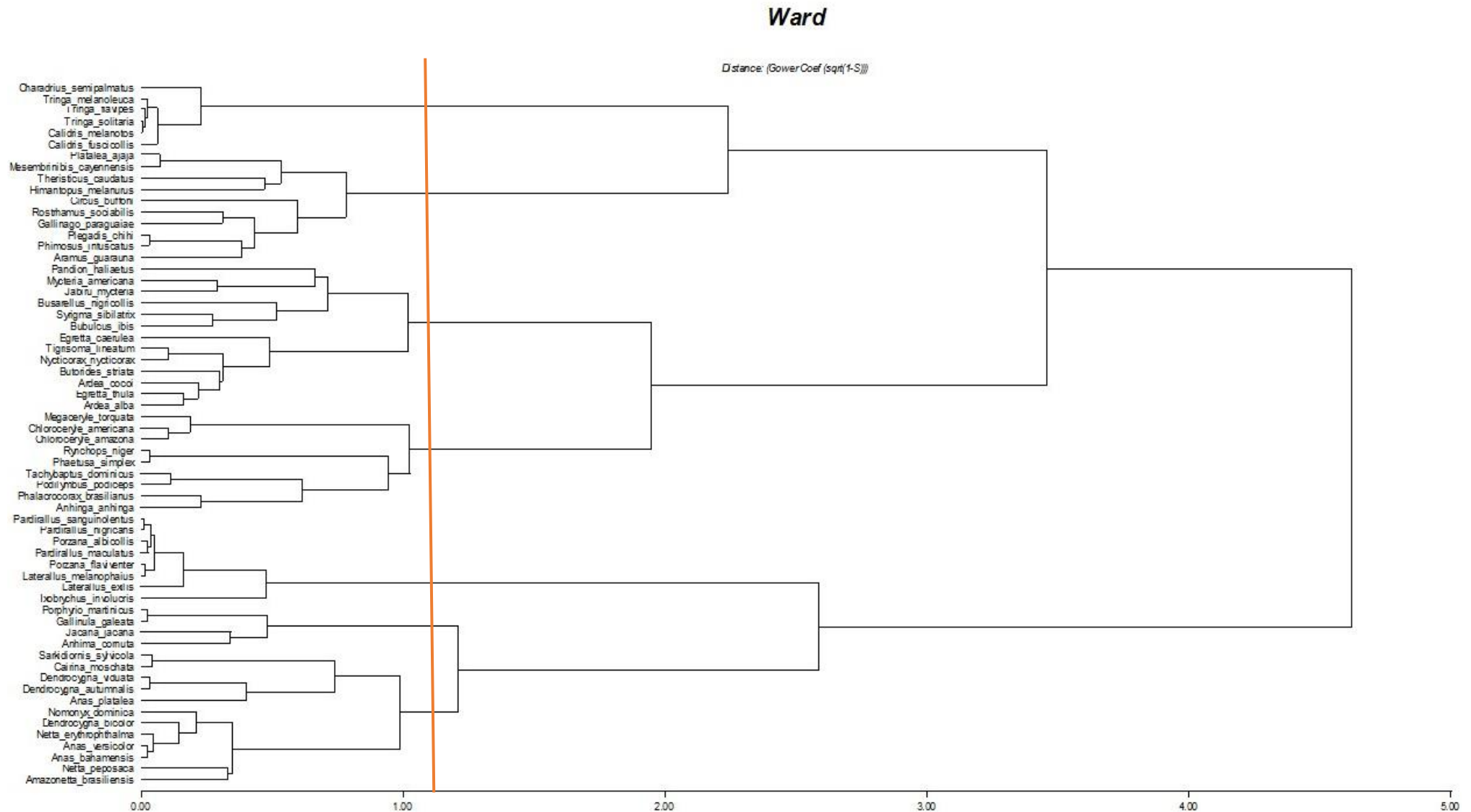
VALENTE, R. M. et al. **Conservação de aves migratórias neárticas no Brasil**. Belém: Conservação Internacional. 2011. 400 p.

WIENS, J.A. Habitat Fragmentation – Island V Landscape Perspectives on Bird Conservation. **Ibis**, London, UK, v. 137, p.97-104, 1995.

ZARFL, C. et al. A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Sciences**, Basel, CH, v. 77, n. 1, p. 161-170. 2015.

ZUUR, A. F. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. New York: Springer. 2009. 574 p

Apêndice A - Análise de cluster utilizada para separar 6 grupos funcionais



Grupos Gerados na Análise de Cluster:

Probing Waders: espécies que forrageiam principalmente nas margens do rio e nas praias com lama exposta, apresentam alimentação e morfologia do bico bastante especializada, alimentando-se primordialmente de crustáceos e moluscos. Alguns bons representantes deste grupo são: o tapicuru-de-cara-pelada (*Phimosus infuscatus*) e o colhereiro (*Platalea ajaja*).

Small Waders: principalmente maçaricos e batuíras, este grupo compreende pequenas espécies migratórias (até 60 cm) que comem pequenos invertebrados escolhidos na lama, no solo ou em pequena lâmina d'água. As espécies deste grupo costumam forragear no mesmo micro-habitat que as espécies do grupo Probing Wader, porém são migratórias e apresentam tamanho reduzido, como o maçarico-solitário (*Tringa solitaria*) e o maçarico-de-colete (*Calidris melanotos*).

Large Piscivores: principalmente espécies que se alimentam principalmente de peixes e capturam essa e outras presas em áreas rasas perto da costa, sem mergulhar o corpo inteiro na água. Portanto o comprimento de seus tarsos é o limite máximo de profundidade no qual as espécies buscam alimento. Algumas espécies agrupadas neste grupo foram: a garça-branca-grande (*Ardea alba*) e o tuiuiú (*Jabiru mycteria*).

Diving Piscivores: aves que ao forragear mergulham na coluna d'água em busca de peixes e outras presas. Alguns representantes deste grupo são: o biguá (*Nannopterum brasilianus*), a biguatinga (*Anhinga anhinga*) e o martim-pescador (*Megaceryle torquata*).

Emerged macrophytes: espécies pequenas (principalmente saracuras e sanãs) que vivem na vegetação densa que cerca a água, são muito inconspícuas e seu registro se dá quase que exclusivamente pelo canto. Se alimentam principalmente de invertebrados e grãos. Algumas espécies encontradas neste grupo foram: sanã-amarela (*Porzana flaviventer*) e saracura-carijó (*Pardirallus maculatus*).

Water Surface: um grupo congregando espécies que forrageiam por filtração de organismos na superfície da água, ou que passam a maior parte do tempo flutuando na superfície do rio enquanto procuram por alimento. Reúne principalmente patos e marrecos (família Anatidae) como: o marrecão (*Netta peposaca*) e a asa-branca (*Dendrocygna autumnalis*).

Apêndice B - Lista das aves do Tanquã baseada em amostragens de campo, registros bibliográficos, registros para o bairro publicadas no site Wikiaves e EBird.

Espécie	Censo Out/14 - Set/15	Outros levantame ntos ¹	EIA	Registros de mídias em coleções online	Status no Brasil ²	Status de conservação no Estado de São Paulo ³
			"Aprovei tamento Múltiplo Santa Maria da Serra"			
Anhimidae						
<i>Anhima cornuta</i>	x	X		x	R	A
<i>Chauna torquata</i>				x	R	I
Anatidae						
<i>Dendrocygna bicolor</i>	x	X	x	x	R	
<i>Dendrocygna viduata</i>	x	X	x	x	R	
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	x	X	x	x	R	
<i>Coscoroba coscoroba</i>				x	R	
<i>Cairina moschata</i>	x	X	x	x	R	
<i>Sarkidiornis sylvicola</i>	x	X	x	x	R	A
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	x	X	x	x	R	
<i>Anas georgica</i>				x	R	
<i>Anas bahamensis</i>	x	X	x	x	R	
<i>Anas versicolor</i>	x	X	x	x	R	
<i>Anas discors</i>		X		x	VN	
<i>Anas platalea</i>				x	VS	
<i>Netta erythrophthalma</i>	x	X		x	R	
<i>Netta peposaca</i>	x	X	x	x	VO	
<i>Nomonyx dominicus</i>	x	X		x	R	Q
Podicipedidae						
<i>Tachybaptus dominicus</i>	x	X	x	x	R	
<i>Podilymbus podiceps</i>	x	X	x		R	
<i>Podicepsphorus major</i>				x	R	
Ciconiidae						
<i>Ciconia maguari</i>			x		R	A
<i>Jabiru mycteria</i>	x	x		x	R	A
<i>Mycteria americana</i>	x	x	x	x	R	Q
Phalacrocoracidae						
<i>Nannopterum brasilianus</i>	x	x	x	x	R	
Anhingidae						
<i>Anhinga anhinga</i>	x	x	x	x	R	
Ardeidae						
<i>Tigrisoma lineatum</i>	x	x		x	R	

Espécie	Censo Out/14 - Set/15	Outros levantame ntos ¹	EIA "Aprovei tamento Múltiplo Santa Maria da Serra"	Registros de mídias em coleções online	Status no Brasil ²	Status de conservação no Estado de São Paulo ³
<i>Ixobrychus involucris</i>	x	x		x	R	
<i>Nycticorax nycticorax</i>	x	x	x	x	R	
<i>Butorides striata</i>	x	x	x	x	R	
<i>Bubulcus ibis</i>	x	x	x	x	R	
<i>Ardea cocoi</i>	x	x	x	x	R	
<i>Ardea alba</i>	x	x	x	x	R	
<i>Syrigma sibilatrix</i>	x	x	x	x	R	
<i>Egretta thula</i>	x	x	x	x	R	
<i>Egretta caerulea</i>	x	x		x	R	
Threskiornithidae						
<i>Plegadis chihi</i>	x	x	x	x	R	
<i>Mesembrinibis cayennensis</i>	x	x		x	R	
<i>Phimosus infuscatus</i>	x	x		x	R	
<i>Theristicus caudatus</i>	x	x	x	x	R	
<i>Platalea ajaja</i>	x	x	x	x	R	
Pandionidae						
<i>Pandion haliaetus</i>	x	x	x	x	VN	
Accipitridae						
<i>Circus buffoni</i>	x	x		x	R	A
<i>Busarellus nigricollis</i>			x	x	R	A
<i>Rostrhamus sociabilis</i>	x	x	x	x	R	
Aramidae						
<i>Aramus guarauna</i>	x	x	x	x	R	
Rallidae						
<i>Aramides cajaneus</i>	x	x	x	x	R	
<i>Laterallus melanophaius</i>	x	x	x	x	R	
<i>Laterallus exilis</i>	x	x		x	R	I
<i>Porzana flaviventer</i>	x	x		x	R	
<i>Mustelirallus albicollis</i>	x	x	x	x	R	
<i>Pardirallus maculatus</i>	x	x		x	R	
<i>Pardirallus nigricans</i>	x	x	x	x	R	
<i>Pardirallus sanguinolentus</i>	x	x	x	x	R	
<i>Gallinula galeata</i>	x	x	x	x	R	
<i>Porphyrio martinicus</i>	x	x	x	x	R	
<i>Porphyrio flavirostris</i>				x	R	

Espécie	Censo Out/14 - Set/15	Outros levantame ntos ¹	EIA "Aprovei tamento Múltiplo Santa Maria da Serra"	Registros de mídias em coleções online	Status no Brasil ²	Status de conservação no Estado de São Paulo ³
<i>Fulica leucoptera</i>		x		x	R	
Charadriidae						
<i>Pluvialis dominica</i>			x	x	VN	Q
<i>Charadrius semipalmatus</i>	x	x		x	VN	
<i>Charadrius collaris</i>		x		x	R	
Recurvirostridae						
<i>Himantopus melanurus</i>	x	x	x	x	R	
Scolopacidae						
<i>Gallinago paraguaiiae</i>	x	x	x	x	R	
<i>Gallinago undulata</i>			x		R	Q
<i>Limosa haemastica</i>				x	VN	
<i>Actitis macularius</i>		x	x	x	VN	
<i>Tringa solitaria</i>	x	x	x	x	VN	
<i>Tringa flavipes</i>	x	x	x	x	VN	
<i>Tringa melanoleuca</i>	x	x	x	x	VN	
<i>Calidris fuscicollis</i>	x	x	x	x	VN	
<i>Calidris melanotos</i>	x	x	x	x	VN	
<i>Calidris pugnax</i>				x	VN	
<i>Calidris subruficollis</i>				x	VN	Q
<i>Phalaropus tricolor</i>		x		x	VN	
Jacanidae						
<i>Jacana jacana</i>	x	x	x	x	R	
Rostratulidae						
<i>Nycticryphes semicollaris</i>			x		R	I
Laridae						
<i>Chroicocephalus maculipennis</i>				x	R	
Sternidae						
<i>Sternula superciliaris</i>				x	R	A
<i>Phaetusa simplex</i>	x	x	x	x	R	A
Rynchopidae						
<i>Rynchops niger</i>	x	x	x	x	R	
Alcedinidae						
<i>Megaceryle torquata</i>	x	x	x	x	R	
<i>Chloroceryle amazona</i>	x	x	x	x	R	

Espécie	Censo Out/14 - Set/15	Outros levantame ntos ¹	EIA "Aprovei tamento Múltiplo Santa Maria da Serra"	Registros de mídias em coleções online	Status no Brasil ²	Status de conservação no Estado de São Paulo ³
<i>Chloroceryle americana</i>			x	x	R	
Furnariidae						
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	x	x	x	x	R	
<i>Cranioleuca vulpina</i>	x	x		x	R	
Tyrannidae						
<i>Pseudocolopteryx sclateri</i>	x				R	
<i>Fluvicola albiventer</i>	x	x	x	x	R	
<i>Fluvicola nengeta</i>	x	x		x	R	
<i>Arundinicola leucocephala</i>	x	x	x	x	R	
<i>Gubernetes yetapa</i>	x	x	x	x	R	
Hirundinidae						
<i>Tachycineta albiventer</i>	x	x	x	x	R	
Donacobiidae						
<i>Donacobius atricapilla</i>	x	x	x	x	R	
Icteridae						
<i>Agelasticus cyanopus</i>	x	x		x	R	
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	x	x		x	R	
<i>Pseudoleistes guirahuro</i>	x	x		x	R	

¹ Detecções feitas em visitas realizadas anteriormente ou após o censo realizado entre outubro de 2014 e setembro de 2015

² R = residente; VS = visitante sazonal oriundo do sul do continente; VN = visitante sazonal oriundo do hemisfério norte; VO = visitante sazonal oriundo de áreas a oeste do território brasileiro; VA = vagante (PIACENTINI ET AL., 2015)

³ A = Ameaçado, Q = quase ameaçado e I = Dados Deficientes (São Paulo, 2014)