



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – CAMPUS DO LITORAL PAULISTA – CLP**

Renan de Paula Ramos do Prado

**Título: Modelando impactos da precipitação e maré em alagamentos de ninhos de
bicudinho-do-brejo *Formicivora acutirostris* (Thamnophilidae)**

SÃO VICENTE – SP

2022

Renan de Paula Ramos do Prado

Título: Modelando impactos da precipitação e maré em alagamentos de ninhos de bicudinho-do-brejo *Formicivora acutirostris* (Thamnophilidae)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, com habilitação em Biologia Marinha, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Stucchi Vannucchi

SÃO VICENTE – SP

2022

P896m

Prado, Renan de Paula Ramos do

Modelando impactos da precipitação e maré em alagamentos de ninhos de bicudinho-do-brejo *Formicivora acutirostris* (Thamnophilidae) / Renan de Paula Ramos do Prado. -- São Vicente, 2022

21 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, São Vicente

Orientador: Fabio Stucchi Vannucchi

1. Ecologia. 2. Mudanças climáticas. 3. Ninhos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, São Vicente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Dedico este trabalho aos meus avós Irene de Paula Ramos do Prado e João do Prado (in memoriam) que sempre serão grandes exemplos de caráter e dignidade para mim.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer a minha mãe Marileusa, ao meu pai Sebastião, aos meus avós Irene e João, ao meu irmão Vitor e ao meu padastro Pedro, por todo o suporte que me deram ao longo dessa jornada e por acreditarem no meu sucesso. Quero agradecer também aos meus amigos e amigas que me acolheram e que tive o prazer de conviver ao longo desses anos, muito obrigado a Carolina Guardino, Miguel Romeiro, Leonardo Cirillo, Leonardo Masetti, Gabriel Vanin, Isabella Polli, Bruna Lopes, Mariana Bruni e Gabriela Cabrera. Agradeço também ao meu orientador Fabio por todo o apoio, orientação e paciência. Ao professor Marcos por toda a sua contribuição para a realização desse trabalho. E a todos que de alguma forma contribuíram na minha jornada, muito obrigado!

RESUMO

O bicudinho-do-brejo (*Formicivora acutirostris*) é uma ave endêmica da região sul do Brasil, que habita exclusivamente brejos costeiros. A espécie se encontra quase ameaçada de extinção e possui uma população estimada em apenas 7511 indivíduos maduros. Os bicudinhos-do-brejo constroem os seus ninhos em vegetações herbáceas de regiões de brejos que são periodicamente alagadas pela maré. Os ninhos ficam a alguns centímetros do solo ficando suscetíveis aos alagamentos causados pela maré. A maioria dos brejos se formaram há 3.000 anos, na época a taxa de aumento do nível do mar era de 0,2 a 1,6 mm/ano. Atualmente o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, através do seu sexto relatório, indica que a taxa de aumento do nível médio do mar global é cerca de 3,7 mm/ano. E também vem aumentando a temperatura média global e os eventos extremos, como precipitações e ciclones. O aquecimento global está alterando a distribuição, abundância e outras características da história de vida das espécies e aumentando seu risco de extinção. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo avaliar o impacto das chuvas e marés sobre o alagamento dos ninhos, tendo em vista a viabilidade populacional do bicudinho-do-brejo. Foi testado o efeito das chuvas acumuladas, das alturas máximas das marés diárias e a interação dessas duas variáveis sobre a probabilidade da ocorrência de alagamento dos ninhos de bicudinho-do-brejo. Criamos um modelo utilizando uma regressão binomial com modelo linear misto generalizado (GLMM), considerando-se como variáveis fixas o acumulo de precipitações durante cinco dias, a altura máxima da maré diária e a interação entre elas. Como variáveis aleatórias consideramos o ano e o ciclo. Observamos que o efeito é significativo entre todas as variáveis fixas, cujos níveis de significância foram de $p < 0,05$. No entanto, o modelo apresentou deficiências, não sendo capaz de realizar previsões de alagamentos para valores baixos e altos de probabilidade efetiva de alagamento.

Palavras-chave: Modelo linear misto generalizado, *Formicivora acutirostris*, alagamento de ninho, brejo costeiro, mudança climática

ABSTRACT

The Marsh Antwren (*Formicivora acutirostris*) is an endemic bird from southern Brazil, which inhabits coastal marshes exclusively. The species is classified as near threatened of extinction and has an estimated population of only 7511 mature individuals. Marsh Antwren build their nests in herbaceous vegetation in marshes regions that are periodically flooded by tide. The nests are a few centimeters from the ground and are susceptible to flooding caused by tide. Most marshes were formed 3,000 years ago, at the time the rate of sea level rise was 0.2 to 1.6 mm/year. Currently, the Intergovernmental Panel on Climate Change, through its sixth report, indicates that the rate of global mean sea level rise is about 3.7 mm/year. It is also increasing the global average temperature and extreme events such as precipitation and cyclones. Global warming is altering the distribution, abundance and other life-history features of species and increasing their risk of extinction. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of rains and tides on the number of nests lost by flooding, aiming the analysis of the Marsh Antwren viability. The effect of the accumulated rainfall, the maximum heights of the daily tides and the interaction of these two variables on the probability of occurrence of flooding of the Marsh Antwren nests was tested. We created a model using binomial regression with a generalized linear mixed model (GLMM), considering as fixed variables the accumulation of precipitation during five days, the maximum height of the daily tide and the interaction between them. We considered the years and the cycle as random variables. We observed that the effect are significant among all fixed variables, with significance levels $p < 0.05$. However, the model presented deficiencies, not being able to make predictions of flooding for low and high values of effective probability of flooding.

Keywords: Generalized mixed linear model, *Formicivora acutirostris*, nest flooding, coastal marsh, climate change

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
2.1 Área de estudo e distribuição da espécie.....	10
2.2 Dados do monitoramento dos ninhos.....	11
2.3 Dados de precipitação e maré.....	12
2.4 Preparação dos dados para a modelagem.....	12
2.5 Modelagem dos dados.....	12
3 RESULTADOS.....	13
3.1 Precipitação e maré.....	13
3.2 Ninhos.....	14
3.3 Probabilidades diária de alagamento de ninhos.....	14
3.4 Modelo Final.....	15
3.5 Considerações sobre o modelo.....	16
4 DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÃO.....	19
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

Fatores climáticos como elevação do nível do mar, precipitação e tempestades tropicais influenciam processos físicos e biológicos que controlam as elevações da superfície dos brejos em relação ao nível do mar, podendo afetar as populações de aves de brejo direta ou indiretamente (Woodrey et al., 2012). Dentre os processos físicos está o alagamento, que pode impactar a reprodução das aves de brejo através da submersão de seus ovos (Ma et al., 2019). Por exemplo, alagamentos no baixo rio Mississipi destruíram todos os ovos e filhotes de *Sternula albifrons* em 1993 (Dugger et al. 2002). Da mesma forma, o risco de alagamentos causados pelo aumento do nível do mar devido ao aquecimento global ameaça seriamente a reprodução das aves de zonas úmidas. O alagamento devido à maré alta desencadeada pela variação da maré e tempestade tem sido um dos principais fatores de insucesso reprodutivo em aves de zonas úmidas costeiras (Marshall e Reinert 1990; Sidle et al. 1992; Bayard e Elphick 2011).

A maioria dos brejos se formaram por volta de 3.000 anos atrás quando o aumento do nível do mar desacelerou, na época a taxa de aumento do nível do mar era de 0,2 a 1,6 mm/ano (FitzGerald et al., 2019). Atualmente a taxa de aumento do nível médio do mar global é cerca de 3,7 mm/ano (IPCC, 2021). E também vem aumentando a temperatura média global e a frequência de eventos extremos, como precipitações e ciclones (IPCC, 2021).

O sexto relatório do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) tem apontado que nos anos entre 2081 e 2100 poderá haver um aumento na temperatura média global de até 5,7 °C em relação ao período de 1850 a 1900, considerando um cenário crítico de emissões de gases do efeito estufa (GEE) muito altas. Já em um cenário melhor, considerando emissões de GEE muito baixas, a temperatura poderá aumentar de 1,0 a 1,8 °C. O relatório também aponta que os eventos de fortes precipitações se intensifiquem e se tornem mais frequentes na maioria das regiões com aquecimento global adicional. Em escala global, projeta-se que eventos extremos diários de precipitação se intensifiquem em cerca de 7% para cada 1°C de aquecimento global.

O bicudinho-do-brejo (*Formicifora acutirostris*) é uma ave endêmica da região sul do Brasil, que habita exclusivamente brejos costeiros dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ocupando uma área de pouco mais de 5.000 ha (Bornschein et al., 2015). A espécie, da família Thamnophilidae, descrita em 1995 por Bornschein e colaboradores, se encontra na categoria “quase ameaçada” pela lista vermelha de espécies ameaçadas da IUCN e na categoria “em perigo” pelo livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção,

tendo uma população estimada em apenas 7511 indivíduos maduros (Bornschein et al., 1995; Zimmer e Isler 2003:492; Buzetti et al., 2013; ICMBio/MMA, 2018; BirdLife International 2021).

Como mencionado anteriormente, o bicudinho-do-brejo habita uma região de brejo costeiro que está situada na zona entremarés superior, uma zona alagada periodicamente pela maré (Bornschein et al., 2015). Os brejos costeiros são vulneráveis a vários impactos da mudança climática, tais como elevação do nível do mar, aumento de temperaturas e mudanças nas precipitações e fluxo de água de rios (Roman, 2001, Hopkinson & Giblin, 2008, Zedler et al., 2018). E, assim como os brejos, os bicudinhos também são vulneráveis a fatores climáticos como chuvas e regime de marés, pois além de estarem inseridos em um ambiente altamente dinâmico como os brejos costeiros, eles constroem seus ninhos por entre as vegetações herbáceas do brejo, ficando a alguns centímetros do solo, podendo ocorrer o alagamento do ninho e conseqüentemente a submersão dos ovos devido ao aumento do nível da água causado pela maré, ocasionando assim, o insucesso reprodutivo (Reinert, 2009). Além disso, o bicudinho-do-brejo também enfrenta outras causas de insucesso reprodutivo que estão associadas a eventos climáticos como o tombamento e a inclinação dos ninhos causados por ventos, chuvas e balanço das águas (Reinert, 2009).

A análise de viabilidade populacional (AVP) é uma ferramenta de gestão da conservação que, apesar das incertezas nos riscos previstos de declínio (McCarthy et al., 2003), tem sido cada vez mais usada por biólogos conservacionistas para informar a gestão de espécies ameaçadas, identificando os fatores que as tornam vulneráveis à extinção (Brook et al., 2000). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo verificar a significância da relação dos efeitos de chuvas acumuladas e alturas máximas da maré sobre a perda de ninhos por alagamento, com a perspectiva de, futuramente, incorporar tais efeitos das mudanças climáticas sobre a AVP do bicudinho-do-brejo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e distribuição da espécie

Os indivíduos se distribuem em 10 populações isoladas, localizadas ao longo dos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, ocupando uma área de 5.481,5 ha (Bornschein, 2013). O número de indivíduos por região está distribuído da seguinte forma: Baía de Antonina: 1916, Rio Nhundiaquara: 549, Rio Guaraguaçu: 155, Balneário Flórida:

8,2, Baía de Guaratuba: 2762, Itapoá: 323, Baía de Babbitonga: 1527, Rio Itapocu: 238, Laguna: 22, Lagoa do Forno: 12 (Bornschein, 2013).

A baía de Guaratuba, localizada no município de Guaratuba no estado do Paraná, é a região que possui o maior número de indivíduos e foi a nossa área de estudo. Ela está inserida em um complexo estuarino bastante dinâmico, onde a principal forçante é a maré, seguida pela vazão dos rios (Marone et al., 2006). A caracterização da maré é predominantemente semidiurna com desigualdades (Marone et al., 2006).

2.2 Dados do monitoramento dos ninhos

Foram fornecidos dados dos ninhos monitorados, coletados através do trabalho de campo realizado por Bornschein et al. (dados não publicados). O trabalho de campo foi realizado na Baía de Guaratuba (município de Guaratuba, estado do Paraná), na ilha do Jundiaquara ($25^{\circ}52'25''\text{S}$, $48^{\circ}45'31''\text{O}$), no rio São João; confluência do rio Claro no rio São João ($25^{\circ}52'23''\text{S}$, $48^{\circ}45'39''\text{O}$) (denominada de “Continente”), e na ilha da Folharada ($25^{\circ}51'58''\text{S}$, $48^{\circ}43'22''\text{O}$) (Figura 1). Os dados utilizados foram as datas de primeira postura e o número de ninhos alagados.

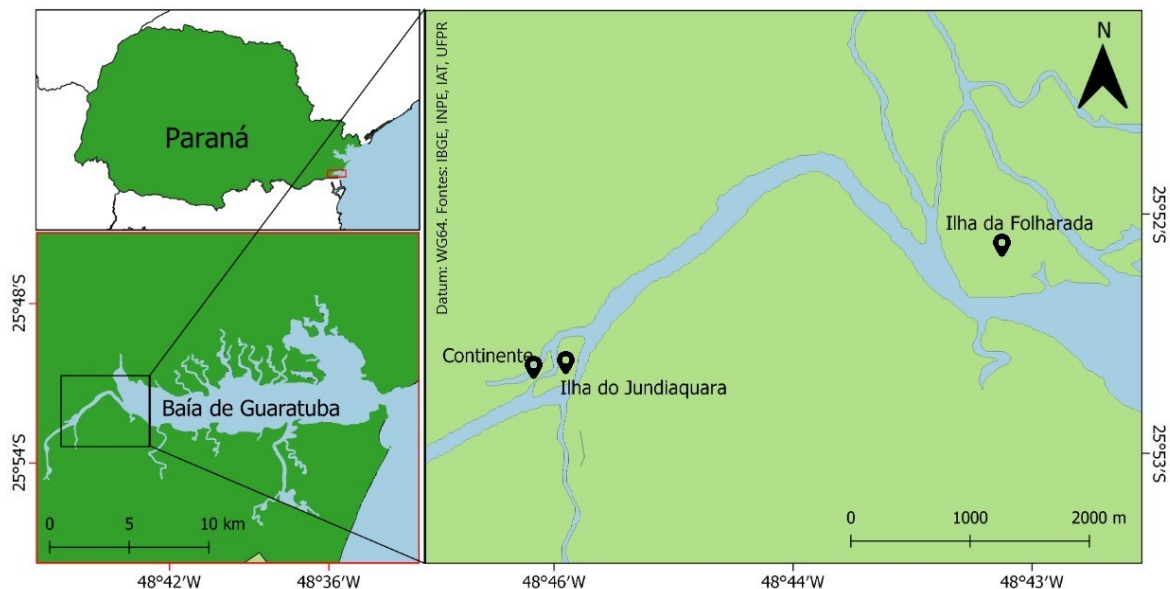


Figura 1: No topo à esquerda estado do Paraná, em baixo à esquerda baía de Guaratuba e em destaque à direita a região da baía de Guaratuba onde foram realizadas as monitorações dos ninhos (Ilha do Jundiaquara, Continente e Ilha da Folharada).

2.3 Dados de precipitação e maré

Os dados de precipitação foram coletados através da estação pluviométrica de Guaratuba (código: 02548053), localizada no município de Guaratuba (25°52'40"S, 48°37'05"O). Foram utilizados os dados de alturas de precipitações diárias (mm) no período de 2006 até 2016, período no qual foi feito o monitoramento dos ninhos de bicudinho-do-brejo para o estudo de sucesso reprodutivo (dados não publicados). As chuvas diárias se acumulam e, para determinação do período de acúmulo, as alturas de precipitações diárias foram analisadas por meio de função de autocorrelação (R CORE TEAM, 2013). A queda inicial da autocorrelação foi analisada e o tempo de queda foi adotado como período de acúmulo.

As alturas das marés foram obtidas através da estação maregráfica do terminal portuário da ponta do Felix, localizado no município de Antonina-PR (25°27'3"S, 48°40'7"O). Optou-se por utilizar essa estação por ser a mais próxima da região de estudo com dados disponíveis. Os dados utilizados foram as alturas máximas diárias das marés (m), abrangendo o mesmo período (2006 à 2016).

2.4 Preparação dos dados para a modelagem

Os dados (de 01/01/2006 até 31/12/2016) de precipitação, maré, data da primeira postura e alagamento de ninhos foram dispostos em uma planilha eletrônica. A planilha foi utilizada para cálculo do total de ninhos ativos diários, da fração esperada de ninhos ativos alagados e da probabilidade diária de alagamento por ninho. Foi considerado que cada ninho permanece ativo durante 26 dias, período associado à soma do tempo médio de incubação (16 dias) e tempo médio de ninhego (10 dias) (Reinert, 2008). A informação acerca da perda de ninhos por alagamento não permitiu precisar a data exata da ocorrência. Neste sentido, foi considerado que o evento ocorreu em algum dos 26 dias subsequentes à postura e a cada um desses dias foi atribuída 1/26 de fração esperada de alagamento de ninhos. Por fim, a probabilidade diária de alagamento por ninho foi calculada através da divisão entre a fração esperada de ninhos alagados pelo total de ninhos ativos.

2.5 Modelagem dos dados

Durante a análise dos dados foi observado que existe uma forte autocorrelação entre eles, e, para verificar o efeito que as variáveis exercem sobre o alagamento dos ninhos optou-se pela regressão binomial com modelo linear misto generalizado (GLMM) do programa R (R CORE TEAM, 2013), sendo que variáveis aleatórias foram incorporadas devido à dependência estatística entre os dados diários sucessivos (Zuur et al., 2009).

Foram estabelecidas como variáveis fixas o acúmulo de precipitações durante cinco dias (*acum*), a altura máxima da maré diária (*mare*) e a interação entre elas (*acum:mare*). Como variáveis aleatórias consideramos os anos (*ano*) e o ciclo (*ciclo*), uma variável diária de período de 26 dias para incorporar a correlação temporal dos ninhos. Dados associados a intervalos sem ninhos ativos não foram levados em conta na análise.

Seguindo o princípio da parcimônia, partimos de um modelo completo e analisamos diversas simplificações do modelo com o objetivo de obter um modelo mais simples e que, no entanto, conserva a complexidade necessária.

Consideramos então um modelo linear misto generalizado que leva em conta os efeitos lineares e de interação entre chuva acumulada e altura máxima de maré e o efeito aleatório do ano e do ciclo sobre as probabilidades de alagamento.

3 RESULTADOS

3.1 Precipitação e maré

Ao longo do período analisado a precipitação teve uma média de 7,2 mm e um valor máximo de 212,4 mm. Referente aos dados de maré, obtivemos uma média de 2 m ao longo do período analisado, a altura máxima da maré foi de 2,5 m e a altura mínima de 1,3 m. A chuva acumulada teve a média de 43,27 mm e máxima de 399,4 mm. Nos gráficos da figura 2 podemos observar alguns valores de precipitação, maré e precipitação acumulada.

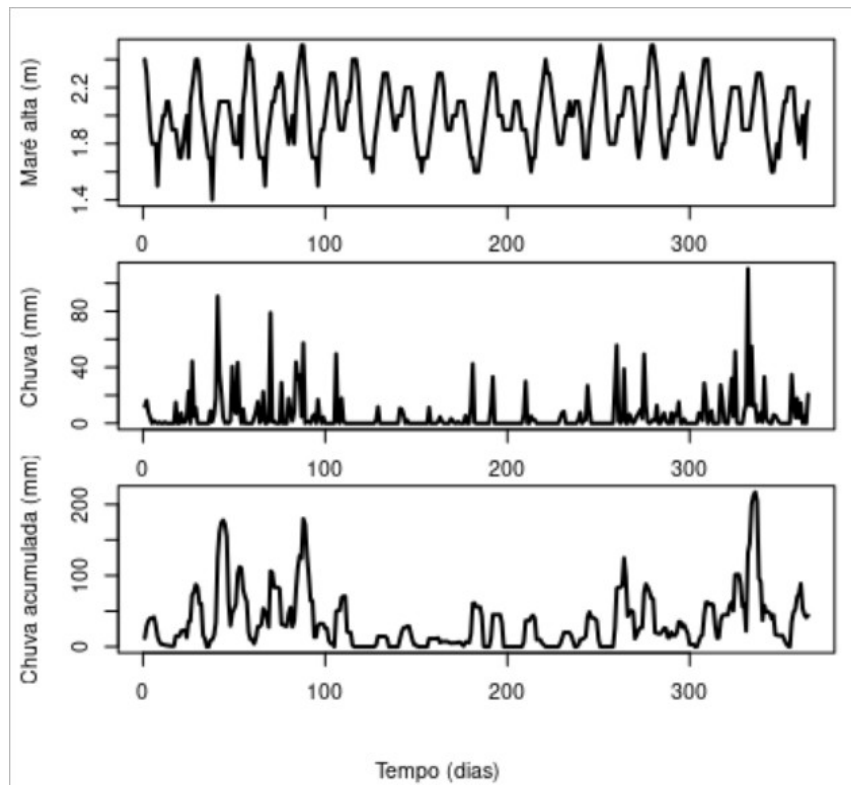


Figura 2: Chuva, maré alta e chuva acumulada ao longo de 1 ano (365 dias).

3.2 Ninhos

Durante as 10 estações reprodutivas foram analisados 400 ninhos ativos, todos com data de primeira postura, desse total 19% (76 ninhos) foram concedidos como alagados. Para todos os ninhos ativos foi calculada a probabilidade de persistência e para os 76 ninhos alagados a probabilidade diária de alagamento.

3.3 Probabilidades diária de alagamento de ninhos

As datas de postura e de alagamento presumido foram analisadas e, para cada dia, foram calculados os valores esperados do total de ninhos ativos e a fração de ninhos alagados. Os valores de probabilidade diária de alagamento por ninho foram obtidos, com valores fluando entre 0% e 4%. A Figura 3 apresenta o histograma das probabilidades de alagamento, sendo a frequência bastante elevada quando os valores são baixos, de 0% a 1%, e baixa quando os valores são próximos de 3% à 4%.

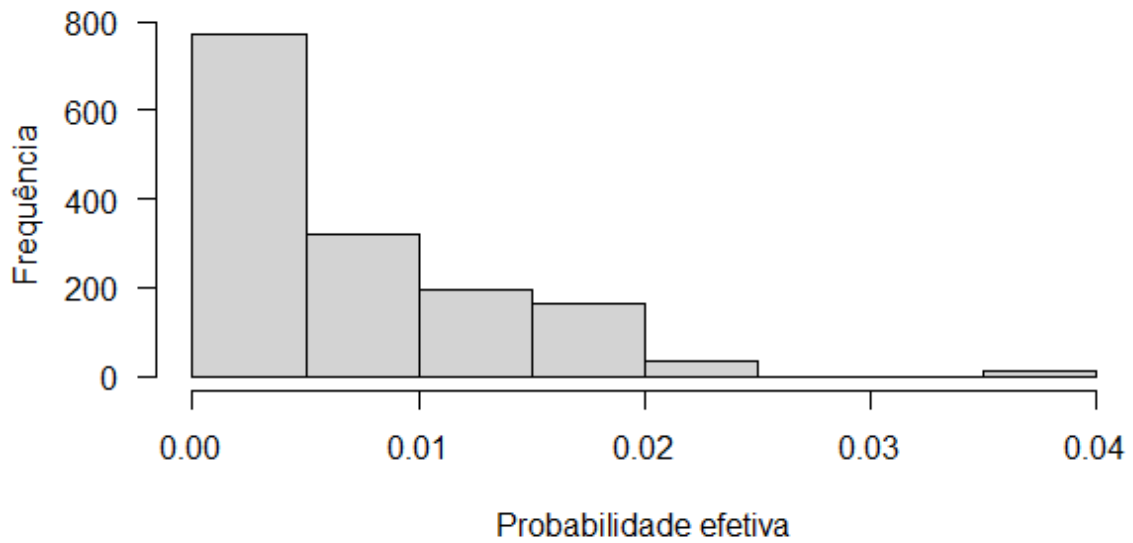


Figura 3: Frequência dos valores de probabilidade diária de alagamento por ninho.

3.4 Modelo Final

Através do modelo linear misto generalizado, considerando-se os efeitos lineares e de interação entre chuva acumulada e altura máxima de maré e o efeito aleatório do ano e do ciclo sobre as probabilidades de alagamento, obtivemos relações significativas entre todas as variáveis fixas, cujos níveis de significância foram de $p < 0,05$ (Tabela 1).

Modelo	Variável	Termos	Estimativa	Erro Padrão	Z	P
<i>(resp~acum +mare+acum:mare+(1 ano)+(1 ciclo))</i>	Probabilidade de alagamento	Intercepto	-5.709728	0.324231	-17610	<2E-16
		<i>acum</i>	0.014891	0.004393	3390	0.000699
		<i>mare</i>	0.315868	0.151935	2079	0.037620
		<i>acum:mare</i>	-0.007264	0.002259	-3216	0.001299

Tabela 1: Modelo linear misto generalizado utilizado para a análise dos efeitos lineares e de interação entre chuva acumulada e altura máxima de maré e o efeito aleatório do ano e do ciclo na probabilidade de alagamento.

3.5 Considerações sobre o modelo

Apesar de o modelo ter demonstrado que as variáveis possuem efeito significativo sobre a probabilidade de alagamento, ele ainda apresenta um alto valor de desvio (*deviance*) em relação ao resíduo padrão (desvio 3707,5, resíduo padrão 1495), o que sugere que esse efeito não é suficiente para explicar toda a variabilidade dos dados.

Podemos observar por meio do gráfico (Figura 4), que o modelo mostrou-se eficiente em previsões para valores intermediários de probabilidade efetiva de alagamento, porém não modelou adequadamente valores baixos e altos de probabilidade.

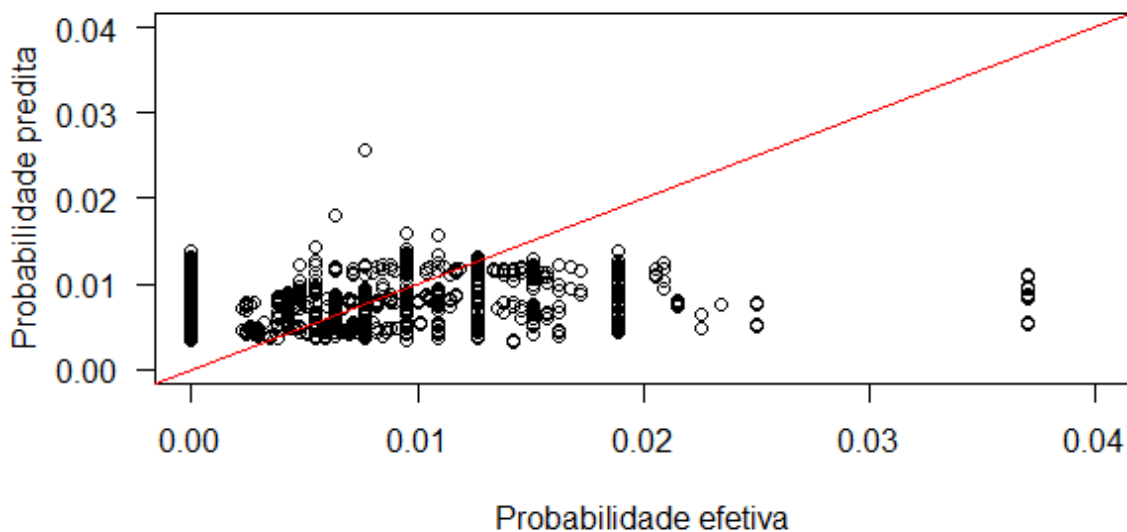


Figura 4: Gráfico de dispersão da probabilidade predita de alagamentos considerando as variáveis fixas e aleatórias sobre a probabilidade efetiva.

A Figura 5 apresenta a probabilidade prevista sobreposta à probabilidade de alagamento empírica em função do tempo e pode-se perceber que, ao longo dos 1500 dias de ninhos ativos, o modelo obteve boa resposta na faixa dos 500 dias.

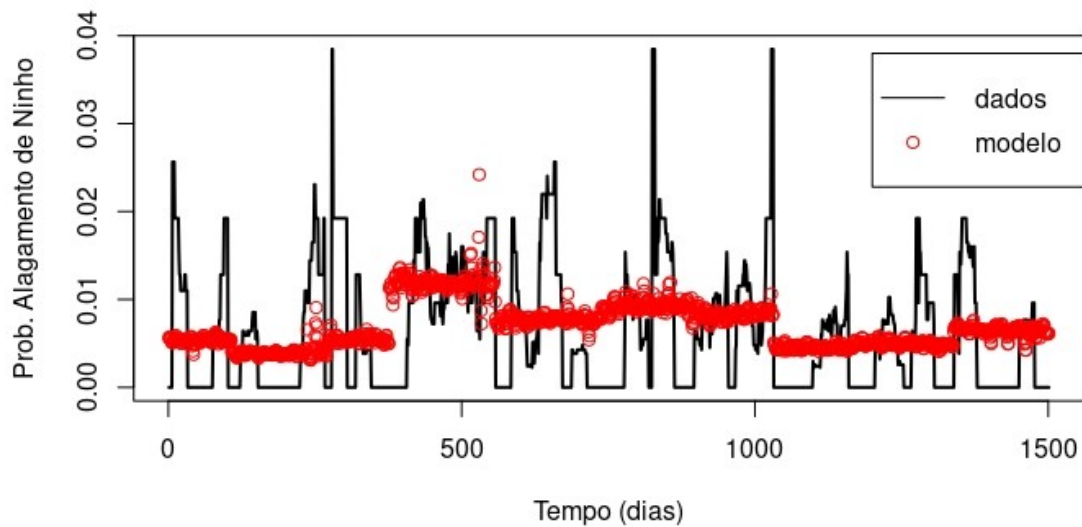


Figura 5: Probabilidade em função do tempo sobreposta à probabilidade prevista.

4 DISCUSSÃO

O presente estudo mostrou que há grande significância nos efeitos de precipitações acumuladas, alturas máximas das marés diárias e no efeito da interação entre as precipitações acumuladas e as alturas máximas das marés sobre a probabilidade de alagamento de ninhos de bicudinho-do-brejo. Porém o modelo não foi capaz de prever alagamentos para valores baixos e altos da probabilidade efetiva de alagamentos. Além disso, os dados apresentados sugerem a necessidade de analisar outros efeitos para explicar com uma maior acurácia a variabilidade dos dados.

Embora não possamos afirmar se a população persistirá diante dos efeitos da mudança climática, é necessário ter atenção quanto a isso. Desgranges (2006) realizou um estudo com espécies de aves de zonas úmidas, no qual foi analisada a respostas das aves em relação às mudanças no nível da água. As análises revelaram fortes associações entre densidades estimadas de pares reprodutores e comunidades de plantas, profundidade da água e grau de flutuação do nível da água durante a época de reprodução para um conjunto de espécies de aves de zonas úmidas usando habitats de brejo, prado úmido, pântano arbustivo e pântano arborizado. Várias espécies de aves também nidificam na superfície da água ou perto dela e,

portanto, são vulneráveis a alagamentos ou encalhes de ninhos (Desgranges et al., 2006). No estudo foi concluído que as mudanças na hidrologia sazonal do Lago Ontário e do Rio São Lourenço que resultem em uma maior frequência ou magnitude desses eventos de falha de ninhos podem ter um impacto significativo na sustentabilidade da população regional. A magnitude e a frequência da mudança do nível da água durante a época de nidificação também podem afetar negativamente o sucesso reprodutivo de muitas espécies de aves das zonas úmidas (Desgranges et al., 2006).

Domingues (2012), modelou impactos de variáveis climáticas como temperatura, precipitação acumulada e outras. O estudo mostrou que o sucesso reprodutivo foi relacionado indiretamente com as variáveis climáticas e idade, porém não apresentou suporte pelos modelos. O estudo sugere maiores estudos, monitoração e planos de manejo com as aves tropicais, devido a previsão negativa e as respostas inversas aos padrões gerais das aves das regiões temperadas que o aumento de temperatura global provocará nos parâmetros reprodutivos da espécie.

Lovejoy (2019), cita em seu trabalho que o aumento do nível do mar está colocando em risco algumas espécies, e dá alguns exemplos como: de um pequeno roedor nativo de uma ilha australiana que foi a primeira extinção causada pelo aumento do nível do mar. E a espécie *Ammospiza caudacuta* no leste da América do Norte que é vulnerável ao aumento do nível do mar, pois precisa nidificar entre duas marés vivas para ter sucesso (Lovejoy, 2019).

Sobre a viabilidade populacional é importante citar o trabalho de Lacy (2019), no qual é feita uma síntese de todo o aprendizado sobre análise de viabilidade populacional (AVP) ao longo de 30 anos. Esse trabalho demonstra a complexidade e a dificuldade de se realizar uma AVP, indicando a necessidade de muitos dados, conhecimento de muitos processos que afetam as populações, especialização em modelagem e compreensão das metas e restrições de gerenciamento. Lacy afirma que o AVP deve ser um processo colaborativo, transdisciplinar e social para que se obtenha sucesso na orientação da conservação.

Segundo Woodrey (2012), as estratégias para gerenciar ou conservar essas populações devem levar em conta possíveis mudanças no habitat das aves, pois os brejos costeiros estão sendo cada vez mais afetados pela mudança climática. Além disso, o impacto dessas mudanças nos brejos costeiros provavelmente variará espacialmente, exigindo uma compreensão das maneiras pelas quais diferentes ecossistemas de zonas úmidas respondem à mudança climática em escalas locais e regionais (Woodrey et al., 2012).

Mesmo que no presente estudo tenha sido analisado uma longa série de dados, ainda há a necessidade de maiores esforços para se desenvolver um modelo melhor. Uma possível

solução para a melhoria do modelo é a utilização do pacote *DHARMA*, já que resíduos escalonados como o resíduo *deviance* pode não informar bem se o modelo está mal especificado (Hartig, 2016). E devemos salientar que algumas variáveis que podem ter certa importância para o modelo não foram consideradas, como por exemplo a altura dos ninhos e a diferença entre as áreas de postura dos ninhos, batimetria do local, cotas dos rios adjacentes e altura da maré do local exato.

5 CONCLUSÃO

Formicifora acutirostris se mostrou sensível para as variáveis climáticas analisadas, ainda que o modelo necessite de ajustes, ele mostrou que o efeito é significativo entre todas as variáveis fixas, com níveis de significância altos para chuvas acumuladas, médios para a interação de chuva acumulada e altura máxima de maré e baixo para a altura máxima de maré, todas essas variáveis apresentaram valores de $p < 0,05$. Além do mais, em sua literatura, há estudos que apontam que essas e outras variáveis climáticas possam causar outros tipos de insucesso reprodutivo. Nesse sentido nosso estudo foi útil para corroborar com informações que possam auxiliar no manejo e conservação da espécie.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2014). Fitting linear mixed-effects models using lme4. arXiv preprint arXiv:1406.5823.
- Bayard, T. S., & Elphick, C. S. (2011). Planning for sea-level rise: quantifying patterns of saltmarsh sparrow (*Ammodramus caudacutus*) nest flooding under current sea-level conditions. *The Auk*, 128(2), 393-403.

- Bornschein, M. R. (2013). Biologia da conservação do Bicudinho-do-brejo *Stymphalornis acutirostris* (aves, *Thamnophilidae*).
- Bornschein, M. R., Pizo, M. A., Sobotka, D. D., Belmonte-Lopes, R., Golec, C., Machado-de-Souza, T., ... & Reinert, B. L. (2015). Longevity records and signs of aging in Marsh Antwren *Formicivora acutirostris* (*Thamnophilidae*). *The Wilson Journal of Ornithology*, 127(1), 98-102.
- Brook, B. W., O'Grady, J. J., Chapman, A. P., Burgman, M. A., Akcakaya, H. R., & Frankham, R. (2000). Predictive accuracy of population viability analysis in conservation biology. *Nature*, 404(6776), 385-387.
- Buzzetti, D. R. C., Lopes, R. B., Reinert, B. L., Silveira, L. F., & Bornschein, M. R. (2014). A new species of *Formicivora* Swainson, 1824 (*Thamnophilidae*) from the state of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ornitologia-Brazilian Journal of Ornithology*, 21(54), 23.
- Caçador, I., Duarte, B., Marques, J. C., & Sleimi, N. (2016). Carbon mitigation: A salt marsh ecosystem service in times of change. In *Halophytes for food security in dry lands* (pp. 83-110). Academic Press.
- Charmantier, A., McCleery, R. H., Cole, L. R., Perrins, C., Kruuk, L. E., & Sheldon, B. C. (2008). Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population. *Science*, 320(5877), 800-803.
- Desgranges, J. L., Ingram, J., Drolet, B., Morin, J., Savage, C., & Borcard, D. (2006). Modelling wetland bird response to water level changes in the Lake Ontario–St. Lawrence River hydrosystem. *Environmental monitoring and assessment*, 113(1), 329-365.
- Domingues, L. A. L. (2012). Variações climáticas que afetam os parâmetros reprodutivos de *Neothraupis fasciata* (*Thraupidae*) e previsões para o contexto das mudanças climáticas.
- Dugger, K. M., Ryan, M. R., Galat, D. L., Renken, R. B., & Smith, J. W. (2002). Reproductive success of the interior least tern (*Sterna antillarum*) in relation to hydrology on the Lower Mississippi River. *River Research and Applications*, 18(2), 97-105.
- FitzGerald, Duncan M., and Zoe Hughes. "Marsh processes and their response to climate change and sea-level rise." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 47 (2019): 481-517.
- Hartig, F. (2016). DHARMA e an R Package for Residual Diagnostics of GLMMs.

- Hopkinson, C. S., & Giblin, A. E. (2008). Nitrogen dynamics of coastal salt marshes. *Nitrogen in the marine environment*, 991-1036.
- IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- IUCN. 2021. *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- Lacy, R. C. (2019). Lessons from 30 years of population viability analysis of wildlife populations. *Zoo biology*, 38(1), 67-77.
- Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I / -- 1. ed. --Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018.492 p. : il., gráfs., tabs
- Lovejoy, T. (2019). How biodiversity is both impacted by and a solution for climate change. *The Ecological Citizen*, 3, 75-6.
- Ma, L., Zhang, J., Liu, J., Yang, C., Liang, W., & Møller, A. P. (2019). Adaptation or ecological trap? Altered nest-site selection by Reed Parrotbills after an extreme flood. *Avian Research*, 10(1), 1-8.
- Marone, E., Noernberg, M. A., Dos Santos, I., Lautert, L. F., Andreoli, O. R., Buba, H., & Fill, H. D. (2006). Hydrodynamic of Guaratuba Bay, PR, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 1879-1883.
- Marshall, R. M., & Reinert, S. E. (1990). Breeding ecology of Seaside Sparrows in a Massachusetts salt marsh. *The Wilson Bulletin*, 501-513.
- McCarthy, M. A., Andelman, S. J., & Possingham, H. P. (2003). Reliability of relative predictions in population viability analysis. *Conservation Biology*, 17(4), 982-989.
- McLaughlin, J. F., Hellmann, J. J., Boggs, C. L., & Ehrlich, P. R. (2002). Climate change hastens population extinctions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(9), 6070-6074.

- Reinert, B. L., Bornschein, M. R., & Firkowski, C. (2013). Distribution, population size, habitat and conservation of the Marsh Antwren, *Stymphalornis acutirostris* Bornschein, Reinert e Teixeira, 1995 (Thamnophilidae). *Revista Brasileira de Ornitologia-Brazilian Journal of Ornithology*, 15(31), 27.
- Reinert, B. L., Bornschein, M. R., & Firkowski, C. (2007). Distribuição, tamanho populacional, hábitat e conservação do bicudinho-do-brejo *Stymphalornis acutirostris* Bornschein, Reinert e Teixeira, 1995 (Thamnophilidae). *Revista Brasileira de Ornitologia*, 493-519.
- Reinert, B. L. (2009). Ecologia e comportamento do bicudinho-do-brejo (*Stymphalornis acutirostris* Bornschein, Reinert & Teixeira, 1995-Aves, Thamnophilidae).
- Roman, C. T. (2001). Salt marsh vegetation.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., & Pounds, J. A. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57-60.
- Root, T. L., Liverman, D., & Newman, C. (2007). Managing biodiversity in the light of climate change: current biological effects and future impacts. *Key topics in conservation biology*, 85-104.
- Sidle, J. G., Carlson, D. E., Kirsch, E. M., & Dinan, J. J. (1992). Flooding: mortality and habitat renewal for least terns and piping plovers. *Colonial Waterbirds*, 132-136.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148.
- Woodrey, M. S., Rush, S. A., Cherry, J. A., Nuse, B. L., Cooper, R. J., & Lehmicke, A. J. J. (2012). Understanding the potential impacts of global climate change on marsh birds in the Gulf of Mexico region. *Wetlands*, 32(1), 35-49.
- Zedler, J. B., Bonin, C. L., Larkin, D. J., & Varty, A. (2018). Salt marshes. In *Encyclopedia of ecology* (pp. 614-622). Elsevier.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). Mixed effects models and extensions in ecology with R (Vol. 574). New York: Springer.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



**PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO**
EMIÇÃO DE PARECER DE EXEMPLAR

Discente: RENAN DE PAULA RAMOS DO PRADO

Título: *"Modelando impactos da mudança climática: O bicudinho-do-brejo como estudo de caso "*

Orientador: Prof. Dr. Fabio Stucchi Vannucchi

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Biologia Marinha

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Fabio Stucchi Vannucchi	Aprovado
Prof. Dr. Marcos Ricardo Bornschein	Aprovado

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora conclui que o discente **Renan de Paula Ramos do Prado** obteve o seguinte conceito:

APROVADO

REPROVADO

São Vicente, 25 de janeiro de 2022

Prof. Dr. Fabio Stucchi Vannucchi
(Orientador)