

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA
BIODIVERSIDADE**

**Modelagem bioclimática para predição de áreas prioritárias à
conservação das formigas *Neoponera* spp. (Formicidae: Ponerinae) nos
biomas do Brasil**

Orientador/e-mail: Jacques Hubert Charles Delabie/ jacques.delabie@gmail.com

Coorientador/e-mail: Alexandre Arnhold/ alexarnhold@gmail.com

Discente/e-mail: Priscila Santos Silva/ pssilva@uesc.br

Nível/ ano de ingresso: Doutorado/ 2019.1

Ilhéus, 2019

RESUMO

Oscilações climáticas podem alterar o funcionamento dos ecossistemas em níveis ecológico e evolutivo. As perspectivas futuras de mudanças climáticas podem levar à retração do nicho climático de determinadas formações florestais e à expansão das vegetações abertas, modificando distribuição e estrutura dos biomas brasileiros, e, ainda, exercer influência sobre a ocorrência das espécies. As formigas do gênero *Neoponera* ocupam diferentes nichos das florestas do Novo Mundo e fazem parte de um dos grupos de formigas mais ameaçado pela perda e fragmentação florestal e pelas mudanças climáticas. O objetivo deste projeto é estudar a distribuição geográfica de espécies de *Neoponera* nos biomas do Brasil com a utilização de modelos climáticos preditivos, modelos de paleodistribuição e modelos de distribuição potencial a fim de identificar áreas apropriadas para espécies do gênero e sugerir áreas prioritárias à conservação. Os dados de ocorrência serão levantados em coleções entomológicas, bases de dados *online* e literatura. Serão extraídas do *WorldClim* 19 variáveis bioclimáticas com dados do passado, presente e futuro. Os modelos serão gerados pelo algoritmo MaxEnt®. O estudo permitirá extrapolar a distribuição potencial das espécies de *Neoponera* em função das mudanças climáticas (diferentes cenários), indicando áreas de maior importância para conservação das espécies de formigas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Paleodistribuição, Cenários futuros, RCPs, Distribuição potencial

INTRODUÇÃO

Oscilações da temperatura média global modificam a composição dos ecossistemas ampliando seus impactos a nível ecológico e evolutivo (Parmesan e Yohe, 2003). As formações florestais brasileiras atuais, por exemplo, resultam da expansão e retração dos biomas, provocadas pela alternância de climas úmidos e secos nas regiões tropicais durante o Quaternário (Ab'Saber, 2003; Conti e Furlan, 2003). Além disso, há perspectivas de que as futuras alterações climáticas possam levar à retração do nicho climático das formações florestais e à expansão das vegetações abertas, de modo que essas alterações atingirão diferentemente os biomas brasileiros (Brasil, 2016).

A temperatura tem forte influência sobre as espécies, acarretando limitações na ocorrência, especialmente na escolha de habitats adequados (Moritz et al., 2012; Valiente-Banuet et al., 2015). Raramente dados de pesquisa estão disponíveis para descrever a presença de espécies em todos os locais. Assim, modelos são usados para interpolar ou extrapolar essas informações (Pearce e Boyce, 2006). A modelagem de distribuição fundamenta-se na identificação de padrões, em que as associações entre a ocorrência de uma espécie e um conjunto de variáveis são explorados permitindo inferências sobre os mecanismos condutores das distribuições (Araújo e Guisan, 2006). Estudos sobre modelos bioclimáticos, que visam prever o alcance potencial dos organismos sob o clima alterado (Pearson e Dawson, 2003), demonstraram boa concordância entre distribuições observadas e variáveis climáticas (Morales et al., 2015, Fournier et al., 2017). Os modelos são uma ferramenta útil para exploração de lacunas em ecologia, evolução e conservação (Elith et al., 2006), podendo ser usados para identificar quais espécies podem ser mais afetadas e as áreas prioritárias para sua conservação (Brotons et al., 2004; Peterson et al., 2008).

Ocupando diferentes níveis tróficos (Dejean et al., 2014) as formigas (Formicidae) controlam direta ou indiretamente a disponibilidade de recursos para outros organismos (Jones et al., 1997). Pertencendo a subfamília Ponerinae, o gênero *Neoponera* é estritamente Neotropical (57 espécies), distribuindo-se do sul do Texas e norte do México ao norte da Argentina e sul do Brasil (Mackay e Mackay, 2010) (Figura 1 anexo). São formigas predadoras, algumas invasoras de ninhos especializadas em cupins (*Neoponera laevigata* e *Neoponera marginata*) e a maioria de hábito arbóreo – algumas destas (como *Neoponera luteola*) desenvolveram relações mutualísticas com sua planta hospedeira

(*Cecropia* sp e *Theobroma cacao*, por exemplo), defendendo-a de herbívoros, enquanto utiliza seus locais (caule, epífitas, frutos secos) como ninho (Schmidt e Shattuck, 2014). Com 36 registros no Brasil (Tabela 1 apêndice), são encontradas em florestas úmidas e florestas secas com chuvas sazonais (Lattke, 2015).

Estudos sobre modelagem em Formicidae incluem distribuição potencial de *Basiceros scambognathus* (Souza e Delabie, 2013) e *Gracilidris pombero* (Koch et al., 2018); paleodistribuição de *Acromyrmex striatus* (Cristiano et al., 2016) e cenários futuros com formigas da América do Norte (Fitzpatrick et al., 2011). Alguns relacionaram biologia e distribuição de formigas às mudanças climáticas (Roura-Pascual et al., 2004; Bertelsmeier et al., 2013). Entretanto, pouco se conhece do efeito das variações climáticas sobre as distribuições de formigas, sendo necessários estudos relacionando diretamente os impactos destas mudanças na conservação (Capiolo et al., 2015).

OBJETIVOS

- ✓ **Geral:** Estudar a distribuição geográfica de espécies do gênero *Neoponera* nos biomas do Brasil a partir da utilização de modelos climáticos preditivos, modelos de paleodistribuição e modelos de distribuição potencial a fim de identificar áreas apropriadas para espécies deste gênero e sugerir áreas prioritárias à conservação, antecipando variações de distribuição em função das previsões relativas às mudanças climáticas.
- ✓ **Específicos:**

Capítulo 1: Estado da arte sobre modelagem em Formicidae.

- 1- Analisar o estado da arte de estudos sobre biogeografia em Formicidae através da ferramenta de modelagem de distribuição.

Capítulo 2: Paleodistribuição em *Neoponera* spp. nos biomas do Brasil.

- 2- Avaliar os caminhos/efeitos biogeográficos e condições climáticas do Quaternário sobre a distribuição de espécies do gênero *Neoponera* a partir de modelos bioclimáticos de paleodistribuição, comparando-os com modelos de distribuição potencial atual.

Capítulo 3: Modelagem bioclimática potencial e futura com cenários otimista e pessimista baseados no relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças no Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC).

- 3- Desenvolver cenários bioclimáticos de distribuição potencial para espécies de *Neoponera* nos biomas brasileiros.
- 4- Projetar cenários futuros para as espécies de *Neoponera* nos biomas do Brasil com base em diferentes projeções das mudanças climáticas previstas para o final do século XXI, segundo o quinto relatório do IPCC.
- 5- Comparar as áreas de adequabilidade ambiental para os cenários atual e futuro para análise da vulnerabilidade das espécies frente às mudanças climáticas.

Capítulo 4: Antecipando a conservação de espécies de *Neoponera* nos biomas brasileiros – um olhar sobre o nicho climático das formações florestais.

- 6- Inferir possíveis locais de extinção de *Neoponera* e áreas prioritárias à conservação com base nas condições de vegetação modeladas por Brasil (2016).

✓ **Justificativa/ Perguntas/ Hipóteses**

Preocupações contemporâneas como mudanças climáticas, fragmentação de habitats e perda de biodiversidade têm justificado a necessidade de examinar e prever relações biogeográficas com confiabilidade (Joyce, 2009). Embora significativas, treze espécies de formigas constam na Lista Nacional Oficial de Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção, entre elas duas da subfamília Ponerinae (ICMBio, 2014), um dos grupos mais ameaçado pela perda e fragmentação florestal e pelas mudanças climáticas (Capiolo et al., 2015). *Neoponera* está entre os gêneros mais diversos morfologicamente e comportamentalmente de Ponerinae (Schmidt e Shattuck, 2014). Cinco espécies do gênero, *Neoponera billema*, *Neoponera schultzi*, *Neoponera venusta*, *Neoponera concava* e *Neoponera latinoda*, são endêmicas do Brasil (Mackay e Mackay, 2010). Algumas espécies com distribuição ampla, a exemplo de *Neoponera villosa*, em contrapartida, outras com distribuição restrita, como *N. schultzi*, endêmica do Corredor Central da Mata Atlântica (ver distribuição Apêndice 1). Dessa maneira, é pertinente examinar como as consequências das mudanças climáticas sobre a distribuição de espécies vegetais (Colombo e Joly, 2010), modificam a distribuição

e estrutura das comunidades de florestas e podem atingir a distribuição de espécies animais. Diante disso, temos os seguintes questionamentos: (1) Qual o estado da arte para estudos de distribuição de espécies de Formicidae com a utilização da modelagem como ferramenta? (2) Quais eram as áreas de adequabilidade ambiental para as espécies de *Neoponera* nos biomas brasileiros com base em modelos bioclimáticos de paleodistribuição? Houve influência da expansão/retração dos biomas brasileiros no Quaternário sobre a distribuição atual das espécies do gênero? (3) Como serão os cenários futuros para as espécies de *Neoponera* nos biomas do Brasil com base em diferentes projeções de mudanças climáticas previstas para o final do século XXI? Haverá mudanças ou não das áreas de adequabilidade ambiental para essas espécies comparando os modelos potenciais e futuros? (4) Dentro dos biomas existe possibilidade de extinção de espécies de *Neoponera*? Quais as áreas podem ser indicadas como prioritárias à conservação dessas espécies?

Nossa premissa é que as formigas, organismos ectotérmicos, de alto valor ecológico e econômico, respondem a uma série de perturbações ambientais, influenciando o ambiente em que se encontram (regulação de populações de outros organismos, aeração do solo, etc.) (Ribas et al., 2012; Nakano et al., 2013). Assim, hipotetizamos que, (1) nos modelos de paleodistribuição as áreas de adequabilidade ambiental para as espécies de *Neoponera* nos diferentes períodos – Último Interglacial (LIG, 120 mil anos atrás), o Último Máximo Glacial (LGM, 21 mil anos atrás) e o Holoceno Médio (M-H, 6 mil anos atrás) – sofrerão deslocamento da faixa de adequabilidade (Acevedo et al., 2012; Vitorino et al., 2016; Menezes et al., 2017), uma vez que são períodos glaciais/interglaciais, caracterizados por flutuações climáticas e retração das florestas/ expansão do cerrado e caatinga, nos períodos secos e frios e o inverso, nos períodos quentes e úmidos (Ab'Saber, 2003; Lorenzen et al., 2011, Stroher et al., 2019), o que pode ter dado origem aos padrões de distribuição restritos do gênero. Hipotetizamos ainda (2) que os modelos bioclimáticos de predição apontarão redução das áreas de adequabilidade ambiental para essas espécies, tanto para o cenário otimista, quanto para o pessimista, o que pode acarretar padrões de distribuição restritos. Essa hipótese se sustenta, nas projeções de alterações climáticas futuras (IPCC, 2014) e nas consequentes alterações de áreas dos biomas brasileiros (Brasil, 2016).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo:

O Brasil com 8.515.759,090 km² de extensão (IBGE, 2019), possui seis biomas continentais: Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, Cerrado, Pampa e Pantanal. A Amazônia, é o maior bioma brasileiro, com clima tropical úmido, abrange os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e parte de Rondônia, Mato Grosso, Maranhão e Tocantins. O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, com clima tropical sazonal, ocupa a região central do país, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal. Com clima quente e úmido, localizada no litoral leste, sudeste e sul do país, a Mata Atlântica atual constitui um mosaico de fragmentos florestais, sendo composta por duas principais formações florestais: Floresta Ombrófila e Floresta Estacional (Tabarelli et al., 2010; SOS Mata Atlântica, 2018). A Caatinga está localizada no nordeste do país, abrangendo os estados do Ceará, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Alagoas e Sergipe. Com clima tropical semiárido, grande parte da Caatinga é marcada por paisagens desérticas, com solo pedregoso e baixa fertilidade. Abrangendo apenas o Rio Grande do Sul, o pampa tem clima temperado subtropical. O Pantanal, com clima continental tropical, é o menor bioma brasileiro, abrangendo uma pequena região do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul.

Coleta de dados

Capítulo 1:

Para avaliar o estado da arte em estudos de modelagem de Formicidae, será realizada uma pesquisa bibliográfica nas plataformas de busca Scopus, Web of Science e Google Scholar. A busca será feita nos idiomas inglês e português utilizando as palavras Formicidae ou “ants” (“formiga”), combinadas com as seguintes palavras-chave: “modeling”, “niche”, “climate change”, “climate fluctuations”, “quaternary”, “geographic distribution”, “future scenarios”, “paleodistribution”, “potential distribution”, “paleogeography” “paleoclimatology”, “bioclimatic envelope”. Será feita a leitura do artigo encontrado para distinguir as abordagens sobre modelagem de distribuição potencial atual, paleodistribuição ou cenários futuros, ou ainda abordagens mistas. Também serão discutidos o uso de variáveis ambientais e os algoritmos utilizados. O capítulo será redigido

em formato de artigo de revisão.

Capítulos 2, 3 e 4:

Dados bióticos: Os pontos georreferenciados dos locais onde as espécies do gênero *Neoponera* ocorrem no Brasil serão levantados com análise de espécimes depositados nas coleções de Mirmecologia do Centro de Pesquisa do Cacau (CPDC), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP), Universidade Federal de Viçosa (UFV/LABECOL), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Museu Paraense Emílio Goeldi. Também serão compilados dados de ocorrência a partir das redes ANTWEB (www.antweb.org), ANTMAPS (www.antmaps.org) e Global Biodiversity Information Facility (GBIF - <http://www.gbif.org>) e literatura. As espécies a serem modeladas serão selecionadas com base no número de pontos de ocorrência (limite a ser definido após a tabulação dos dados). Para analisar a precisão das coordenadas geográficas, realizaremos uma investigação das localidades onde as espécies foram encontradas. Para isto, utilizaremos o software *Google Earth*.

Dados abióticos: As informações sobre as variáveis climáticas serão extraídas do *WorldClim* - Global Climate Data <<http://www.worldclim.org/>> (Hijmans et al., 2005). Com base neste conjunto (Tabela 2), para exclusão das variáveis mais correlacionadas será utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e, para analisar as variáveis com menor porcentagem de contribuição para os modelos, o teste Jackknife. As variáveis selecionadas serão recortadas para o Brasil (períodos passado, presente e futuro) no software QGIS, versão 3.8.2 Zanzibar.

Análise de dados (Elaboração dos modelos)

Os dados de ocorrência levantados nas coleções serão analisados (sendo eliminadas as duplicatas) e organizados para a elaboração dos modelos, juntamente com os dados climáticos. Os modelos de paleodistribuição, distribuição potencial atual e cenários futuros, serão gerados a partir do Modelo de Máxima Entropia MaxEnt® versão 3.4.1 (Phillips et al., 2017). Serão separados 30% dos pontos de ocorrência para testar a validação dos modelos obtidos de acordo com Rosauer et al. (2009). Criaremos uma matriz de confusão que é uma forma de validação de modelos dependente do limite de corte (threshold-

dependent). Serão utilizados dados de presença e ausência para construção da matriz, então, assim, serão gerados pontos aleatoriamente na área de estudo para simular dados de ausência. Na matriz de confusão pode-se calcular os seguintes índices usados na validação: sensibilidade (se o modelo detecta bem a presença da espécie-alvo), especificidade (se o modelo detecta bem a ausência da espécie-alvo), acurácia (taxa de acertos quando comparadas com todas as tentativas), sobreprevisão (falso positivo ou erro-tipo I) e omissão (falso negativo ou erro-tipo II). Os modelos bioclimáticos para *Neoponera* gerados pelo Modelo de Máxima Entropia e Distribuição Potencial (MaxEnt) serão ajustados no software computacional QGIS, versão 3.8.2 Zanzibar.

Capítulo 2 (Paleodistribuição): primeiramente serão gerados modelos de distribuição potencial para o tempo presente e, posteriormente, serão projetados modelos climáticos de paleodistribuição com o intuito de estimar a distribuição de espécies do gênero *Neoponera* em três períodos distintos do final do quaternário: Último Interglacial (LIG, 120 mil anos atrás), o Último Máximo Glacial (LGM, 21 mil anos atrás) e o Holoceno Médio (M-H, 6 mil anos atrás). A paleodistribuição será realizada utilizando os GCMs (Modelos Climáticos Globais) CCSM4 e MIROC-ESM (Gent et al., 2011; Miranda et al., 2016).

Capítulo 3 (Cenários futuros): serão utilizados os modelos de distribuição potencial atual (gerados no capítulo 2) e projetados cenários futuros para prever a distribuição potencial nos anos de 2050 e 2070. Utilizaremos um conjunto de dados descritos no 5º relatório do Painel Intergovernamental para mudanças no Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC), os Representative Concentration Pathways (RCPs), que representam diferentes vias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro (Van Vuuren et al., 2011; Taylor et al., 2012, Aguilar et al., 2015). Assim, os dados climáticos futuros consistirão de extrapolações derivadas do modelo climático global HadGEM2-ES do IPCC AR5 (Fifth Assessment Report – AR5) (IPCC, 2014), para cenários de emissão RCP 4.5 e 8.5. O cenário RCP 8.5 corresponde a altos valores de emissões, seria um cenário pessimista com elevação da temperatura global em até 3°C; e o cenário RCP 4.5 corresponde a emissões média-baixas, um cenário intermediário, porém mais otimista, com elevação da temperatura global em até 1,5°C.

Avaliação dos modelos: empregaremos a área abaixo da curva (AUC - *Area Under Curve*) ROC, que permite mostrar o desempenho dos modelos, para analisar a validação e qualidade dos mesmos (Fielding e Bell, 1997). A curva ROC é obtida a partir da representação gráfica dos vetores de sensibilidade (verdadeiro-positivo e ausência de erro de omissão) no eixo y e especificidade (verdadeiro negativo e erro de sobre-previsão) no eixo x (Phillips et al. 2006; Fielding e Bell 1997). Um modelo é considerado com bom desempenho quanto mais próximo de 1 estiver o AUC, e de previsão aleatória quando o AUC for inferior ou próximo a 0,5 (Phillips et al, 2006, Giannini, 2012).

Capítulo 4 (Identificação de áreas prioritárias): utilizaremos o software de priorização de conservação Zonation versão 4 (Moilanen et al., 2014), usando como entrada os modelos de distribuição potencial para as espécies do gênero *Neoponera* para identificar áreas prioritárias. O programa produz uma priorização hierárquica da paisagem com base na conservação dos valores dos sítios (células), representando a complementaridade. Seu algoritmo executa a análise com base em regras de remoção das células menos valiosas da paisagem, minimizando o valor da perda marginal para conservação (Moilanen et al., 2012). Dessa maneira, as áreas com adequabilidade ambiental menor serão removidas, restando áreas com adequabilidade maior para as espécies aninhadas que podem ser visualizadas. Os cenários obtidos serão sobrepostos a um mapa das áreas protegidas atuais, para análise dos resultados, os quais também serão analisados com inferências com base nas condições de vegetação modeladas por Brasil (2016).

IMPACTOS DO ESTUDO PARA A CONSERVAÇÃO

Com este estudo pretendemos esclarecer e evidenciar diferentes aspectos da biogeografia do gênero *Neoponera*, como os padrões de distribuição de espécies amplamente distribuídas e de espécies com distribuição restrita, a partir da avaliação da expansão/retração dos biomas brasileiros no Quaternário, também sua distribuição potencial, assim como predizer alterações na distribuição diante dos cenários de mudanças climáticas. Nossos resultados servirão de base para a análise do estado de conservação do gênero *Neoponera*, uma vez que, para os critérios da União Internacional de Conservação da Natureza - UICN (www.iucn.org), dados sobre variações na distribuição são utilizados.

Assim, a partir dos modelos desenvolvidos com base na ocorrência das espécies de

formigas do gênero *Neoponera*, esse estudo permitirá apontar possíveis locais de extinção e áreas prioritárias à conservação, inferidos em função das mudanças climáticas. Além disso, poderá fornecer subsídios para viabilizar a avaliação de risco de extinção dessas espécies ainda pouco conhecidas.

REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, A.N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 3. ed. São Paulo: Ateliê Editorial.
- ACEVEDO, P.; MELO-FERREIRA, J.; REAL, R.; ALVES, P. C. (2012). Past, presente and future distributions of an Iberian Endemic, *Lepus granatensis*: ecological and evolutionary clues from species distribution models. *PLoS One*, v. 7. 12: e51529.
- AGUILAR, G.; BLANCHON, D.; FOOTE, H.; POLLONAI, C.; MOSEE, A. (2015). Queensland fruit fly invasion of New Zealand: predicting area suitability under future climate change scenarios. *Perspectives in biosecurity research series*, 2: 1-12.
- ARAÚJO, M. B.; GUIBAN, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 33: 1677-1688.
- BERTELSMEIER, C.; GUENARD, B.; COURCHAMP, F. (2013). Climate change may boost the invasion of the Asian needle ant. *PLoS One*, v. 8. 10: 1-7.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. (2016). Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil / *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação*.
- BROTONS, L.; THUILLER, W.; ARAUJO, M. B.; HIRZEL, A. H. (2004). Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography* 27: 437-448.
- CAMPIOLO, S.; ROSARIO, N.A.; STRENZEL, G.M.R.; FEITOSA, R. & DELABIE, J.H.C. 2015. Conservação de Poneromorfas no Brasil. pp. 447-462, In: DELABIE, J.H.C.; FEITOSA, R.M.; SERRÃO, J.E.; MARIANO, C.S.F. & MAJER, J.D. (org.). *As formigas Poneromorfas do Brasil*. Editus, Ilhéus-BA, Brasil, 477pp.
- CARVALHO, A. F.; DEL LAMA, M. A. (2015). Predicting priority areas for conservation from historical climate modelling: stingless bees from Atlantic Forest hotspot as a case study. *Journal of insect conservation*, 19, 581-587. DOI: 10.1007/s10841-015-9780
- COLOMBO, A F.; JOLY, C. A. (2010). Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, v. 70, 3: 697-708.

CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. (2003). Geoecologia: O Clima, os Solos e a Biota. In: ROSS, J. S. (Org.). *Geografia do Brasil*. 4. ed. 1 reimp. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

CRISTIANO, M.P.; CARDOSO, D.C.; FERNANDES-SALOMÃO, T.M.; HEINZE, J. (2016). Integrating Paleodistribution Models and Phylogeography in the grass-cutting ant *Acromyrmex striatus* (Hymenoptera: Formicidae) in Southern Lowlands of South America. *Plos One* 1-16.

DEJEAN, A.; LABRIÈRE, N.; TOUCHARD, A.; PETITCLERC, F.; ROUX, O. (2014). Nesting habits shape feeding preferences and predatory behavior in an ant genus. *Naturwissenschaften* 101: 323-330.

ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B. A.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. M. C. C.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S. J.; RICHARDSON, K. S.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBERON, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.

FIELDING, A. H.; BELL, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24: 38-49.

FITZPATRICK, M.C.; SANDERS, N.J.; FERRIER, S.; LONGINO, J.T.; WEISER, M.D.; DUNN, R. (2011). Forecasting the future of biodiversity: a test of single - and multi-species models for ants in North America. *Ecography* 34: 836-847.

FOURNIER, A.; BARBET-MASSIN, M.; ROME, Q.; COURCHAMP, F. (2017). Predicting species distribution combining multi-scale drivers. *Global Ecology and Conservation* 12: 215-226.

GENT, P.R.; DANABASOGLU, G.; DONNER, L.J.; HOLLAND, M.M.; HUNKE, E.C.; JAYNE, S.R.; LAWRENCE, D.M.; NEALE, R.B.; RASCH, P.J.; VERTENSTEIN, M. WORLEY, P.H.; YANG, Z.; ZHANG, M. (2011). The community climate system model version 4. *Journal of Climate*. 24: 4973-4991.

GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C.C.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. (2012). Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia*, 63: 733-749.

HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.

ICMBio. Lista de espécies ameaçadas da fauna brasileira, 2014. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/fauna-brasileira/lista-deespecies>>; acessado em: 02/09/2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial>. Acessado em: 17 de outubro de 2019.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: FIELD, C. B. *et al.* (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1132 p. 2014.

JONES, C.G.; LAWTON, J.H.; SHACHAK, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology* 78; 1946-1957.

JOYCE, C. (2009). New challenges in biogeography. *Area*. 41.3, 354-357.

KOCH, E.B.A.; CORREIA, J.P.S.O.; MENEZES, R.S.T.; SILVESTRINI, R.A.; DELABIE, J.H.C.; VASCONCELOS, H.L. (2018). New Records and Potential Distribution of the Ant *Gracilidris pombero* Wild & Cuzzo (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 65(3): 375-382.

LATTKE, J. E. (2015). Estado da arte sobre a taxonomia e filogenia de Ponerinae do Brasil. In: DELABIE, J.H.C. et al. *As formigas poneromorfas do Brasil*. Ilheus: Editus. p. 55-73.

LORENZEN, E.; NOGUÉS-BRAVO, D.; ORLANDO, L.; WEINSTOCK, J.; BINLADEN, J., MARSKE, K.A.; UGAN, A.; BORREGAARD, M.K.; GILBERT, M.T.P.; NIELSEN, R. (2011). Species specific responses of late Quaternary megafauna to climate and humans. *Nature* 479: 359-364.

Mackay, W. P; Mackay, E.E. (2010). *The Systematics and Biology of the New World Ants of the Genus *Pachycondyla* (Hymenoptera: Formicidae)*. Edwin Mellon Press, Lewiston, 2010.

MENEZES, R. S.; BRADY, S. G.; CARVALHO, A. F.; DEL LAMA, M. A.; COSTA, M. A. (2017). The roles of barriers, refugia, and chromosomal clines underlying diversification in Atlantic Forest social wasps. *Scientific reports*, v. 7 (1): 7689.

MIRANDA, E. A.; BATALHA-FILHO, H.; CONGRAINS, C.; CARVALHO, A. F.; FERREIRA, K. M.; DEL LAMA, M. A. (2016). Phylogeography of *Partamona rustica* (Hymenoptera, Apidae), an endemic stingless bee from the Neotropical dry forest diagonal. *PLoS one*, 11 (10): 1-19.

MOILANEN, A.; MELLER, L.; LEPPANNEN, J.; POULZOUS, F. M.; ARPONEN, A.; KUJALA, H. (2012) *Zonation: spacial conservation planning framework and software. Version 3.1*. Helsinki: University of Helsinki.

MOILANEN, A.; POUZOLS, F.M.; MELLER, L.; VEACH, V.; ARPONEN, A.; LEPPANNEN, J.; KUJALA, H. (2014). *Zonation - Spatial Conservation Planning Methods and Software. Version 4. User Manual*. University of Helsinki, Helsinki.

MORALES, N.S.; FERNÁNDEZ, I.C.; CARRASCO, B.; ORCHARD, C. (2015). Combining niche modelling, land-use change, and genetic information to assess the conservation status of *Pouteria splendens* populations in central Chile. *International Journal of Ecology*, Article ID 612194: 1-12.

MORITZ, C.; LANGHAM, G.; KEARNEY, M; KROCKENBERGER, A.; VANDERWAL, J.; WILLIAMS, W. (2012). Integrating phylogeography and physiology

reveals divergence of thermal traits between central and peripheral lineages of tropical rainforest lizards. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 367, 1596: 1680-1687.

NAKANO, M.A.; MIRANDA, V.F.O.; SOUZA, D.R.; FEITOSA, R.M.; MORINI, M.S.C. (2013). Occurrence and natural history of *Myrmelachista* Roger (Formicidae: Formicinae) in the Atlantic Forest of southeastern Brazil. *Revista Chilena de História Natural*, 86: 169-179.

PARMESAN, C.; YOHE, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42.

PEARCE, J. L.; BOYCE, M. S. (2006). Modelling distribution and abundance with presence-only data. *Journal of Applied Ecology* 43(3):405-412.

PEARSON, R.G.; DAWSON, T.E. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology Biogeographic*. 12: 361-371.

PETERSON, A. T.; PAPES, M.; SOBERON, J. (2008). Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling* 213: 63-72.

PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P.; SCHAPIRE, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E.; BLAIR, M.E. (2017). Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40: 887-893.

RIBAS, C.R.; SCHMIDT, F.A.; SOLAR, R.R.C.; CAMPOS, R.B.F.; VALENTIM, C.L.; SCHOEREDER, J.H. (2012). Ants as indicators in Brazil: A review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. *Psyche*, 2012: 1-23.

ROSAUER, D. A. N.; LAFFAN, S. W.; CRISP, M. D.; DONNELLAN, S. C.; COOK, L. G. (2009). Phylogenetic endemism: a new approach for identifying geographical concentrations of evolutionary history. *Molecular Ecology*, 18, 4061-4072. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04311.x>.

ROURA-PASCUAL, N., A. SUAREZ, C. GOMEZ, P. PONS, Y. TOUYAMA, A. L. WILD, A. T. PETERSON. (2004). Geographical potential of Argentine ants (*Linepithema humile* Mayr) in the face of global climate change. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, v. 271, 1557: 2527-2535.

SOS MATA ATLÂNTICA - Fundação SOS Mata Atlântica; INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2016-2017*. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica. 63 p. 2018. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/nossas-causas/mata-atlantica/>

SOUZA, H.J; DELABIE, J.H.C. Modélisation de la distribution géographique de la Fourmi *Basicros scambognathus* (Brown, 1949) dans la région Néotropicale (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 118 (1) 2013: 7-13.

- STROHER, P. R.; MEYER, A. L. S.; ZARZA, E.; TSAI, W. L. E.; MCCORMACK, J. E.; PIE, M. R. (2019). Phylogeography of ants from the Brazilian Atlantic Forest. *Organisms Diversity & Evolution*. doi.org/10.1007/s13127-019-00409-z.
- TABARELLI, M.; AGUIAR, A.V.; RIBEIRO, M.C.; METZGER, J.P.; PERES, C.P. (2010). Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. *Biological Conservation* 143 (10): 2328-2340.
- TAYLOR, K. E.; STOUFFER, R. J.; MEEHL, G. A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *American Meteorological Society*. 485-498.
- VALIENTE-BANUET, A.; AIZEN, M.A.; ALCANTARA, J.M.; ARROYO, J.; COCUCCI, A.; GALETTI, M.; GARCIA, M.B.; GARCIA, D.; GOMEZ, J.M.; JORDANO, P.; MEDEL, R.; NAVARRO, L.; OBESO, J.R.; OVIEDO, R.; RAMIREZ, N.; REY, P.J.; TRAVESET, A.; VERDU, M.; ZAMORA, R. (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology*, v. 29, 3: 299-307.
- VAN VUUREN, D. P.; STEHFEST, E.; DEN ELZEN, M.G.J.; KRAM, T.; VAN VLIET, J.; DEETMAN, S.; ISAAC, M.; GOLDEWIJK, K.K.; HOF, A.; BELTRAN, A.M.; OOSTENRIJK, R.; VAN RUIJVEN, B. (2015). RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Climate Change*, 109: 95-116.
- VITORINO, L. C.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; TERRIBILE, L. C.; COLLEVATTI, R. G. (2016). Demographical history and palaeodistribution modelling show range shift towards Amazon Basin for a Neotropical tree species in the LGM. *BMC evolutionary biology*, v. 16, 1: 213.

Apêndice

Tabela 1- Distribuição conhecida das espécies do gênero *Neoponera* no Brasil

ESPÉCIES	Distribuição
<i>N. agilis</i>	Cerrado, Mata Atlântica
<i>N. antecurvata</i>	Amazônia (AM)
<i>N. apicalis</i>	Mata Atlântica nordeste e sudeste, Caatinga, Cerrado e Amazônia
<i>N. bactronica</i>	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>N. billemma</i> *	Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica
<i>N. bucki</i>	Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica
<i>N. carinulata</i>	Amazônia, Mata Atlântica e Pampa
<i>N. cavinodis</i>	Amazônia e Mata Atlântica
<i>N. commutata</i>	Mata Atlântica nordeste e sudeste, Caatinga, Cerrado e Amazônia
<i>N. concava</i>	Mata Atlântica - corredor central (BA e ES) e AL
<i>N. cooki</i>	Amazônia (AM)
<i>N. crenata</i>	Amazônia, Mata Atlântica e Pampa
<i>N. curvinodis</i>	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica
<i>N. foetida</i>	Amazônia e Cerrado
<i>N. globularia</i>	Amazônia e Mata Atlântica
<i>N. goeldii</i>	Amazônia e Mata Atlântica (sul da Bahia)
<i>N. inversa</i>	Todos os biomas, exceto Pampa
<i>N. laevigata</i>	Amazônia, Mata Atlântica do sudeste e Pampa
<i>N. latinoda</i> *	Mata Atlântica
<i>N. luteola</i>	Mata Atlântica e Pantanal
<i>N. magnifica</i>	Mata Atlântica nordeste e sudeste, Caatinga, Cerrado e Amazônia (PA)
<i>N. marginata</i>	Todos os biomas (no nordeste apenas BA)
<i>N. metanotalis</i> *	Mata Atlântica
<i>N. moesta</i>	Todos os biomas
<i>N. oberthueri</i>	Amazônia
<i>N. obscuricornis</i>	Todos os biomas, exceto Pampa
<i>N. procidua</i>	Amazônia
<i>N. rostrata</i>	Amazônia (AM), Cerrado
<i>N. rugosula</i>	Amazônia (RO)
<i>N. schultzi</i> **	Corredor central da Mata Atlântica (BA e ES)

<i>N. striatinodis</i>	Amazônia, Pantanal, Cerrado, Mata Atlântica (BA e RJ)
<i>N. theresiae</i>	Amazônia
<i>N. unidentata</i>	Mata Atlântica nordeste e sudeste, Amazônia, Pantanal, Cerrado, Caatinga
<i>N. venusta</i> *	Mata Atlântica nordeste e sudeste, Caatinga e Amazônia
<i>N. verenae</i>	Todos os biomas, exceto Pampa – no nordeste apenas BA e SE
<i>N. villosa</i>	Todos os biomas, exceto Pampa

*Endêmica do Brasil.

**Endêmica do Corredor Central da Mata Atlântica

Fonte: Levantamento da coleção CPDC, pesquisa em literatura e Antmaps.org

Anexos



Figura 1: Distribuição do gênero *Neoponera* com número de espécies por região. Fonte: antmaps.org

Tabela 2- Lista de camadas bioclimáticas

Nº	Informação Climática
Bio1	Temperatura média anual
Bio2	Faixa de meio dia (temperatura máxima - Temp min; médio mensal)
Bio3	Isotermalidade (BIO1 / Bio7) * 100
Bio4	Sazonalidade de temperatura (coeficiente de variação)
Bio5	Temperatura máxima do período mais quente
Bio6	Temperatura mínima do período frio
Bio7	Gama anual de temperatura (BIO5-BIO6)
Bio8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso
Bio9	Temperatura média do trimestre mais seco
Bio10	Temperatura média do trimestre mais quente
Bio11	Temperatura média do trimestre mais frio
Bio12	Precipitação anual
Bio13	Precipitação da estação chuvosa
Bio14	Precipitação do período seco
Bio15	Sazonalidade da precipitação (Coeficiente de Variação)
Bio16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: WorldClim/Bioclim.org

