**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Modelagem da distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa*
(Hymenoptera: Formicidae): correlações, covariâncias e
coocorrências**

Debora Maria Ferreira Canuto

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2019

Débora Maria Ferreira Canuto
Engenheira Agrônoma

**Modelagem da distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa*
(Hymenoptera: Formicidae): correlações, covariâncias e
coocorrências**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **WESLEY AUGUSTO CONDE GODOY**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Canuto, Débora Maria Ferreira

Modelagem da distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae): correlações, covariâncias e coocorrências / Débora Maria Ferreira Canuto. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.- - Piracicaba, 2019.

119 p.

Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Configuração espacial 2. Formigas cortadeiras 3. Diversidade de insetos
4. Análise espacial 5. Distância de bordas 6. Biotecnologia I. Título

Dedicatória

Ao meu esposo Reinaldo Silva Oliveira Canuto e aos meus queridos pais, Josué Canuto do Nascimento e Josefa Ferreira Canuto, pelo amor, apoio, incentivo, segurança e compreensão durante meus estudos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Wesley Augusto Conde Godoy, pela oportunidade, orientação, amizade, confiança e por todos os valiosos conhecimentos compartilhados, que contribuíram muito para meu crescimento pessoal e profissional, sem o seu auxílio eu não teria conseguido chegar até aqui.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pelo conhecimento transmitido e ensinamentos prestados, em nome do Prof. Dr. Fernando Luís Cônsoli.

Aos colegas do Laboratório de Entomologia Florestal e Ecologia de Insetos, pela amizade, companhia e que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa durante os quatro anos de cumprimento de créditos e desenvolvimento do projeto de pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia da ESALQ pela oportunidade concedida.

Ao Departamento de Ciências Florestais pela permissão de uso da Estação Experimental de Itatinga para a coleta de dados, assim como também agradeço aos funcionários da Estação Experimental, cuja ajuda foi imprescindível para a coleta de dados

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. Introdução geral	9
Referências	12
2. Revisão de literatura	15
2.1. FLORESTAS PLANTADAS, NATURAIS, VIZINHANÇAS E INTERFACE ENTRE ÁREAS.....	15
2.2. ASPECTOS BIOECOLÓGICOS DE <i>ATTA SEXDENS RUBROPILOSA</i>	17
2.3. ESTRUTURA E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	19
2.4. SIMILARIDADE ESPACIAL NA COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES EM ÁREAS DE NINHOS DE FORMIGAS	20
Referências	21
3. Estatística espacial e estrutura etária em ninhos de formigas cortadeiras ...	27
3.1. INTRODUÇÃO	28
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.2.1. Áreas de estudo	29
3.2.2. Parcelas	31
3.2.3. Estimativa da abundância de ninhos	31
3.2.4. Estatística para distribuição espacial	31
3.2.4.1. Fundamentação teórica	31
3.2.4.1.1. Distribuição de Poisson aplicada à abundância de ninhos	31
3.2.4.1.2. Distribuição binomial negativa aplicada à abundância dos ninhos	332
3.2.5. Aplicação	34
3.3. RESULTADOS	36
3.4. DISCUSSÃO	43
Referências	48
4. Padrões espaço-temporais bivariados de <i>Atta sexdens rubropilosa</i> em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa	52
4.1. INTRODUÇÃO	52
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	54
4.2.1. Obtenção dos dados	54
4.2.2. Análise estatística	55
4.3. RESULTADOS	56
4.4. DISCUSSÃO	72
Referências	78
5. Efeito de borda em ninhos de <i>Atta sexdens rubropilosa</i>, analisado por mapas de isolinhas locais e regressão com erros de Poisson	82
5.1. INTRODUÇÃO	82
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	84
5.3. RESULTADOS	85
5.4. DISCUSSÃO	94
Referências	97
6. Distribuição espacial, riqueza de Ordens e abundância de insetos em áreas colonizadas por formigas cortadeiras.....	101

6.1. INTRODUÇÃO.....	102
6.2. MATERIAL E MÉTODOS	103
6.2.1. <i>Distribuição das armadilhas nos ambientes de rebrota, mata nativa e Cerrado</i>	103
6.2.2. <i>Análises estatísticas</i>	104
6.3. RESULTADOS	105
6.4. DISCUSSÃO.....	111
Referências.....	117

RESUMO

Modelagem da distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae): correlações, covariâncias e coocorrências

Neste estudo foi modelada espacialmente a distribuição de ninhos velhos e incipientes de formigas cortadeiras levando em conta diferentes ambientes, tais como rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. As análises foram realizadas com modelos estatísticos ecológicos, empregando métricas condizentes com a dimensão espacial inerente da distribuição de ninhos no solo, considerando distribuições de probabilidade, análise bivariada, regressões e mapas de isolinhas para avaliar a distribuição e permanência de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em diferentes plantios florestais e áreas adjacentes. A diversidade de insetos em nível de Ordem também foi investigada nos ambientes contendo ninhos de formigas cortadeiras. Os resultados encontrados mostram padrões de distribuição de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* dependentes da idade da colônia, com ninhos velhos tendendo muito mais à agregação, modelada pela distribuição Binomial negativa do que ninhos incipientes nas três áreas investigadas. A análise de padrões bivariados mostrou haver simultaneidade de ninhos velhos e incipientes em diversas parcelas experimentais de todas as áreas, exceto na mata nativa. A relação entre as métricas do efeito de borda e a abundância de ninhos foi altamente significativa quando os resultados da mata nativa foram investigados. Contudo, a relação também foi observada nas outras áreas, exibindo porém variação na frequência de relações significativas. A mata nativa foi a área com maior riqueza e abundância de Ordens, seguida pelo Cerrado, tendo a maior abundância registrada para a Ordem Coleoptera. A maior similaridade entre áreas ocorreu entre Cerrado e mata nativa. Riqueza e abundância foram altamente correlacionadas entre si, contudo formigueiros velhos e incipientes exibiram fracas ou moderadas correlações com a abundância e riqueza de Ordens nas áreas estudadas.

Palavras-chave: Configuração espacial; Formigas cortadeiras; Idade de ninhos

ABSTRACT

Spatial distribution modeling of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae): correlations, covariances and co-occurrences

In this study the spatial distribution of old and incipient nests of leaf cutting ants was modelled, taking into account different environments, such as, eucalypt regrowth, Cerrado and native forest. The analysis were performed with statistical models employing metrics consistent with the spatial dimension inherent to distribution of soil nests, considering distributions of probability, bivariate analysis, regressions and isoline maps to evaluate the distribution and permanence of *Atta sexdens rubropilosa* nests in different areas associated to eucalypt plantations. The diversity of insects was classified by Order level and also investigated in environments containing nests of leaf cutting ants. The results found show distribution patterns in nests of *Atta sexdens rubropilosa* depending on colony ages, with old nests trending much more to clumped patterns, modelled by Negative binomial distribution, than to incipient nests in the three areas investigated. The analysis of bivariate patterns showed simultaneity of old and incipient nests in several experimental plots in all areas, except in native forest. The relationship between edge effect metrics and the abundance of nests was highly significant when the results of native forest were investigated. However, the relationship was also observed in other areas, but exhibiting variation in the frequency of significant relationships. The native forest was the area with highest richness and abundance of Orders, followed by Cerrado, with the highest abundance recorded in the Order Coleoptera. The highest similarity between areas was recorded for Cerrado and native forest. Richness and abundance were highly correlated in-between, however old and incipient nests exhibited weak or moderate correlations, with abundance and richness of Orders in the areas studied.

Keywords: Spatial configuration; Leaf cutting ants; Age of nests

1 INTRODUÇÃO GERAL

As formigas ocupam muitos nichos presentes no ambiente terrestre, podendo sobreviver a extremas condições abióticas, fator que caracteriza a adaptação do grupo frente a mudanças ambientais no ecossistema e que evidência uma problemática quanto a sua presença em ambientes não desejados, áreas agrícolas por exemplo, em que são consideradas pragas que oneram custos sob a produção e estabelecimento do cultivo (Della Lucia, 2011, Siqueira et al., 2017). As formigas cortadeiras utilizam uma ampla área de forrageio, podendo se utilizar de vasta diversidade de espécies vegetais durante a procura por alimento em trilhas (Lima et al., 2001). Com o avanço da fronteira agrícola e uso de áreas remanescentes do Cerrado, as formigas têm buscado mecanismos de sobrevivência, tornando-se organismos cada vez mais presentes e causadores de problemas para produtores, em especial aqueles interessados em plantios florestais (Forti et al, 2000; Costa et al. 2001).

As saúvas são consideradas pragas em cultivos florestais de grande importância econômica no Brasil, particularmente em *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (Juvenal & Mattos, 2002, Forti et al, 2000). A produção florestal é destinada aos mais diversos fins, tais como: papel, celulose, lenha, carvão, aglomerado, serraria, óleos para indústrias farmacêuticas, mel, ornamentação e quebra-vento, dentre outros (Juvenal & Mattos, 2002). Além das saúvas, há diversos grupos de insetos que interferem no ciclo e na produtividade florestal. Dentre eles podem ser citados vespa-da-galha, vespa-da-madeira, pulgões, cupins, lepidópteros desfolhadores, besouros desfolhadores e broqueadores, psílídeos de concha e de ponteiro, percevejo-bronzeado, microvespas, ácaros e cigarrinhas (Costa et al. 2001, Della Lucia, 2011, Vilela & Zuchi, 2015). Entretanto, dentre todos os insetos mencionados, as formigas cortadeiras destacam-se por estarem presentes durante os dois anos iniciais considerados principais ao estabelecimento da planta, e também por aparecerem nas demais fases fenológicas intensificando a diminuição do volume de madeira por área (Della Lucia, 2011).

A ausência de controle efetivo limita a produtividade e onera o empreendimento florestal chegando a gastos na Ordem de milhões de dólares anualmente (Della Lucia, 2011). Para colônias jovens, forragear próximo aos ninhos deve ocasionar menor perda energética. Porém, em colônias grandes, onde existe um número maior de

forrageiras e com tamanhos maiores que nas colônias jovens, trilhas de forragem podem ser estabelecidas distantes dos ninhos (Forti et al 2000), o que torna difícil crer que a presença de formiga sugere a localização do ninho próximo à ela.

O controle de insetos-praga em reflorestamentos, quando feito sem conhecer os padrões de distribuição espacial dos diferentes grupos, pode resultar em falhas no monitoramento espaço-temporal, provocando impactos negativos indesejáveis ao ambiente e ao homem. Nesse sentido, há estudos mostrando que a presença de vegetação natural próxima aos plantios tende a reduzir os custos de manejo de formigas cortadeiras (Zanetti et al. 1999). Particularmente, a incidência de saúvas em áreas sem sub bosque é significativamente maior que em áreas com sub bosque denso, como são usualmente configuradas as florestas nativas (Almeida et al. 1983a,b).

A vegetação nativa próxima aos talhões de eucalipto convencionais confere vantagens ao sistema, pelo aumento da diversidade biológica decorrente dos fragmentos de floresta nativa nas bordas dos talhões reflorestados (Zanetti et al. 2000). Isso pode aumentar a probabilidade de ocorrência de inimigos naturais. Por outro lado, essa configuração de paisagem local pode também produzir efeitos negativos favorecendo a produção de maior número de alados provenientes dos remanescentes de mata nativa (Zanetti et al. 2000), a despeito da necessidade que as rainhas têm de encontrar áreas livres de vegetação para iniciar novas colônias (Araújo et al. 2003; Vasconcelos et al. 2006; Sossai et al. 2005).

Há evidência então de que a presença de vegetação nativa pode beneficiar o manejo de pragas de formigas cortadeiras, atuando como área de refúgio de biodiversidade, o que pode atenuar os efeitos da infestação, seja pela conservação de inimigos naturais, como pelas barreiras naturais à instalação de novas colônias de formigas (Almeida et al. 1983a,b; Zanetti et al. 2000). Não há estudos sistemáticos disponíveis na literatura que explorem essa abordagem, sobretudo focando sobre dinâmica de produção de novas colônias em áreas influenciadas ou não pela presença de vegetação nativa. Assim, estudos com esse foco podem contribuir sobremaneira com a compreensão da dinâmica de instalação de novas colônias de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto.

Além da carência de estudos enfatizando os aspectos mencionados acima, a necessidade de adequação de ferramentas analíticas para a análise espacial de formigueiros em plantios de eucalipto e áreas adjacentes é uma realidade cada vez

mais presente no cenário de ecologia e manejo de formigas cortadeiras (Caldeira et al. 2005; Lasmar et al. 2012). Historicamente, a distribuição espacial em populações de insetos vem sendo investigada pelo uso de modelos de distribuição de frequência, em especial os modelos de Distribuição de Poisson e Binomial Negativa (Southwood & Henderson, 2006) com resultados importantes para o cenário de distribuição espacial de insetos. O uso da geoestatística na Entomologia tem sido também documentado para diversos grupos taxonômicos, tais como: Lepidoptera, Coleoptera, Orthoptera, Hymenoptera e Hemiptera, enfatizando aspectos ecológicos da distribuição espacial e particularmente análises sobre infestação em espécies florestais (Mendonça, 2008; Lasmar et al. 2012). A construção de mapas de isolinhas locais traz contribuição significativa sobre padrões espaciais de distribuição de insetos, permitindo a avaliação de tendências de evolução da densidade de colônias no tempo e no espaço (Liebhold et al. 1993).

O entendimento da dinâmica de distribuição espacial de formigas, em especial de *Atta sexdens rubropilosa* é fundamental para reconhecer as variáveis ecológicas implicadas no comportamento e na persistência populacional da espécie em diferentes ambientes e também em gradientes ambientais. Dessa forma, o presente estudo possui como objetivo central modelar espacialmente a distribuição de ninhos de formigas cortadeiras, pelo uso de métricas condizentes com a dimensão espacial inerente de insetos que fazem ninhos no solo, considerando distribuições de probabilidade e mapas de isolinhas para avaliar a distribuição e permanência de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em diferentes plantios florestais e áreas adjacentes.

Objetivo geral

Investigar a dinâmica de distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa, considerando ninhos de diferentes idades, associações com variáveis ambientais e coocorrência com outros grupos taxonômicos

Objetivos específicos

Avaliar a distribuição espacial de ninhos de idades diferentes em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa

Analisar padrões bivariados de distribuição de ninhos nas áreas amostradas, levando em conta as sobreposições de abundâncias e a covariância entre ninhos velhos e incipientes

Modelar a influência de bordas em diferentes áreas sobre a abundância de ninhos velhos e incipientes por meio de mapas de isolinhas e regressão com erros de Poisson

Investigar a distribuição espacial e riqueza de Ordens de insetos de solo em áreas com presença de ninhos velhos e incipientes de formigas cortadeiras.

Referências

- Almeida, A.F., Alves, J.E.M., Mendes Filho, J. M. A., LARANJEIRO, A. J. 1983a. A avifauna e o sub-bosque como fatores auxiliares no controle biológico das saúvas em florestas implantadas. *Silvicultura* 8: 145-150.
- Almeida, A.F., Alves, J.E.M., Mendes Filho, J. M. A., 1983b. Manutenção de sub-bosque em florestas de *Eucalyptus urophylla* e a distribuição regular de porta-iscas, visando o controle preventivo de saúvas (*Atta* spp.). *Silvicultura*, 8: p.142- 144.
- Araujo, M. S., C. A. Rodrigues, M. Oliveira, F G. Jesus. 2015. Controle biológico de formigas-cortadeiras: o caso da predação de fêmeas de *Atta* spp. por *Canthon virens* Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, **2**: 8–12.
- Caldeira, M. A., Zanetti, R., Moraes, J. C., Zanuncio, J. C. 2005. Spatial distribution of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations. *Cerne* 11:34-39.
- Costa, E. C.; d'Avila, M.; Cantarelli, E. B.; Murari, A. B. 2001. Entomologia Florestal. Editora UFSM, Santa Maria, RS, 147p.
- Dohm, C., Leal, I. R., Tabarelli, M., Meyer, S.T., Wirth, R. 2011. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? *Journal of Tropical Ecology*, 27: 645–649.
- Forti L.C., Andrade A.P.P. DE, Ramos V.M. 2000. Biologia e comportamento de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae): implicações no seu controle. *Série Técnica, IPEF*, 13: 103-114.
- Juvenal, T. L.; Mattos, R. L. G. 2002. O setor florestal no Brasil e a importância do Reflorestamento. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, 16: 3-30.
- Lasmar, O, Zanetti, R., Santos, A., Fernandes, B. B. 2012. Use of Geostatistics to Determine the Spatial Distribution and Infestation Rate of Leaf-Cutting Ant Nests

- (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* Plantations. Neotropical Entomology, 41: 321-332.
- Liebhold, A.M., Rossi, R.E., Kemp, W.P. 1993. Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. Annual Review of Entomology, 38: 303-327.
- Mendonça, L. A. 2008. Geoestatística na amostragem sequencial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de mata atlântica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Siqueira, F., Ribeiro-Neto, J., Tabarelli, M., Andersen, A., Wirth, R., Leal, I. 2017. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. Journal of Tropical Ecology, 33: 337–344.
- Sossai, M. F., Zanuncio, J. C., Leite, H. G., Zanetti, R., Serrão, J. E. 2005. Transects to estimate the number of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus urophylla* plantations. Sociobiology, 46: 667-676.
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. 2006. Ecological Methods, Blackwell Science, Victoria, Australia.
- Vasconcelos, H. L.; Vieira-Neto, E. H. M.; Mundim, F. M.; Bruna, E. M. 2006. Roads alter the colonization dynamics of a keystone herbivore in Neotropical savannas. Biotropica, 38: 661-665.
- Vilela, E. F., Zucchi, R. A. 2015. Pragas introduzidas no Brasil, insetos e ácaros. FEALQ, Piracicaba, 908p.
- Zanetti, R., Zanuncio, J. C., Vilela, E. F., Leite, H. G., Della Lucia, D. M. C., Couto, L. 1999. Efeito da espécie de eucalipto e da vegetação nativa circundante sobre o custo de combate a saúveiros em eucaliptais. Revista Árvore, 23: 311-320.
- Zanetti, R., Vilela, E. V., Zanuncio, J. C., Leite, H. G., Freitas, G. D. 2000. Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saúveiros em eucaliptais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 35: 1911-1918.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Florestas plantadas, naturais, vizinhanças e interface entre áreas

Áreas florestais podem ser ou não naturalmente formadas na natureza. Contudo, a rapidez com que os gradientes são formados certamente está associada às intervenções no ambiente, sobretudo aquelas de caráter de produção de matéria prima para a sociedade. Os cenários florestais brasileiros são diversos, mas devido à expansão das monoculturas para plantio de eucalipto, as áreas nativas são restritas ao cumprimento da legislação no tocante à manutenção de baixos percentuais por área plantada (Vital, 2007). Pelo menos três sistemas de vegetação florestal podem ser predominantes em áreas de floresta mista, caracterizadas pela heterogeneidade de plantios, ou seja, a rebrota de eucalipto, a regeneração do Cerrado e os fragmentos florestais remanescentes da vegetação natural (Ribeiro et al., 1987, Silva, 2000, Kotchetkoff-Henriques, 2003). Apesar da importância dessa abordagem, não há na literatura experimentação sistemática para avaliar o efeito destas combinações sobre a distribuição espacial de insetos, particularmente das formigas cortadeiras, o que seria de extremo valor para o cenário da produção florestal e também da conservação de refúgios para a presença de inimigos naturais. Os subitens a seguir descrevem as áreas acima mencionadas.

A rebrota de eucalipto é uma prática que tem sido feita no Brasil e como outras tem vantagens e desvantagens. A produtividade entre ciclos florestais pode ser garantida para rebrotas bem conduzidas e com manejo adequado do solo (Freitag, 2003). A rebrota é considerada prática que garante sustentabilidade do sistema e por isso vem conquistando a atenção de produtores. Tem sido relativamente comum sua implementação principalmente por conta da redução de custos na implantação da floresta e melhoria das condições ambientais (Freitag, 2003). Não há praticamente estudos que definam o padrão de infestação de formigas cortadeiras em rebrotas de eucalipto no Brasil, por isso, estudos voltados para essa abordagem são desejáveis, principalmente por ser considerada área com alto potencial para instalação de novas colônias de formigas, em razão da sua natureza livre de vegetação nativa e/ou sub bosque.

O Cerrado representa cerca de 22 a 24% de todo território brasileiro¹, sendo em torno de 2 milhões de Km² do Brasil central e amazônico. Apesar desse número aparentar ser relativamente alto, há estudos que indicam que este bioma tem diminuído drasticamente¹ ao longo do tempo, sendo necessário tomar providências para reverter a devastação que tem ocorrido em função do aumento da fronteira agrícola, pecuária e também frente à necessidade de carvão vegetal oriundo desse bioma (Ferri, 1975; Fiedler et al. 2004). O Cerrado se localiza de forma maciça na região central do país, entre as latitudes 04°03' e 23°27' Sul e as longitudes 035°00' e 063°00' Oeste, e mantém áreas de transição com a maioria dos biomas brasileiros, exceto com o Pampa, no Sul do Brasil (Aquino et al., 2008). O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro, perdendo apenas para a Floresta Amazônica e está presente, resguardadas as devidas proporções, nos estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Piauí, Rondônia, São Paulo, Amapá, Amazonas, Roraima e Paraná (Silva, 2000; Aquino et al., 2008).

O Cerrado é composto de um mosaico de ambientes e diferentes tipos de vegetação resultantes da diversidade de solos, da topografia e da diversidade climática existentes nessa extensa área (Alho & Martins, 1995). Segundo Machado et al. (2004) esses diferentes ambientes estão diretamente associados com a grande diversidade de espécies vegetais e animais encontradas no bioma. A partir deste cenário, é possível compreender que a heterogeneidade espacial observada no Cerrado é fator determinante para a presença de um variado número de espécies.

Um fragmento florestal remanescente é uma área de vegetação natural interrompida por barreiras antrópicas ou naturais capazes de diminuir significativamente o fluxo de animais, pólen e, ou, sementes (Viana, 1990). Há uma necessidade crescente do reconhecimento de efeito de fatores ecológicos sobre o equilíbrio de fragmentos florestais remanescentes de vegetação natural para que seja realizada uma prática gestora correta frente a questões ambientais podendo diagnosticar os problemas atuais advindos de populações e comunidades de insetos praga, e estimar influências futuras destes organismos apontando assim as mudanças necessárias para manter o equilíbrio natural.

¹ <http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/inpe-divulga-dados-sobre-o-desmatamento-do-bioma-cerrado>

O conhecido efeito de borda geralmente diz respeito às mudanças bióticas e abióticas passíveis de ocorrência nos limites de fragmentos florestais, mas que pode se estender por distâncias variadas em direção ao seu interior (Dohm et al. 2011). Os organismos distribuídos nestas áreas estão sujeitos às influências produzidas gradativamente pelas modificações. Populações de insetos que sensivelmente respondem às mudanças ambientais são consideradas indicadoras de distúrbio no ambiente (Zardo et al., 2010), porém nada se conhece sobre o comportamento populacional de espécies que, assim como as formigas cortadeiras, possam ser consideradas pragas. O cenário caracterizado por plantações de eucalipto, é um exemplo claro de simplificação de ecossistemas, com implicações negativas para a composição local de espécies, o que inclui a abundância e diversidade de inimigos naturais (Copatti & Daut, 2009).

Em cenários como o florestal brasileiro e, sobretudo em face à legislação que determina a manutenção de refúgios de vegetação nativa próximos aos plantios de monocultura, estudos sistemáticos para avaliar a distribuição espacial de insetos herbívoros, considerados até mesmo como pragas pela alta densidade populacional e exploração de recursos, bem como seus inimigos naturais, são necessários para descrever o estado de equilíbrio de comunidades envolvidas no sistema florestal.

2.2 Aspectos bioecológicos de *Atta sexdens rubropilosa*

As formigas do gênero *Atta* são consideradas espécies dominantes em ambientes neotropicais e popularmente conhecidas como saúvas (Hölldobler & Wilson, 1990). Quando em equilíbrio com o ambiente, são consideradas engenheiras do solo. Seus ninhos, subterrâneos, aumentam a fertilidade e permeabilidade do solo e acumulam matéria orgânica. As formigas são dispersoras de sementes e remodelam os cenários florestais. Devido à sua importância ecológica, as formigas atraem a atenção para os estudos de características biológicas e comportamentais (Montoya-Lerma et al., 2012). As formigas cortadeiras apresentam notável divisão de trabalho durante o forrageio e o cultivo do jardim do fungo simbiote, com a geração de recursos alimentares para a colônia (Hölldobler & Wilson, 1990).

As saúvas são consideradas cortadeiras de folhas de onde obtém seu alimento de distintas formas. O fungo que cultivam é a principal fonte de alimento para as larvas, enquanto que as operárias podem obter parte de sua dieta, através da seiva das folhas

durante o corte (Littledyke & Cherrett, 1976; Hubbell & Wiemer, 1983). Forti & Andrade (1999) afirmam que operárias de *Atta sexdens rubropilosa* ingerem líquidos durante as atividades de corte de folha e preparação do substrato. Essas formigas exploram grande número de espécies de plantas, por isso são consideradas herbívoras polífagas (Della Lucia, 1993, 2011). O tipo de vegetação explorada está relacionado com o tamanho das forrageiras. Para cortar folhas de planta daninha, por exemplo, as forrageiras menores são mais eficientes, entretanto, operárias grandes necessitam cortar folhas mais rígidas, como as de árvores (Forti et al. 2000).

A riqueza e composição de espécies de saúvas variam de acordo com a altitude, latitude e condições climáticas como temperatura e umidade, podendo também ser influenciada por características do habitat, como a estrutura da vegetação. Um habitat com maior complexidade de vegetação fornece maior disponibilidade de locais para nidificação e maior oferta de alimento (Albuquerque & Diehl, 2009). As operárias encontram os recursos por meio de busca intensa, caminhando na superfície do solo, explorando sempre novas fontes e partindo de trilhas físicas já estabelecidas ou saindo dos olheiros da rede de túneis subterrâneos construindo, assim, nova trilha ou não, em função da quantidade e qualidade desse recurso (Della-Lucia, 2011). O termo eussocial é conferido aos animais que compartilham três características: sobreposição de gerações em um mesmo ninho, cuidado cooperativo com a prole e divisão de trabalho. Como exemplo, podem ser citadas todas as formigas. Indivíduos dentro de uma casta (ou subcasta) frequentemente diferem no comportamento ou desempenham diferentes tarefas em tempos diferentes da sua vida (Wilson, 1986).

As espécies do gênero *Atta*, apresentam como característica taxonômica três pares de espinhos dorsais e são geralmente maiores em relação às formigas do gênero *Acromyrmex*, sendo que no aspecto ecológico e comportamental são parcialmente semelhantes (Della-Lúcia, 1993). A espécie *Atta sexdens* agrupa *Atta sexdens rubropilosa*, juntamente com *A. sexdens sexdens* e *A. sexdens priventris*. A espécie *Atta sexdens rubropilosa* se diferencia das outras espécies do gênero *Atta* por possuir a cabeça opaca e rugosa, e liberar aroma semelhante ao citral quando contraída a cápsula cefálica. A espécie *Atta sexdens rubropilosa*, também conhecida como saúva-limão, é considerada uma praga de grande importância na agricultura e silvicultura brasileira, causando danos principalmente às essências florestais como *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (Wilcken et al., 2000).

2.3 Estrutura e distribuição espacial

A distribuição espacial de organismos pertencentes a mesma população ou a diferentes populações é geralmente determinada pela disponibilidade de recursos, bem como habitats. A dispersão de insetos depende essencialmente da disponibilidade e distribuição de recursos e habitats, bem como de intervenções humanas feitas com diversas finalidades, dentre elas o estabelecimento de plantios agrícolas e florestais.

As distribuições probabilísticas discretas descrevem padrões ecológicos importantes para o contexto de configurações espaciais de espécies. Dentre elas a distribuição binomial descreve amostras com número fixo de sub amostras caracterizadas por variáveis categóricas ou numéricas que representam duas condições opostas, por exemplo sim/não, vivo/morto, espécie A/ espécie B, zero/um, sempre quando há necessidade de configurar sucesso/fracasso. A variância do modelo binomial é $Np(1-p)$ e na maioria das distribuições discretas, binomial, Poisson e Binomial negativa, a variância depende do número de amostras por unidade amostral. Quando o número de amostras por unidade amostral aumenta, a variância também aumenta, contudo o coeficiente de variação $\frac{pNp(1-p)}{(NP)} = \frac{p(1-p)}{NP}$ decresce. A dependência de $p(1-p)$ significa que a variância é menor quando p está próximo à zero ou a 1, e, portanto tendendo a zero ou N . A variância, em particular nos modelos de Poisson e Binomial negativo tem forte relação com a média, determinando padrões espaciais de distribuição a partir desta característica.

Distribuições bivariadas são úteis para analisar a variação conjunta da variável resposta e por meio da covariância é possível interpretar resultados indicando tendências unificadas ou opostas para a variação entre duas espécies, duas populações, enfim dois sistemas que coocorram, ou até mesmo coexistam. Covariância é uma medida de relação linear bivariada entre duas variáveis aleatórias. Assumindo x e y como duas variáveis, a covariância entre elas pode ser definida por $Cov(X,Y) = E[(x-E(x))(y-E(y))]$, sendo a covariância entre as duas variáveis igual a média de uma variável aleatória Z que por sua vez é o produto dos desvios de cada uma das duas variáveis x e y em relação as suas respectivas medias (Crawley, 2013). Sendo assim, a análise de covariância testa os principais efeitos e interações de variáveis categóricas, de uma variável dependente contínua, para controlar os efeitos de outras variáveis contínuas selecionadas, que covariam com a dependente.

Dentre as formas de analisar a distribuição de indivíduos para compreender a estrutura espacial estão os procedimentos da geoestatística. Geoestatística é uma ferramenta que utiliza o conceito de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial por meio da extração e organização espacial dos dados disponíveis de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados (Sciarretta & Trematerra, 2014).

As aplicações da geoestatística na entomologia existem a cerca de 30 anos, e os estudos pioneiros foram desenvolvidos a partir do final da década de 1980. O método da krigagem foi utilizado por Borth e Huber (1987) ao estudarem a distribuição espacial de *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera), e Schotzko e O'Keeffe (1989) no estudo do comportamento de *Lygus hesperus* (Hemiptera). Kemp et al. (1989) estudaram as relações espaciais entre dados de gafanhotos pela análise de semivariogramas e Liebhold et al. (1993) utilizaram a geoestatística para estimar a densidade de oviposição de *Lymantria dispar* (Lepidoptera).

A visualização da distribuição de indivíduos espacialmente pode ser apresentada por mapas de isolinhas (Sciarretta & Trematerra, 2014). Mapas de isolinhas são configurações espaciais por meio de curvas que conectam pontos de forma que a função tem um mesmo valor constante. As isolinhas são geralmente representadas em um mapa por linhas ou curvas, capazes de descrever a interseção de uma superfície real ou hipotética por meio de um ou mais planos horizontais (Sciarretta & Trematerra, 2014). A configuração das curvas permite a inferência sobre o gradiente relativo da variável para a estimativa de um valor em um lugar determinado. O gradiente da função é sempre perpendicular à isolinha. Quando as linhas estão muito próximas, a longitude do gradiente é grande: a variação é acentuada. Se as isolinhas adjacentes têm a mesma espessura de linha, a direção do gradiente não pode ser determinada e por isso são empregadas diferentes espessuras ou são notadas (rotuladas ou etiquetadas) numericamente: deste modo a direção do gradiente pode ser facilmente apreciada (Sciarretta & Trematerra, 2014).

2.4 Similaridade espacial na composição de espécies em áreas de ninhos de formigas

O mapeamento da biodiversidade em áreas colonizadas por formigas cortadeiras tem relevância para o conhecimento da distribuição da entomofauna em áreas

florestais e adjacências e também para o conhecimento de potenciais inimigos naturais de formigas cortadeiras (Araujo et al. 2015, Rodrigues et al. 2015). Estudos de caracterização faunística nestas áreas tornam-se ainda mais importantes em áreas ainda não estudadas, já que fornecem dados capazes de contextualizar cada vez mais a fauna local. A perda da biodiversidade tem alta relevância na análise ecológica de sistemas de vegetação como os investigados no presente estudo, sobretudo quando se considera áreas como por exemplo Cerrado e mata nativa, onde a descrição faunística está ainda em fase de caracterização para vários grupos, principalmente insetos. Particularmente neste cenário, a utilização de ferramentas que permitam avaliar a composição de espécies presentes em áreas contendo formigueiros, bem como sua associação com a estrutura local de vegetação, é de suma importância por várias razões, dentre elas a análise da diversidade de espécies com potencial para, de forma direta ou indireta, exercer algum impacto sobre a prevalência dos ninhos de formigas, sobretudo quando se tratar de inimigos naturais (Araujo et al. 2015, Rodrigues et al. 2015).

Referências

- Albuquerque, E. Z., Diehl, 2009. E. Análise faunística das formigas epígeas (Hymenoptera: Formicidae) em campo nativo no Planalto das Araucárias, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Entomologia*, 53: 398-403.
- Alho, C. J. R.; Martins, E. S., 1995. De grão em grão, o Cerrado perde espaço. Brasília: WWF, 66p.
- Almeida, A.F., Alves, J.E.M., Mendes Filho, J. M. A., Laranjeiro, A. J. 1983a. A avifauna e o sub-bosque como fatores auxiliares no controle biológico das saúvas em florestas implantadas. *Silvicultura* 8: 145-150.
- Almeida, A.F., Alves, J.E.M., Mendes Filho, J. M. A., 1983b. Manutenção de sub-bosque em florestas de *Eucalyptus urophylla* e a distribuição regular de porta-isca, visando o controle preventivo de saúvas (*Atta* spp.). *Silvicultura*, 8: p.142- 144.
- Aquino, F. de. G.; Aguiar, L. M. S.; Camargo, A. J. A.; Duboc, E.; Oliveira-Filho, E. C.; Parron, L. M. 2008. Sustentabilidade no Bioma Cerrado: visão geral e desafios. In: Parron, L. M.; Aguiar, L. M. S., Duboc, E.; Oliveira-Filho, E. C.; Camargo, A. J. A.; Aquino, F. G. Cerrado: desafios e oportunidades para o maior desenvolvimento sustentável. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 23-32.

- Araujo, M. S., C. A. Rodrigues, M. Oliveira, F. G. Jesus. 2015. Controle biológico de formigas-cortadeiras: o caso da predação de fêmeas de *Atta* spp. por *Canthon virens* Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, **2**: 8–12.
- Caldeira, M. A., Zanetti, R., Moraes, J. C., Zanuncio, J. C. 2005. Spatial distribution of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations. Cerne **11**:34-39.
- Copatti, C. E., Daudt, C. R. 2009. Diversidade de artrópodes na serapilheira em fragmentos de mata nativa e *Pinus elliottii* (Engelm. Var elliottii) Ciência e Natura, **31**: 95-113.
- Costa, E. C.; d'Avila, M.; Cantarelli, E. B.; Murari, A. B. 2001. Entomologia Florestal. Editora UFSM, Santa Maria, RS, 147p., 2001.
- Crawley, M. J. (2013) The R book. John Wiley & Sons Ltd.
- Della Lúcia, T.M.C. 1993. As formigas cortadeiras. Viçosa-MG: Folha de Viçosa,. p. 32-4.
- Della Lúcia, T. M. C. Formigas Cortadeiras, da bioecologia ao manejo. Editora UFV, Viçosa, 421 p. 2011.
- Dohm, C., Leal, I. R., Tabarelli, M., Meyer, S.T., Wirth, R. 2011. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? Journal of Tropical Ecology, **27**: 645–649.
- Ferri, M.G. 1975. Os Cerrados de Minas Gerais. Ciência e cultura, v: 1217-1220.
- Fiedler, N. C., Azevedo, I. N. C., Rezende A. V., Medeiros M. B., Venturoili, F. 2004. Efeito de Incêndios Florestais na Estrutura e Composição Florística de uma Área de Cerrado Sensu Stricto na Fazenda Água Limpa-DF. Revista Árvore, **28**: 129-138.
- Forti L.C., Andrade A.P.P. DE, Ramos V.M. 2000. Biologia e comportamento de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae): implicações no seu controle. Série Técnica, IPEF, **13**: 103-114.
- Forti L.C., Andrade A.P.P. 1999. Ingestão de líquidos por *Atta sexdens* (L.) (Hymenoptera:Formicidae) durante a atividade forrageira e na preparação do substrato em condições de laboratório. Naturalia, **24**: 61-63.
- Freitag, A. S. 2003 Crescimento de brotações de um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em função da disponibilidade de nutrientes no solo e da aplicação de fitoreguladores na cepa. Tese de doutorado, ESALQ USP.

- Hölldobler B. 1976. Recruitment behavior, home range orientation and territoriality in harvester ants, *Pogonomyrmex*. Behavioral Ecology and Sociobiology, 01:3-44.
- Hölldobler, B. & E. O. Wilson. 1990. The Ants. Cambridge, Harvard University Press, 732 p.
- Hubbell, S.P., Wiemer, D.F. 1983. Host plant selection by and attine ant. In: JAISSE, P., ed. Social insects on the tropics. Paris: Université Paris-Nord, 2:133-154.
- Juvenal, T. L.; Mattos, R. L. G. 2002. O setor florestal no Brasil e a importância do Reflorestamento. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 16: 3-30.
- Kemp, W. P.; Kalaris, T. M.; Quimby, W. F. 1989. Rangeland grasshopper (Orthoptera: Acrididae) spatial variability: macroscale population assessment. Journal of Economic Entomology, 82: 1270-1276.
- Kotchetkoff-Henriques, O. 2003 Caracterização da Vegetação Natural em Ribeirão Preto, SP - Bases para a Conservação. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 221p.
- Lasmar, O, Zanetti, R., Santos, A., Fernandes, B. B. 2012. Use of Geostatistics to Determine the Spatial Distribution and Infestation Rate of Leaf-Cutting Ant Nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* Plantations. Neotropical Entomology, 41: 321-332.
- Liebhold, A.M., Rossi, R.E., Kemp, W.P. 1993. Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. Annual Review of Entomology, 38: 303-327.
- Lima, C.A., Della Lucia, T.M.C., Silva, N.A. 2001. Formigas cortadeiras biologia e controle. Boletim de Extensão da Universidade Federal de Viçosa. Nº 44, 28 p.
- Littledyke, M. Cherrett, J.M. 1976. Direct ingestion of plant sap from cut leaves by the leaf-cutting ants *Atta cephalotes* (L.) and *Acromyrmex octospinosus* (Reich) (Formicidae, Attini). Bulletin of entomological research, 66:205-217.
- Machado, R. B., Ramos Neto, M. B., Pereira, P. G. P., Caldas, E. F., Gonçalves, D. A., Santos, N. S., Tabor, K., Steininger, M. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília: Conservação Internacional, 2004. (Relatório técnico).
- Mendonça, L. A. 2008. Geoestatística na amostragem sequencial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de mata atlântica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

- Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverrib, C., Armbrachta, I., Farjibrenerc, A., Calleb, Z. 2012. Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management*, 58: 225–247.
- Ribeiro, F. A.; Macedo, P. R. O., Mendes, C. J., Suiter-Filho, W. 1987. Projeto: “Segunda rotação de eucaliptos”. *Série Técnica IPEF*, 4:23 – 29.
- Rodrigues, M., M. Castellani, A. Moreira, M. D'Esquivel, E. Ribeiro, L. Forti, and S. Lacau. 2015. Natural Parasitism in *Acromyrmex landolti* Forel (Hymenoptera: Formicidae) in Pastures of Bahia, Brazil. *Sociobiology* 62:607-609.
- Schotzko, D.J., O'Keeffe, L.E. 1989. *Lygus hesperus* distribution and sampling procedures in lentils. *Environmental Entomology*, 18: 308-314.
- Sciarretta A., Trematerra P. 2014. Geostatistical tools for the study of insect spatial distribution: practical implications in the integrated management of orchard and vineyard pests. *Plant Protect. Sci.*, 50: 97–110.
- Silva, C. E. M. 2000. Desenvolvimento e sustentabilidade nos Cerrados: o caso do sertão norte-mineiro. In: Luz, C.; Dayrell, C. Cerrado e desenvolvimento: tradição e atualidade. Montes Claros, Centro de Agricultura Alternativa do Norte de Minas; Goiânia: Rede Cerrado, p. 273-309.
- Siqueira, F., Ribeiro-Neto, J., Tabarelli, M., Andersen, A., Wirth, R., Leal, I. 2017. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 33: 337–344.
- Sossai, M. F., Zanuncio, J. C., Leite, H. G., Zanetti, R., Serrão, J. E. 2005. Transects to estimate the number of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus urophylla* plantations. *Sociobiology*, 46: 667-676.
- Southwood, T. R. E.; Henderson, P. A. 2006. *Ecological Methods*, Blackwell Science, Victoria, Australia.
- Vasconcelos, H. L.; Vieira-Neto, E. H. M.; Mundim, F. M.; Bruna, E. M. 2006. Roads alter the colonization dynamics of a keystone herbivore in Neotropical savannas. *Biotropica*, 38: 661-665.
- Viana, V.M. 1990 Biologia e manejo de fragmentos florestais. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6, Campos do Jordão, 1990. Anais. Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura/Sociedade de Engenheiros Florestais. p. 113-118.
- Vilela, E. F., Zucchi, R. A. 2015. Pragas introduzidas no Brasil, insetos e ácaros. FEALQ, Piracicaba.908.

- Vital, M. H. F. 2007. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. *Revista do BNDES*, 14: 235-276.
- Wilcken, C. F.; Laranjeiro, A. J.; Louzada, R. M. 2000. Anais do 1º Simpósio do Cone Sul sobre Manejo de Pragas e Doenças do Pinus. *Série Técnica IPEF*, 13: 103-114.
- Wilson, E.O. 1986. The Defining Traits of Fire Ants and Leaf-Cutting Ants. In: Logfren, C.S.; Vandermeer, R. K. (Ed.). *Fire ants and leaf-cutting ants: biology and management*. Bouldier: Westview Press.
- Zanetti, R., Zanuncio, J. C., Vilela, E. F., Leite, H. G., Della Lucia, D. M. C., Couto, L. 1999. Efeito da espécie de eucalipto e da vegetação nativa circundante sobre o custo de combate a saúveiros em eucaliptais. *Revista Árvore*, 23: 311-320.
- Zanetti, R., Vilela, E. V., Zanuncio, J. C., Leite, H. G., Freitas, G. D. 2000. Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saúveiros em eucaliptais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 35: 1911-1918.
- Zardo, D. C., Carneiro, A. P., Lima, L. G., Santos Filho, M. 2010. Comunidade de artrópodes associada à serrapilheira de Cerrado e mata de galeria, na estação ecológica Serra das Araras – Mato Grosso, Brasil. *Revista Uniara*, 13: 105-113.

3 ESTATÍSTICA ESPACIAL E ESTRUTURA ETÁRIA EM NINHOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS*

Resumo

Neste estudo investigamos a agregação espacial de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* dentro e entre idades diferentes, ajustando modelos espaciais de distribuição de Poisson e Binomial Negativa aos dados de abundância de formigueiros, visando analisar a distribuição de ninhos de formigas em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. Investigamos também a correlação entre as abundâncias de ninhos e fatores climáticos, bem como entre diferentes idades de ninhos. Embora o mesmo padrão agregado tenha sido observado ao comparar ninhos de idades diferentes, a comparação dentro de idades resultou em ninhos velhos exibindo um padrão agregado e ninhos incipientes mostrando um padrão aleatório de distribuição, exceto para a mata nativa. Os níveis de agregação mudaram em resposta às diferentes áreas e gradientes de borda, com bordas mais externas mostrando maior agregação que as bordas internas. A temperatura foi a variável que mostrou mais alta correlação com a abundância de ninhos e a correlação entre ninhos de diferentes idades foi totalmente dependente das diferentes áreas.

Keywords: Estatística espacial; Agregação de ninhos em formigas cortadeiras; Idade de ninhos; Paisagens florestais

Abstract

In this study, we investigated the spatial aggregation of *Atta sexdens rubropilosa* nests between and within different ages, by fitting the spatial models Poisson and Negative binomial to the abundance of nests data, aiming to analyse the distribution of ant nests in eucalypt regrowth, Cerrado and native forest fragment. We also investigated the correlation between nest abundances and climatic factors, as well as different nest ages. Although the same aggregated pattern has been observed when comparing nests between different ages, the comparison within ages resulted in old nests exhibiting an aggregated pattern and incipient nests showing a random pattern of distribution, except for native forest. The aggregation levels changed in response to different areas and border gradients, with more external borders showing higher aggregation than more internal borders. Temperature was the variable showing the highest correlation with nest abundance whereas the correlation between nests of different ages depended totally on the different areas.

Keywords: Spatial statistics; Leaf cutting ant nest aggregation; Age of nests; Forest landscapes

* Artigo formatado como publicado no periodico Open Journal of Statistics, 2019, 9, 196-217 em atendimento às exigências do Programa de Pós Graduação em Entomologia e Acarologia. <http://www.scirp.org/journal/ojs> - ISSN Online: 2161-7198 - ISSN Print: 2161-718X

3.1 Introdução

Agregação espacial é um padrão de distribuição de ninhos de formigas cortadeiras já conhecido [1] [2]. Esse padrão está provavelmente associado com a disponibilidade de recursos, os quais são heterogeneamente distribuídos dentro dos habitats [3]. Consequentemente, formigas geralmente seguem padrões de distribuição caracterizados por áreas com altas densidades de ninhos e áreas com nenhum ninho ou poucos [1] [3]. Este padrão de distribuição é importante para formigas cortadeiras, por manter populações em áreas com alto potencial para exploração de recursos, já que assegura o sucesso na produção de prole e dispersão para novas áreas com recursos [1]. O sucesso dos ninhos é também influenciado por seu próprio desenvolvimento temporal [4]. Enquanto ninhos velhos são extremamente importantes para a produção de prole, a continuidade deles é absolutamente dependente de ninhos incipientes, já que ninhos são construídos por rainhas logo após o voo nupcial [5] [6]. Portanto, ninhos incipientes são de importância primordial, já que possibilitam a continuidade de colônias, assegurando a introdução de formigas cortadeiras em novas áreas. Naturalmente, ambos os ninhos, velhos ou incipientes, tem operárias responsáveis pelo corte de folhas em diferentes áreas [5]. Entretanto, o sucesso da continuidade das formigas cortadeiras em cada área depende essencialmente da sobrevivência dos ninhos incipientes [5] [6]. A continuidade das colônias de formigas também depende da habilidade dos insetos para explorar diferentes áreas, que por certo contém diferentes tipos de vegetação [7].

Formigas cortadeiras são insetos altamente polípagos [8] [9], portanto, capazes de cortar folhas de ampla variedade de plantas, incluindo plantas cultivadas e florestas plantadas [9]. A polifagia requer intenso movimento de formigas entre diferentes mosaicos agrícolas, florestas plantadas, florestas nativas e diferentes biomas [7] [10]. Porém, a mobilidade dos insetos difere entre castas. Operárias somente dispersam no solo, ao passo que rainhas atingem maiores distâncias porque após o vôo nupcial dispersam-se voando para novas áreas a fim de fundar novos ninhos [9]. O movimento de formigas procurando por recursos provavelmente incorre em custos, os quais se expressam por longos deslocamentos entre ninhos e as respectivas fontes alimentares [7]. Custos são expressos pelo tempo e energia gastos por operárias seja cortando, transportando folhas ou evitando riscos, como por exemplo a predação por inimigos naturais [7]. Sob essas circunstâncias, a presença de ninhos próximos às

bordas dos habitats contendo recursos facilita a aquisição de substrato alimentar, o que explicaria a agregação de ninhos comumente encontrada próxima a bordas [11].

Embora se reconheça a agregação espacial em florestas de eucalipto como padrão predominante para formigas cortadeiras, o Cerrado e a mata nativa, bem como suas respectivas bordas em alguma extensão, não há estudos sistemáticos disponíveis avaliando a influência da idade de ninhos sobre a agregação espacial destes insetos, levando em conta diferentes tipos de vegetação. No presente estudo, analisou-se o padrão de agregação espacial em diferentes idades de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa*, em áreas de rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. Particularmente, busca-se compreender como a estrutura etária de ninhos de formigas pode influenciar a agregação espacial de colônias, em diferentes sistemas de vegetação.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Áreas de estudo

Os dados foram coletados no município de Itatinga, São Paulo, Brasil, (23°10' S, 48°40'W), pelo registro semanal da abundância de ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa*, entre Março de 2016 e Fevereiro de 2017 em três áreas (Figura 1): rebrota de eucalipto (29,77 ha), Cerrado (14,56 ha) e mata nativa (44,37ha). A distância entre a rebrota de eucalipto e o Cerrado era de 638m, entre o Cerrado e a mata nativa 952m e entre a rebrota e a mata nativa de 622m. A topografia da área é plana, com solos do tipo latossolos e o neossolos quartzarênicos. A temperatura média anual é de 20°C, com média mínima de 30°C e máxima de 32°C e a precipitação média anual de 1350mm. As três áreas não receberam qualquer aplicação de inseticida durante a realização do estudo. A confirmação dos espécimes coletados como *Atta sexdens rubropilosa* foi feita no Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ-USP pelo Prof. Dr. Sinval Silveira Neto.

Figura 1. Estação experimental de Itatinga, São Paulo, Brasil, onde a distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa* foi investigada em áreas de rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa.

A rebrota de eucalipto contém plantações de *Eucalyptus urograndis*, um clone híbrido entre *E. grandis* e *E. urophylla*. As árvores têm 32 meses de idade e altura média de 7m. A rebrota de eucalipto consiste de prática de manejo bastante comum em empresas do ramo florestal, com vantagens no que diz respeito à otimização no estabelecimento de florestas novas. A área de estudo, rebrota de eucalipto, tem em sua vizinhança uma rodovia intermunicipal, um fragmento de mata nativa, plantios de eucalipto, sendo um ativo e outro abandonado (Fig.1). O Cerrado é uma vegetação do tipo savana, contendo árvores pequenas e bem espaçadas entre si, arbustos e esparsa vegetação de gramíneas. Essa área também tem vizinhança com a rodovia, um Cerradão, floresta tropical transicional, uma plantação de eucalipto e uma área de rebrota de eucalipto (Fig. 1). A mata nativa é uma área remanescente de vegetação natural, contendo floresta sazonal semi- decídua, Cerrado, brejo e uma zona de transição ecológica, além de grandes áreas com floresta em regeneração, espécies exóticas e mais frequentemente *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp. A área não tem sofrido colheita e as plantas não tem sido removidas desde 1940. A mata nativa tem vizinhança com plantação de *Eucalyptus* com periódicas colheitas, pequena área com café, banana e citros, além da rebrota de eucalipto (Fig. 1).

3.2.2 Parcelas

As áreas foram subdivididas em 207 parcelas, cada uma delas medindo 21 m x 24 m, totalizando 621 parcelas para todas as áreas (Figura 2).

Figura 2. Subdivisão das parcelas em cada área experimental

3.2.3 Estimativa da abundância de ninhos

A abundância de ninhos velhos e incipientes foi estimada para as três áreas. A delimitação de cada ninho velho foi baseada no volume de terra removida em cada ninho, seguindo a estimativa pelo método da área total, calculado pelo produto do maior comprimento pela maior largura de terra solta [12]. O critério para registro da abundância de ninhos incipientes foi baseado na presença de orifícios no solo com terra removida ao redor, que levavam à uma câmara subterrânea com profundidade entre 10 e 30 cm [6] [13]. Um tubo cilíndrico medindo 35 cm de comprimento por 2 mm de diâmetro foi usado para medir a profundidade do ninho incipiente.

3.2.4 Estatística para distribuição espacial

3.2.4.1 Fundamentação teórica

3.2.4.1.1 Distribuição de Poisson aplicada à abundância de ninhos

O modelo de Poisson descreve dados de contagem seguindo um padrão de distribuição aleatória, com a variância igual à média [14]. Diversos processos, principalmente em populações biológicas, mostram variância aumentando com a média, geralmente mais rápido que um processo linear. A média (m), é obtida da média amostral ($\bar{x}$) sendo determinada como $\frac{n}{N}$, a média aritmética da amostra, em que n é o número total de ninhos e N o número total de unidades amostrais, parcelas.

Sua variância (s^2) é

$$s^2 = \frac{\sum_0^x (x^2 F_x) - \bar{x}n}{N-1} \quad (1),$$

Em que, F_x é a frequência de ninhos, tendo $x = 0, 1, 2, 2, 4, \dots, z$ ninhos. A distribuição de Poisson pode ser aplicada para o atual estudo, distribuição de ninhos de formigas, assumindo que a probabilidade de encontrar x ninhos em cada unidade amostral é $P(x)$, onde $x = 0, 1, 2, 3 \dots, z$ ninhos é dada pela distribuição de Poisson [14] [15] [16], expressa como

$$P(x) = \frac{(m^x e^{-m})}{x!} \quad (2),$$

Em que, m é a media, o único parâmetro no modelo de Poisson, e é a base logarítmica natural e $x!$ é o fatorial de x . O parâmetro m pode ser estimado computando $\bar{x}$ a partir dos dados, como o número médio de ninhos por unidade amostral. É possível usar $\bar{x}$ como uma estimativa de m , a fim de obter as probabilidades de $x = 0, 1, 2, \dots, z$ ninhos por unidade amostral, como segue:

$$P(0) = e^{-\bar{x}} \quad (3),$$

$$P(1) = \bar{x}^1 \frac{e^{-\bar{x}}}{1!} \quad (4),$$

$$P(2) = \bar{x}^2 \frac{e^{-\bar{x}}}{2!} \quad (5),$$

$$P(3) = \bar{x}^3 \frac{e^{-\bar{x}}}{3!} \quad (6),$$

⋮

$$P(z) = \bar{x}^z \frac{e^{-\bar{x}}}{z!} \quad (7).$$

Como o modelo de Poisson é baseado em probabilidades, frequências esperadas são necessárias para serem comparadas com valores observados, a fim de verificar a acurácia do modelo. Assim, cada probabilidade é multiplicada pelo número total (N) de unidades amostrais. $E(x)$ determina as frequências esperadas de $x = 0, 1, 2, 3, 4, \dots, z$ ninhos por unidade amostral. As frequências esperadas de x podem ser escritas como:

$$E_0 = NP(0) \quad (8).$$

$$E_1 = NP(1) \quad (9).$$

$$E_2 = NP(2) \quad (10).$$

$$E_3 = NP(3) \quad (11).$$

$$\vdots$$

$$E_z = NP(z) \quad (12).$$

A acurácia do ajuste entre os dados e o modelo de Poisson pode ser verificada pelo uso do teste de Qui-quadrado, que determina quão bem as frequências esperadas ajustam-se às observadas.

3.2.4.1.2 Distribuição binomial negativa aplicada à abundância dos ninhos

A distribuição binomial negativa, também conhecida como distribuição agregada, é comumente usada para descrever populações agregadas [14,15], especialmente quando duas das condições associadas com o modelo de Poisson não são satisfeitas, ou seja, (1) cada unidade amostral tem igual probabilidade de ter um indivíduo e (2) a ocorrência de um indivíduo em uma unidade amostral não influencia sua ocupação por outro. Este cenário tende a resultar em populações exibindo variância maior que a média. Há dois parâmetros nesta distribuição, m , aqui expressando o número médio de ninhos por unidade amostral e k , o parâmetro estimador do grau de agregação. Como apresentado no modelo de Poisson, o modelo Binomial negativo leva em conta a probabilidade de x ninhos em uma unidade amostral e, portanto, pode também ser visto como uma distribuição de frequência expressando o número de unidades amostrais com 0, 1, 2, 3, ..., z [14] [15] [16], escrito como

$$P(x) = \left[\left(\frac{m}{m+k} \right)^x \frac{\{(k+x-1)!\}}{[x!(k-1)!]} \right] \left[1 + \left(\frac{m}{k} \right) \right]^{-k} \quad (13).$$

O parâmetro k determina o grau de agregação, tendendo à zero no máximo nível de agregação. A estimativa para k pode ser obtida com a seguinte expressão iterativa (eq. 14), usando como primeiro valor para a iteração o resultado obtido de $\hat{k} = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}}$.

$$\log_{10} \left(\frac{N}{N_0} \right) = \hat{k} \log_{10} \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right] \quad (14),$$

Em que N é o número total de unidades amostrais na amostra e N_0 o número de unidades amostrais com zero ninhos. Com $\bar{x}$ e $\hat{k}$ estimados, as probabilidades de encontrar x ninhos em uma unidade amostral podem ser computadas como

$$P(0) = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right]^0 \left[\frac{(\hat{k} + 0 - 1)!}{0!(\hat{k} - 1)!} \right] \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right]^{-\hat{k}} = \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right]^{-\hat{k}} \quad (15),$$

$$P(1) = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right]^1 \left[\frac{(\hat{k} + 1 - 1)!}{1!(\hat{k} - 1)!} \right] \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right]^{-\hat{k}} = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right] \left(\frac{\hat{k}}{1} \right) P(0) \quad (16),$$

$$P(2) = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right]^2 \left[\frac{(\hat{k} + 2 - 1)!}{2!(\hat{k} - 1)!} \right] \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right]^{-\hat{k}} = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right] \left(\frac{\hat{k} + 1}{2} \right) P(1) \quad (17),$$

⋮

$$P(z) = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right]^z \left[\frac{(\hat{k} + z - 1)!}{z!(\hat{k} - 1)!} \right] \left[1 + \left(\frac{\bar{x}}{\hat{k}} \right) \right]^{-\hat{k}} = \left[\frac{\bar{x}}{(\bar{x} + \hat{k})} \right] \left(\frac{\hat{k} + z - 1}{z} \right) P(z - 1) \quad (18).$$

O número esperado de unidades amostrais contendo x ninhos é obtido seguindo os mesmos passos nas equações 8 à 12 e o teste de acurácia do ajuste segue o mesmo procedimento aplicado para o modelo de Poisson.

3.2.5 Aplicação

A distribuição de frequência de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* foi ajustada aos modelos de distribuição Binomial negativa e de Poisson a fim de determinar se a distribuição espaço-temporal de ninhos velhos e incipientes seguia um padrão agregado ou aleatório. O número de ninhos por unidades amostrais (parcelas) foi reconhecido como uma distribuição de frequência, descrita como o número de parcelas com 0, 1, 2, 3, ... n ninhos. O parâmetro k da distribuição binomial negativa foi usado para estimar o nível de agregação de ninhos quando os dados ajustavam-se ao modelo Binomial negativo. O valor de k indica o mais alto grau de agregação próximo à zero. O parâmetro k foi calculado seguindo a estimativa de verossimilhança máxima para agregação como a melhor estimativa para k . Os ajustes dos modelos aos dados foram testados pela estatística de Pearson χ^2 [14].

A distribuição de ninhos de formigas foi analisada levando em conta duas dimensões, tempo e espaço. Para investigar a influência do tempo sobre os padrões de distribuição dos ninhos, a abundância registrada semanalmente foi

sequencialmente examinada para verificar a variação dos valores ao longo do tempo para ninhos velhos e incipientes. A avaliação dos valores no tempo, considerando mudanças consistentes com regressões de Poisson e também com as estimativas da abundância de ninhos seguindo a metodologia de mensuração apresentada no item 2.3, não evidenciou alterações significativas, a não ser entre as abundância extremas, representadas pela primeira e última semana (41^a). Então, os modelos de distribuição Binomial negativa e de Poisson foram ajustados à frequência observada de ninhos na 1^a e 41^a semanas e os padrões de distribuição nos dois tempos foram comparados. A investigação da influência do espaço sobre os padrões de distribuição foi feita comparando as três áreas de coleta de dados, com os dois modelos, levando em conta cada área total e as respectivas bordas. As áreas também foram analisadas subdividindo-as em cinco bordas, de fora para dentro, classificadas como: borda externa, segunda, terceira, quarta, e centro (Figura 3).

Figura 3. Esquema para a análise espacial de bordas

As correlações entre a abundância total de ninhos velhos e incipientes, suas respectivas temperaturas e umidades relativas, bem como ninhos de diferentes áreas com diferentes idades foram analisadas usando o teste de correlação de Spearman, considerando a ausência de normalidade dos dados, avaliada com o teste Shapiro-Wilk. Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote estatístico R (RCore Team, 2013).

3.3 Resultados

A distribuição espacial de *Atta sexdens rubropilosa* diferiu marcadamente entre as três áreas investigadas (Figs. 4, 5, 6). A maior abundância de ninhos foi encontrada na rebrota de eucalipto (Figs. 4a, b), seguida pelo Cerrado (Figs. 5a, b). Contudo, no Cerrado os ninhos foram observados muito mais deslocados em direção à rebrota de eucalipto se comparados à mata nativa. Em contraste, na mata nativa os ninhos velhos apareceram na borda com a área de colheita de eucalipto (Fig. 6a) e os incipientes próximo à rebrota de eucalipto e plantação de eucalipto (Fig. 6b).

Figura 4. Distribuição espacial de ninhos velhos (a) e incipientes (b) de *Atta sexdens rubropilosa* na rebrota de eucalipto

Figura 5. Distribuição espacial de ninhos velhos (a) e incipientes (b) de *Atta sexdens rubropilosa* no Cerrado

Figura 6. Distribuição espacial de ninhos velhos (a) e incipientes (b) de *Atta sexdens rubropilosa* na mata nativa

O número médio de ninhos por hectare diferiu entre as áreas, com a rebrota de eucalipto mostrando a mais alta abundância, 34,89 ninhos por hectare, seguido pela mata, com 13,13/ha e o Cerrado com 7,76/ha. A distribuição espacial de colônias, comparando ninhos velhos e incipientes em dois tempos, 1ª e 41ª semanas, seguiu

um padrão agregado dado pelo modelo Binomial negativo, com pequenas diferenças em k , o parâmetro de agregação (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes na rebrota de eucalipto, com observações na 1ª e 41ª semanas (NB: distribuição binomial negativa)

Ninhos Velhos			Ninhos incipientes		
Estimativas	1ª Semana	41ª Semana	Estimativas	1st Semana	41st Semana
$\bar{x}$	1,7	1,88	$\bar{x}$	1,15	0,39
s^2	11,9	10,7	s^2	5,01	1,13
<i>Modelo:</i>	NB	NB	<i>Modelo:</i>	NB	NB
χ^2	20,1	21,9	χ^2	20,2	3,8
df	14	13	df	13	3
k	0,23	0,33	k	0,29	0,17

$\bar{x}$ = media, s^2 = variância, df = graus de liberdade, k = parâmetro de agregação, $p < 0,05$

Tabela 2. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes no Cerrado, com observações na 1ª e 41ª semanas (NB: distribuição binomial negativa)

Ninhos velhos			Ninhos incipientes		
Estimativas	1ª Semana	41ª Semana	Estimativas	1st Semana	41st Semana
$\bar{x}$	0,44	0,55	$\bar{x}$	0,64	0,06
s^2	2,54	3,53	s^2	3,11	0,07
<i>Modelo:</i>	NB	NB	<i>Modelo:</i>	NB	NB
χ^2	6,95	15	χ^2	14,2	0,03
df	11	13	df	12	2
k	0,08	0,08	k	0,14	0,17

$\bar{x}$ = media, s^2 = variância, df = graus de liberdade, k = parâmetro de agregação, $p < 0,05$

Tabela 3. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes na mata nativa, com observações na 1ª e 41ª semanas (NB: distribuição binomial negativa)

Estimativas	1ª Semana	41ª Semana	Estimativas	1st Semana	41st Semana
Ninhos velhos			Ninhos incipientes		
$\bar{x}$	0,54	0,70	$\bar{x}$	0,67	0,69
s^2	5,35	6,69	s^2	6,69	6,64
<i>Modelo:</i>	NB	NB	<i>Modelo:</i>	NB	NB
χ^2	7,56	8,63	χ^2	12,21	1,42
df	16	16	df	10	14
k	0,05	0,06	k	0,21	0,07

$\bar{x}$ = media, s^2 = variância, df = graus de liberdade, k = parâmetro de agregação, $p < 0,05$

A comparação entre os padrões de distribuição espacial na rebrota de eucalipto e no Cerrado, considerando somente o espaço, mostrou na maioria dos casos uma distribuição agregada para ninhos velhos, confirmada pelo ajuste dos dados à distribuição Binomial negativa e um padrão de distribuição aleatória para ninhos incipientes, confirmado pelo ajuste dos dados à distribuição de Poisson. A exceção ficou para a mata nativa, que exibiu o padrão agregado tanto para ninhos velhos como incipientes (Tabelas 4, 5 e 6).

Tabela 4. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto, levando em conta todos os ninhos da área e cada uma das bordas de fora para dentro

Rebrota de eucalipto			
Ninhos velhos		Ninhos incipientes	
$\bar{x} = 1,36$		$\bar{x} = 0,80$	
$s^2 = 8,48$		$s^2 = 0,77$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Poisson	
$\chi^2 = 4,2$		$\chi^2 = 2,2$	
$P < 0,05$ df = 14		$P < 0,01$ df = 3	
$k = 0,22$			
<hr/>			
Borda externa			
$\bar{x} = 1,33$		$\bar{x} = 0,63$	
$s^2 = 11,8$		$s^2 = 0,78$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Binomial negativo	
$\chi^2 = 4,61$		$\chi^2 = 4,12$	
$P < 0,05$ df = 9		$P < 0,05$ df = 2	
$k = 0,14$		$K = 2,30$	
<hr/>			
Segunda borda			
$\bar{x} = 1,01$		$\bar{x} = 0,6$	
$s^2 = 7,34$		$s^2 = 0,6$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Poisson	
$\chi^2 = 0,22$		$\chi^2 = 0,008$	
$P < 0,05$ df = 11		$P < 0,01$ df = 2	
$k = 0,14$			
<hr/>			
Terceira borda			
$\bar{x} = 2,17$		$\bar{x} = 0,89$	
$s^2 = 14,49$		$s^2 = 0,79$	
$\chi^2 = 1,77$		$\chi^2 = 0,32$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Poisson	
$P < 0,05$ df = 132		$P < 0,01$ df = 2	
$k = 0,32$			
<hr/>			
Quarta borda			
$\bar{x} = 1,91$		$\bar{x} = 0,77$	
$s^2 = 9,84$		$s^2 = 0,66$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Poisson	
$\chi^2 = 0,49$		$\chi^2 = 1,84$	
$P < 0,05$ df = 8		$P < 0,01$ df = 2	
$k = 0,38$			
<hr/>			
Centro			
$\bar{x} = 2,43$		$\bar{x} = 1,01$	
$s^2 = 8,26$		$s^2 = 0,71$	
Modelo: Binomial negativo		Modelo: Poisson	
$\chi^2 = 0,17$		$\chi^2 = 1,92$	
$P < 0,05$ df = 6		$P < 0,01$ df = 2	
$k = 0,85$			
<hr/>			

Tabela 5. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes no Cerrado, levando em conta todos os ninhos da área e cada uma das bordas de fora para dentro

Cerrado	
Ninhos Velhos	Ninhos incipientes
$\bar{x} = 0,45$ $s^2 = 2,76$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 3,46$ $P < 0,05$ $df = 13$ $k = 0,07$	$\bar{x} = 0,20$ $s^2 = 0,17$ <i>Modelo: Poisson</i> $\chi^2 = 3,04$ $P < 0,01$ $df = 2$
<i>Borda externa</i>	
Sem ninhos	$\bar{x} = 0,12$ $s^2 = 0,10$ <i>Modelo: Poisson</i> $\chi^2 = 0,1$ $P < 0,01$ $df = 2$
<i>Segunda borda</i>	
Sem ninhos	$\bar{x} = 0,09$ $s^2 = 0,08$ <i>Modelo: Poisson</i> $\chi^2 = 0,05$ $P < 0,01$ $df = 2$
<i>Terceira borda</i>	
$\bar{x} = 1,14$ $s^2 = 8,68$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,45$ $P < 0,05$ $df = 13$ $k = 0,14$	$\bar{x} = 0,29$ $s^2 = 0,21$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 1,23$ $P < 0,01$ $df = 2$
<i>Quarta borda</i>	
$\bar{x} = 0,64$ $s^2 = 2,46$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,02$ $P < 0,05$ $df = 5$ $k = 0,18$	$\bar{x} = 0,34$ $s^2 = 0,23$ <i>Modelo: Poisson</i> $\chi^2 = 1,56$ $P < 0,01$ $df = 2$
<i>Centro</i>	
$\bar{x} = 0,64$ $s^2 = 0,86$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,0002$ $P < 0,05$ $df = 2$ $k = 2,23$	$\bar{x} = 0,26$ $s^2 = 0,21$ <i>Modelo: Poisson</i> $\chi^2 = 0,31$ $P < 0,01$ $df = 2$

Tabela 6. Padrões de distribuição espacial de ninhos velhos e incipientes em mata nativa, levando em conta todos os ninhos da área e cada uma das bordas de fora para dentro

Mata nativa	
Ninhos velhos	Ninhos incipientes
$\bar{x} = 0,61$ $s^2 = 6,18$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 3,18$ $P < 0,05$ $df = 16$ $k = 0,06$	$\bar{x} = 0,09$ $s^2 = 0,23$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 4,5$ $P < 0,01$ $df = 4$ $k = 0,24$
<i>Borda externa</i>	
$\bar{x} = 0,61$ $s^2 = 6,18$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 1,64$ $P < 0,05$ $df = 16$ $k = 0,14$	$\bar{x} = 0,64$ $s^2 = 0,84$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 7,95$ $P < 0,01$ $df = 4$ $k = 2,11$
<i>Segunda borda</i>	
$\bar{x} = 0,92$ $s^2 = 6,62$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,24$ $P < 0,05$ $df = 10$ $k = 0,12$	$\bar{x} = 0,24$ $s^2 = 0,45$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,23$ $P < 0,01$ $df = 2$ $k = 0,46$
<i>Terceira borda</i>	
$\bar{x} = 0,09$ $s^2 = 0,23$ <i>Modelo: Binomial negativo</i> $\chi^2 = 0,001$ $P < 0,05$ $df = 2$ $k = 0,05$	Sem ninhos
<i>Quarta borda</i>	
Sem ninhos	Sem ninhos
<i>Centro</i>	
Sem ninhos	Sem ninhos

A análise dos padrões de distribuição espacial em ninhos velhos, levando em conta as bordas sequenciais de fora para dentro indicou um nível decrescente de agregação (estimada pelo parâmetro k) na rebrota de eucalipto (Tabela 4). Visto que os ninhos incipientes mostraram uma distribuição aleatória, dada pela distribuição de Poisson (Tabela 4), eles não foram considerados na comparação com o parâmetro k . Ninhos velhos no Cerrado mostraram um padrão de distribuição agregada, embora as duas bordas mais externas não tenham tido ninhos presentes (Tabela 5). O centro mostrou um valor de k mais alto, 2,23, indicando perda de agregação das bordas mais externas

para o centro da área (Tabela 5). Os ninhos incipientes no Cerrado mostraram um padrão de distribuição aleatória para todas as bordas (Tabela 5).

Os ninhos velhos na mata nativa mostraram um padrão agregado, entretanto as localizações mais internas não exibiram ninhos (Tabela 6). Os ninhos incipientes também mostraram distribuição agregada, embora os valores de k sejam mais altos que os encontrados para ninhos velhos (Tabela 6). As localizações mais centrais da mata nativa não apresentaram ninhos (Tabela 6).

Há uma alta e significativa correlação entre o número de formigueiros e a temperatura para ninhos velhos na rebrota de eucalipto (Coeficiente de correlação de Spearman, $\rho = 0,79$, $p < 0,001$). A umidade relativa (UR) também esteve significativamente correlacionada ($p < 0,02$) com a abundância total de ninhos velhos na rebrota de eucalipto, com $\rho = 0,42$ e, portanto, indicando correlação moderada. Em ninhos incipientes a correlação entre abundância e temperatura foi também significativa ($p < 0,05$), indicando correlação moderada ($\rho = 0,36$). Porém, a correlação entre o número de ninhos em rebrota e a umidade relativa não foi significativa ($p < 0,05$). Também a correlação entre a abundância de ninhos velhos e incipientes na rebrota de eucalipto não foi significativa ($p > 0,05$). Em ninhos velhos no Cerrado, a abundância foi correlacionada com a temperatura exibindo alta significância ($\rho = 0,8$, $p < 0,001$), mas a umidade relativa não foi correlacionada com a abundância ($p > 0,05$). A comparação entre ninhos velhos e incipientes no Cerrado indicou ausência de significância na correlação ($p > 0,05$). Na mata nativa, a correlação entre o número de ninhos velhos e a temperatura foi altamente significativa ($p < 0,001$) com $\rho = 0,83$, mas a umidade relativa não foi correlacionada ($p > 0,05$). Já para ninhos incipientes, tanto a temperatura como a umidade foram altamente correlacionadas ($p < 0,001$), exibindo os respectivos valores de $\rho = 0,7$ e $\rho = 0,47$. Ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* foram significativamente correlacionados entre si na mata nativa, com alta correlação ($p < 0,001$, $\rho = 0,86$).

A análise de correlação entre ninhos de diferentes áreas indicou que ninhos velhos são significativamente correlacionados entre si ao contrastar rebrota de eucalipto com Cerrado, rebrota com mata nativa e Cerrado com mata nativa (Tabela 7). O estudo da associação entre ninhos incipientes de diferentes áreas não resultou em correlações significativas (Tabela 7). Já a correlação entre ninhos velhos e incipientes foi significativa nas combinações: ninhos velhos da rebrota de eucalipto com ninhos incipientes na mata nativa, ninhos velhos do Cerrado com ninhos incipientes da

rebrotas de eucalipto e ninhos velhos do Cerrado com ninhos incipientes da mata nativa (Tabela 7). Por outro lado, as correlações entre ninhos velhos da rebrota com incipientes do Cerrado, incipientes da rebrota com velhos da mata nativa e incipientes do Cerrado com velhos da mata nativa não foram significativas (Tabela 7).

Tabela 7. Correlações para ninhos de formiga velhos e incipientes em combinações entre áreas

Velho com Velho		
Combinação entre áreas	Resultado da correlação	Coeficiente de correção e significância
Rebrota de eucalipto × Cerrado	Sim	0.86 ($p < 0.001$)
Rebrota de eucalipto × Mata nativa	Sim	0.91 ($p < 0.001$)
Mata nativa × Cerrado	Sim	0.90 ($p < 0.001$)
Incipiente com incipiente		
Combinação entre áreas	Resultado da correlação	Coeficiente de correção e significância
Rebrota de eucalipto × Cerrado	Não	Ns (não significativo)
Rebrota de eucalipto × Mata nativa	Não	Ns
Mata nativa × Cerrado	Não	Ns
Velho com incipiente		
Combinação entre áreas	Resultado da correlação	Coeficiente de correção e significância
Rebrota (velho) × Cerrado (incipiente)	Não	Ns
Rebrota (velho) × Mata nativa (incipiente)	Sim	0.79 ($p < 0.001$)
Mata nativa (velho) × Cerrado (incipiente)	Não	Ns
Rebrota (incipiente) × Cerrado (velho)	Sim	-0.35 ($p < 0.001$)
Rebrota (incipiente) × Mata nativa (velho)	Não	Ns
Mata nativa (incipiente) × Cerrado (velho)	Sim	0.69 ($p < 0.001$)

3.4 Discussão

A rebrota de eucalipto exibiu a abundância mais alta de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa*. Os altos números de formigas cortadeiras em áreas de plantio de eucalipto resultam geralmente em perda econômica significativa para o setor florestal [2]. O dano é facilmente visível e bem documentado em florestas brasileiras de eucalipto, porém é de difícil percepção no Cerrado [17], embora a presença de saueiros seja extensamente documentada em avaliações regularmente realizadas neste bioma [17] [18]. A presença de ninhos no Cerrado traz recursos temporários significativos para formigas na transição para novas colonizações em áreas de eucalipto, principalmente no caso de áreas vizinhas. Sob essas condições o Cerrado pode agir como uma área de refúgio para as formigas durante os períodos de colheita em florestas plantadas de eucalipto, sobretudo em áreas vizinhas, como já verificado para outras espécies de insetos [19] [20].

A relevância das áreas de refúgio tem sido intensamente discutida em diferentes contextos [19] [20], mas não como recursos alternativos para formigas vivenciando ausência temporária de eucalipto como consequência de colheita. Os plantios de

eucalipto no Brasil tem rápidos períodos de colheita em resposta à crescente demanda para utilização de árvores jovens, graças à intensa seleção de clones [21]. Esta demanda resulta em rotação sistemática de árvores em áreas de eucalipto, razão pela qual ninhos de formigas cortadeiras são geralmente agregados nas bordas, especialmente entre mata nativa e plantios de eucalipto, ou Cerrado e eucalipto. Com a rotatividade de árvores nas áreas, o número de folhas disponíveis para suprimento dos ninhos decresce drasticamente e os ninhos incipientes podem ser rapidamente eliminados, o que aumenta o risco da continuidade das populações de formigas nas áreas. Entretanto, os ninhos velhos persistem facilmente até os plantios subsequentes utilizando outros recursos. Uma variedade de recursos pode ser obtida pelas operárias de ninhos velhos, já que são capazes de forragear em distâncias maiores que as formigas de ninhos incipientes [22].

Diferentes plantas exploradas pelo mesmo organismo levantam questões sobre a escolha de recursos. A escolha de plantas por formigas é importante e pode influenciar o sucesso do ninho, especialmente em casos de disponibilidade de plantas para longos períodos de tempo [23]. Há evidências que a contínua disponibilidade de plantas específicas influencia a preferência em formigas [23] e esta tendência pode ser importante no cenário de monoculturas. Muitos fatores são geralmente responsáveis pela preferência por plantas em formigas cortadeiras e a comunicação química está certamente envolvida no comportamento de escolha [24] [25] [26]. Particularmente em eucalipto, óleos essenciais são provavelmente importantes, como aleloquímicos na determinação da escolha de plantas a serem atacadas por formigas [27]. Embora não saibamos a exata causa da atratividade ao eucalipto por formigas, nossos resultados claramente indicam uma influência significativa deste tipo de vegetação sobre a distribuição de *Atta sexdens rubropilosa*. O número médio de ninhos por hectare foi 34,89 em rebrota de eucalipto, 13,13 em mata nativa e 7,76 no Cerrado. Este resultado provavelmente reflete a atratividade das folhas de eucalipto às formigas.

Os resultados das comparações entre ninhos em diferentes idades sugere que colônias da 1ª e 41ª semanas mostram o mesmo padrão de distribuição. Tanto ninhos velhos como incipientes mostram distribuição agregada. Ninhos de diferentes idades são esperados exibir padrões similares de distribuição, pelo menos em alguma extensão. Recursos podem ser compartilhados por formigas de ninhos incipientes e velhos, provavelmente com base em experiências recentes de ninhos bem sucedidos.

Quando rainhas fundam novos ninhos após o vôo nupcial, diversos fatores podem influenciar o comportamento de escolha em relação aos melhores locais para colônias bem sucedidas. Quando colônias bem sucedidas são localizadas próximas umas às outras, pode-se assumir que as condições favoráveis localmente contribuem com o alto grau de agregação observado.

Soares & Schoereder [28] propuseram três fatores para explicar a agregação de ninhos após investigarem a distribuição deles em *Brachymyrmex* sp., *Hypoponera* sp., *Pheidole* sp. e *Solenopsis* sp. A agregação de microhabitats adequados, a fundação de colônias e as interações mutualísticas poderiam estar envolvidas nestas áreas a agregação de ninhos em florestas tropicais [28]. A combinação destes fatores com a disponibilidade de áreas potencialmente favoráveis ao sucesso de colônias iniciais poderia, pelo menos em parte, explicar o alto potencial para sucesso dos ninhos.

A comparação entre os padrões de distribuição de ninhos considerando somente o espaço resultou no encontro de distribuição agregada para ninhos velhos e distribuição aleatória para ninhos incipientes. Os padrões agregados em ninhos tem sido observados em estudos prévios, delineados para avaliar a distribuição espacial de formigas cortadeiras em áreas florestais e de Cerrado [17] [18]. O delineamento experimental foi proposto para comparar diferentes áreas e ninhos de formigas, mostrando que ninhos velhos tendem muito mais a serem altamente agregados que os incipientes, que exibiram padrão de distribuição aleatório na maioria dos casos. Estes resultados estão provavelmente associados com a distribuição de densidades de formigas e a frequência de ninhos vazios.

Portanto, a distribuição de ninhos está totalmente associada com a distribuição dos recursos [3] [29]. A distribuição de recursos dentro das áreas determina a distribuição de formigas, que provavelmente desenvolvem estratégias para atingir os itens alimentares [29] [30]. Estratégias de forrageio estão certamente ligadas à disponibilidade de recursos, fator esse estreitamente associado com os tipos diferentes de vegetação [31]. A disponibilidade de recursos provavelmente influencia muito mais os ninhos incipientes que os novos. Os ninhos incipientes podem ser altamente transitórios se comparados aos mais velhos e conseqüentemente altamente susceptíveis à extinção local. Esta condição poderia explicar a distribuição aleatória observada em ninhos incipientes, caracterizada por ausência de agregação e baixas densidades.

Diversos fatores ambientais influenciam o estabelecimento de ninhos incipientes em diferentes áreas, além dos aspectos fisiológicos e comportamentais que podem afetar a instalação deles, como por exemplo, o esforço inicial empreendido por rainhas cultivando o fungo simbiote [32]. Esta ação requer alto consumo de reservas energéticas e também a rejeição de substratos inadequados para o crescimento do fungo [32]. Estes aspectos provavelmente estão implicados no aumento de custos para a dispersão de rainhas após o vôo nupcial [6] [32]. Além disso, as rainhas procuram locais adequados para instalar novos ninhos, deslocando-se diferentes distâncias e enfrentando riscos significativos para a própria sobrevivência [33]. Os riscos podem reduzir a viabilidade de rainhas, influenciando a densidade de ninhos, o que poderia contribuir com os baixos níveis de agregação em ninhos incipientes.

A análise do gradiente de bordas mostrou influencias significativas das bordas sobre a distribuição de ninhos, com as mais externas indicando a presença de ninhos mais agregados que as colônias situadas mais internamente na área de estudo. As bordas externas, nas quais o eucalipto estava presente concentraram muito mais ninhos que as partes internas, especialmente na mata nativa, seguida pelo Cerrado. Há estudos mostrando maiores densidades de formigas próximas às bordas florestais [34] [35]. Os padrões de distribuição de ninhos nas bordas seguiram os padrões gerais obtidos para a área total, com poucas exceções, como observado na borda mais externa para ninhos incipientes na rebrota de eucalipto. Contudo, particularmente neste caso observamos um valor mais alto de k , ou seja 2,3, sugerindo que embora os dados tenham se ajustado ao modelo de distribuição binomial negativa, o nível de agregação foi mais baixo que em outras bordas. Estes resultados estão provavelmente associados com o número mais baixo de unidades amostrais sem nenhum ninho encontrado nesta borda. No Cerrado, as duas bordas mais externas não tiveram colônias e na mata nativa as cinco bordas mais internas também não, fossem ninhos velhos ou incipientes. Das três áreas, a rebrota de eucalipto teve, proporcionalmente, o menor número de parcelas vazias.

Temperatura foi mais correlacionada com a abundância de ninhos velhos ou incipientes do que umidade. Embora ambas variáveis sejam de extrema importância para formigas cortadeiras, temperatura parece ser a variável climática mais crítica [36] [37]. Há evidências indicando que a regulação da temperatura pode auxiliar no controle de umidade, prevenindo assim a desidratação do fungo simbiote e dos insetos imaturos [37]. As formigas são também capazes de transferir ninhos em

resposta às altas temperaturas [38] e em escala mais ampla a temperatura do ar influencia até padrões de isolinhas de distribuição. Ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* foram significativamente e altamente correlacionados entre si somente em mata nativa. Este resultado poderia ser explicado pela proximidade entre os ninhos. Os ninhos estavam presentes somente nas bordas da mata nativa devido à proximidade que a área tinha com plantios de eucalipto. A preferência de formigas cortadeiras por eucalipto explica a alta densidade de ninhos nesta área (bordas) e a baixa abundância na mata nativa como um todo. A mata nativa tem vegetação muito mais heterogênea que monoculturas, o que influencia significativamente a distribuição dos ninhos [40].

Os ninhos incipientes não mostraram diferença significativa entre as áreas e este resultado pode ser explicado pela homogeneidade na baixa ocorrência deles. Ninhos incipientes contêm baixa abundância e diversidade de castas, com uma intensa carga de tarefas atribuídas à rainha [41]. O período de fundação de ninhos é certamente o momento da mais alta vulnerabilidade à predação, parasitismo, competição e fatores ambientais sobre as formigas cortadeiras, que necessitam cultivar intensamente o fungo simbiote para o estabelecimento de novos ninhos [42]. Esta condição é muito diferente dos ninhos velhos, que geralmente dispõe de melhores condições para a estabilidade do formigueiro, com tarefas distribuídas entre as diferentes castas, aliviando muito a carga de trabalho sobre as rainhas e, conseqüentemente, mitigando assim os riscos para o estabelecimento de ninhos [13].

A correlação combinando ninhos velhos e incipientes de diferentes áreas foi significativa. Os resultados sugerem um papel importante dos ninhos velhos na área de rebrota de eucalipto, provavelmente por proverem prole e recursos iniciais para os novos ninhos na mata nativa. Os ninhos velhos no Cerrado possivelmente proveem o mesmo para a área de rebrota e o mesmo deve ocorrer no Cerrado, na contribuição com ninhos incipientes na mata nativa. A vizinhança entre áreas parece ser característica importante para a transferência de insetos e recursos entre áreas e nesse sentido as bordas parecem desempenhar papel importante no sucesso das formigas cortadeiras [13,43]. Em particular, nesse estudo os resultados claramente mostraram o papel destas áreas como refúgio para formigas na ausência ou baixa densidade de eucalipto. Nossos resultados mostraram mais altas densidades de ninhos em rebrota de eucalipto, se comparada com mata nativa e Cerrado e mais alta densidade deles em áreas próximas às bordas que em áreas internas, principalmente

em vizinhanças de plantios de eucalipto. A presença de ninhos nas bordas da mata nativa reflete a influência do eucalipto sobre a abundância de formigas na área.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pela bolsa concedida à DMFC. WACG tem sido subsidiado parcialmente pelo CNPq para o desenvolvimento de pesquisa. Agradecemos também ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ e aos funcionários da Estação Experimental de Itatinga por todo o suporte de campo destinado ao projeto.

Referências

1. Ramos, V., Forti, L., Andrade, A., Noronha, N., Camargo, R. (2008) Density and spatial distribution of *Atta sexdens rubropilosa* and *Atta laevigata* colonies (Hym., Formicidae) in *Eucalyptus* spp. forests. *Sociobiology*, **51**, 775–781.
2. Zanetti, R., Zanuncio, J., Santos, J., da Silva, W., Ribeiro, G., Lemes, P. (2014) An Overview of Integrated Management of Leaf-Cutting Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian Forest Plantations. *Forests*, **5**, 439–454.
3. Camargo, R. S., Fonseca, J. A., Lopes, J. F. S., Forti, L. C. (2013) Influência do ambiente no desenvolvimento de colônias iniciais de formigas cortadeiras (*Atta sexdens rubropilosa*). *Ciência Rural*, **43**, 1375–1380.
4. Keiser, C., Vojvodic, S., Butler, I., Sartain, E., Rudolf, V., Saltz, J. (2018) Queen presence mediates the relationship between collective behaviour and disease susceptibility in ant colonies. *Journal of Animal Ecology*, **87**, 379–387.
5. Cardoso, S., Forti, L., Nagamoto, N., Camargo, R. (2014) First-year nest growth in the leaf-cutting ants *Atta bisphaerica* and *Atta sexdens rubropilosa*. *Sociobiology*, **61**, 243–249.
6. Camargo, R., Forti, L., Matos, C., Caldato, N., Fonseca, O. (2016) Is the initial nest depth adapted to favorable conditions for the incipient colony in leaf-cutting ants? *Sociobiology*, **63**, 792–799.
7. Cibils-Martina, L., Elizalde, L., Farji-Brener, A. G. (2017) Traffic rules around the corner: walking of leaf-cutting ants at branching points in trunk trails. *Insect Societies*, **64**, 549–555.

8. Herz, H. Holldobler, B. Roces, F. (2008) Delayed rejection in a leaf-cutting ant after foraging on plants unsuitable for the symbiotic fungus. *Behavioral Ecology*, **19**, 575–582.
9. Wirth, R., Herz, H., Ryel, R. J., Beyschlag, W. Hölldobler, B. (2003) Herbivory of Leaf-cutting Ants. Springer-Verlag: Berlin, Germany.
10. Rockwood, L., Hubbell, S. (1987) Host-plant selection, diet diversity, and optimal foraging in a tropical leaf cutting ant. *Oecologia*, **74**, 55–61.
11. Leal, I., Wirth, R., Tabarelli, M. (2014) The Multiple Impacts of Leaf-Cutting Ants and Their Novel Ecological Role in Human-Modified Neotropical Forests. *Biotropica*, **46**, 516–528.
12. Grandeza, L. A. O., Moraes, J. C., Zanetti, R. (1999) Estimativa do Crescimento Externo de Ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em Áreas de Reflorestamento com Eucalipto. *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil*, **28**, 59–64.
13. Holldobler, B., Wilson, E. O. (2009) The Super Organism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies. W. W. Norton & Company.
14. Crawley, M. J. (2013) The R book. John Wiley & Sons Ltd.
15. Gowda, D. M. (2011) Probability models to study the spatial pattern, abundance and diversity of tree species. Conference on applied statistics in agriculture, <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1048>.
16. Sokal, R. R., Rohlf, J. (2012) Biometry, Fourth Edition, W.H. Freeman and Company New York.
17. Perin, M. A. A., Guimarães, J. F. (2012) Efeitos dos ninhos de *Atta laevigata* (Fr. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) sobre a vegetação do Cerrado. *Revista Arvore*, **36**, 463-470.
18. Costa, A.; Vieira-Neto, E. (2016) Species turnover regulates leaf-cutter ant densities in environmental gradients across the Brazilian Cerrado. *Journal of Applied Entomology*, **140**, 474–478.
19. Vasconcellos, A., Andreazze, R., Almeida, A. M., Araujo, H. F. P., Oliveira, E. S., Oliveira, U. (2010) Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, **54**, 471-476.
20. Harterreiten-Souza, E. S., Togni, P. H. B., Pires, C. S. S., Sujii, E. R. (2014) The role of integrating agroforestry and vegetable planting in structuring communities of herbivorous insects and their natural enemies in the Neotropical

region. *Agroforest Systems*, 88, 205-219.

21. Morais, P., Longue, D., Colodette, J., Morais, E., Jardim, C. (2017) Influence of clone harvesting age of *Eucalyptus grandis* and hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in the wood chemical composition and in kraft pulpability. *Ciência Florestal*, **27**, 237–248.
22. Giehr, J., Heinze, J., Schrempf, A. (2017) Group demography affects ant colony performance and individual speed of queen and worker aging. *Biomed Central Evolutionary Biology*, **17**, 173-180.
23. Camargo, R.; Forti, L.; Lopes, J.; de Matos, C. (2008) Growth of populations and the fungus garden of *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera, Formicidae) response to foraged substrates. *Sociobiology*, 52, 633–643.
24. Rockwood, L. L., Hubbell, S. P. (1987) Host-plant selection, diet diversity, and optimal foraging in a tropical leaf cutting ant. *Oecologia*, **74**, 55-61.
25. Arenas, A., Roces, F. (2017) Avoidance of plants unsuitable for the symbiotic fungus in leaf-cutting ants: Learning can take place entirely at the colony dump. *PLoS One*, 12, e0171388.
26. Rockwood, L. (1976) Plant selection and foraging patterns in 2 species of leaf-cutting ants (*Atta*). *Ecology*, **57**, 48–61.
27. Batista-Pereira, L., Fernandes, J., da Silva, M., Vieira, P., Bueno, O., Correa, A. (2006) Electrophysiological responses of *Atta sexdens rubropilosa* workers to essential oils of *Eucalyptus* and its chemical composition. *Zeitschrift für Naturforschung C: A Journal of Biosciences*, **61**, 749–755.
28. Soares, S. and Schoereder, J. (2001) Ant-nest distribution in a remnant of tropical rainforest in southeastern Brazil. *Insect Societia*, **48**, 280–286.
29. Lanan, M. (2014) Spatiotemporal resource distribution and foraging strategies of ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecology News*, **20**, 53–70.
30. Gordon, D. M. (2019) The Ecology of Collective Behavior in Ants. *Annual review of entomology*, **64**, 35-50.
31. Sousa-Souto, L., Schoereder, J., Lima, E. (2008) Why do leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) change their foraging pattern? *Sociobiology*, **52**, 645–654.
32. Fernández-Marín, H., Zimmerman, J. K., Wcislo, W. T. (2004) Ecological traits and evolutionary sequence of nest establishment in fungus-growing ants (Hymenoptera, Formicidae, Attini). *Biological Journal of the Linnean Society*, **81**,

39-48.

33. Robinson, E. (2014) Polydomy: the organisation and adaptive function of complex nest systems in ants. *Current Opinion in Insect Science*, **5**, 37–43.
34. Dohm, C., Leal, I. R., Tabarelli, M., Meyer, S.T., Wirth, R. (2011) Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? *Journal of Tropical Ecology*, **27**, 645–649.
35. Siqueira, F., Ribeiro-Neto, J., Tabarelli, M., Andersen, A., Wirth, R., Leal, I. (2017) Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, **33**, 337–344.
36. Bollazzi, M., Roces, F. (2010) Leaf-cutting ant workers (*Acromyrmex heyeri*) trade off nest thermoregulation for humidity control. *Journal of Ethology*, **28**, 399–403.
37. Bollazzi, M., Kronenbitter, J., Roces, F. (2008) Soil temperature, digging behaviour, and the adaptive value of nest depth in South American species of *Acromyrmex* leaf-cutting ants. *Oecologia*, **158**, 165–175.
38. Van Gils, H., Vanderwoude, C., (2012) Leafcutter ant (*Atta sexdens*) (Hymenoptera: Formicidae) nest distribution responds to canopy removal and changes in micro-climate in the southern Colombian Amazon. *Florida Entomologist*, **95**, 914–921.
39. Ferji-Brener, A. G., Ruggiero, A. (1994) Leaf-Cutting Ants (*Atta* and *Acromyrmex*) Inhabiting Argentina: Patterns in Species Richness and Geographical Range Sizes. *Journal of Biogeography*, **21**, 391-399.
40. Jactel, H., Brockerhoff, E. G. (2007) Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters*, **10**, 835–848.
41. Verza, S. S., Mussury, R. M., Camargo R.S., Andrade, A. P. P., Forti, L. C. (2017) Oviposition, Life Cycle, and Longevity of the Leaf-Cutting Ant *Acromyrmex rugosus rugosus*. *Insects*, **8**, 1–12.
42. Fernandez-Marin, H., Zimmerman, J., Wcislo, W. (2004) Ecological traits and evolutionary sequence of nest establishment in fungus-growing ants (Hymenoptera, Formicidae, Attini). *Biological Journal of Linnean Society*, **81**, 39–48.
43. Silva, P., Bieber, A., Knoch, T., Tabarelli, M., Leal, I., Wirth, R. (2013) Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail networks to pioneer plant availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **147**, 110–119.

4 PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS BIVARIADOS DE *Atta sexdens rubropilosa* Em Rebrota De Eucalipto, Cerrado E Mata Nativa

Resumo

Neste estudo buscou-se compreender como a abundância de ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* varia simultaneamente em parcelas experimentais situadas em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. A distribuição dos ninhos foi tabulada e analisada de forma bivariada em planilhas para que a sobreposição das abundâncias fosse avaliada graficamente e se procedesse à comparação das relações entre variável dependente e independente, com regressão de Poisson, quasi-Poisson e covariância. Os resultados encontrados indicam haver simultaneidade de ninhos em diversas parcelas experimentais, com prevalência em rebrota de eucalipto e em menor escala no Cerrado. Na mata nativa, ninhos velhos e incipientes não mostraram sobreposições nas parcelas. A análise de covariância revelou coeficientes positivos e negativos dependendo do tipo de área e da idade dos ninhos.

Palavras-chave: Covariância; Ninhos de formigas cortadeiras; Análise espacial

Abstract

In this study it was investigated how abundance of old and incipient nests of *Atta sexdens rubropilosa* varies in plots located in eucalypt regrowth, Cerrado and native forest. The nest distribution was organized and analysed as bivariate data in spreadsheets, aiming to evaluate the simultaneity of abundances by graphing and comparing relationships between dependent and independent variables with Poisson, quasi-Poisson regressions and covariance analysis. The results found indicate simultaneity of nests in several plots, with prevalence in eucalypt regrowth and, to a lesser extent, in Cerrado. In native forest, old and incipient nests did not exhibit overlapping in plots. The covariance test revealed positive and negative coefficients depending on the type of area and nest age.

Keywords: Covariance; Nests of leaf cutting ants; Spatial analysis

4.1 Introdução

Colônias de insetos sociais são formadas por indivíduos que exercem diferentes tarefas em prol do funcionamento de um complexo sistema biológico (Nickele et al. 2015, Los et al., 2019, Shilovsky et al., 2019). As tarefas são bem definidas, de forma a suprir as demandas das colônias, que geralmente tem estrutura funcional sofisticada e de alto desempenho (Sumana & Sona, 2013, Nickele et al. 2015). Compreender a complexidade desses sistemas é fundamental para analisar o papel e o impacto deles nos ambientes em que estão inseridos, certamente caracterizados por espacialidades

intrínsecas da área em que estão localizados (Silva et al. 2013). A estrutura espacial é assim parte essencial da organização dos seres vivos, em particular formigas, sendo expressa por vezes pela movimentação dos indivíduos e consequentemente distribuição de ninhos (Pielstrom et al. 2013).

A distribuição espacial de insetos tem sido analisada sistematicamente com vistas a compreender padrões de organização no espaço, envolvendo diferentes níveis taxonômicos, de forma a compreender o estabelecimento de populações em diferentes áreas ou a distribuição da diversidade de espécies (Segev et al. 2015, Wiezik et al. 2017). Conhecer padrões de organização de espécies no espaço e também no tempo é imprescindível para a compreensão da dinâmica de populações e comunidades e das relações intraespecíficas e tróficas das espécies (Sandoval-Becerra et al. 2018). Particularmente, espécies consideradas chave para determinados sistemas, seja por ocuparem papel importante no contexto da manutenção da diversidade biológica ou ainda por impactarem negativamente o ambiente onde estão inseridas, exibem por certo padrões de distribuição espacial importantes para a compreensão dos aspectos envolvidos na análise interativa delas com o ambiente (Latzka et al. 2016).

Atta sexdens rubropilosa é uma espécie de formiga cortadeira importante no contexto agrícola e florestal brasileiro, com ampla distribuição pelo Brasil e América do Sul (Della Lucia et al. 2013). A espécie causa grandes danos em geral nos cultivos, além de estar entre as pragas mais importantes do eucalipto. O conceito de pragas está diretamente ligado aos tamanhos populacionais que os insetos apresentam em determinadas culturas agrícolas (Godoy et al. 2012). Contudo, os tamanhos populacionais tornam-se críticos na medida em que estejam vinculados a alguma proporção por unidade local, expressando algum tipo de distribuição no tempo e no espaço (Lima et al. 2009). Portanto, compreender como se dá a distribuição de espécies em termos de ocupação de diferentes áreas, parece ser essencial para a comparação de padrões ecológicos de movimentação e consumo de plantas (Montoya-Lerma et al. 2012).

O consumo de folhas por formigas cortadeiras se dá, de maneira geral, de forma particularizada em diferentes plantas ou cultivos em virtude das características das plantas hospedeiras e do aprendizado das formigas (Arenas & Roces, 2017, 2018). Os cultivos são geralmente estruturados no melhor formato para a obtenção do produto desejado do ponto de vista agrícola, porém, por mais que o manejo de plantios

seja planejado, é comum encontrá-los com vizinhanças caracterizadas por outros tipos de vegetação, como por exemplo mata nativa e/ou Cerrado, vegetações características do agroecossistema brasileiro (Zanetti et al. 2000).

A distribuição espacial de formigas cortadeiras no Brasil tem recebido atenção especial por esclarecer aspectos importantes para o estabelecimento de programas de manejo de pragas em áreas florestais (Caldeira et al. 2005, Ramos et al. 2008, Lasmar et al. 2012, Zanetti et al. 2014). Dentre as informações essenciais para a implementação de planos de monitoramento destacam-se as pesquisas realizadas para compreender os padrões de agregação de formigueiros, em diferentes cultivos, como analisado e discutido no capítulo anterior (Canuto et al. 2019). O capítulo anterior deste estudo trata sistematicamente deste assunto, visando analisar como se dá a agregação de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa (Canuto et al. 2019). Porém, a despeito da análise pormenorizada sobre os padrões de distribuição espacial ter elucidado aspectos importantes para o cenário da distribuição de ninhos de idades diferentes, a abordagem não foi estruturada para avaliar padrões de covariância entre ninhos velhos e incipientes.

Este capítulo teve o objetivo de investigar como estão estruturados os padrões de distribuição de ninhos velhos e incipientes de *A. sexdens rubropilosa*, em parcelas delimitadas experimentalmente na rebrota de eucalipto, no Cerrado e na mata nativa. Particularmente, o estudo buscou avaliar a existência e continuidade de padrões de sobreposição de ninhos em parcelas, levando em conta a idade dos formigueiros em diferentes áreas e períodos de tempo, considerando a covariância de ninhos velhos e incipientes. O conhecimento da sobreposição de ninhos de idades diferentes, bem como os cenários envolvidos nesta configuração são de extrema importância para nortear programas de manejo de formigas cortadeiras, sobretudo no tocante à disposição de plantios em meio ao agroecossistema.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Obtenção dos dados

A metodologia de coleta de dados envolvendo localização das áreas, especificações de tamanho, topografia, variáveis climáticas e descrições das características das áreas foram detalhadamente descritas no capítulo anterior (II) da tese. As descrições realizadas neste capítulo serão apenas as estritamente

necessárias para compreensão da metodologia analítica empregada e dos resultados. A abundância de ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* foi estimada em três áreas, rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa em 207 pontos por área, cada um deles medindo 21m x 24m, totalizando 621 pontos para todas as áreas. A delimitação de formigueiros velhos e incipientes foi feita com base no método da área total, que é baseado no volume de solo removido de cada ninho, estimado pelo produto do maior comprimento pela maior amplitude de terra removida (Grandeza, et al. 1999). O critério para a determinação de ninhos incipientes foi a presença de novos orifícios no solo com a presença de terra removida ao redor, os quais levavam à uma câmara subterrânea com profundidade entre 10 e 30 cm. Um tubo cilíndrico de 35 cm de comprimento por 2 mm de diâmetro foi usado para a verificação da profundidade do ninho incipiente.

4.2.2 Análise estatística

Os dados foram tabulados de forma a serem examinados considerando a estrutura da variável dependente, abundância de ninhos, verso a variável independente, parcelas. Os dados de abundância de ninhos velhos e incipientes foram analisados quanto a normalidade pelo emprego do teste de Shapiro-Wilk (Crawley, 2013). O resultado do teste indicou que os dados não são normalmente distribuídos, razão pela qual foram empregados modelos estatísticos capazes de analisar dados caracterizados por distribuição tendente à família de distribuições exponenciais. O tratamento dado aos dados com esta característica consiste no uso de modelos lineares generalizados (MLG), já que a natureza deles é lidar com dados exibindo alta frequência de valores de baixa magnitude ou até mesmo tendentes à zero. Particularmente, em dados de contagem, a opção comumente empregada é, a princípio, o uso de regressão com erros de Poisson, em razão da inconstância da variância, ou seja, variância aumentando com a média, da distribuição de erros desviando-se da normalidade e do fato que número inteiros afetam a distribuição do erro (Crawley, 2013, Demétrio et al. 2014).

Para os casos em que o desvio residual era maior que os graus de liberdade residuais, a pressuposição de super dispersão foi também considerada e a forma de corrigi-la para gerar análise compatível com a natureza dos dados foi aplicar regressão com erros quasi-Poisson (Crawley, 2013). Nesse estudo a regressão com erros de Poisson e quasi-Poisson foram empregadas para analisar a relação entre a

abundância de formigueiros nas três áreas, rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa e a distribuição dos valores nas parcelas. Em se tratando de análise bivariada, visando compreender se os padrões de distribuição covariavam entre os ninhos, a matriz de covariância foi empregada com dados transformados em raiz quadrada, por ser o método mais adequado de linearização para valores de variáveis distribuídos com erros de Poisson, já que covariância pode ser vista como medida de dependência linear entre duas variáveis aleatórias (Crawley, 2013). A análise bivariada foi investigada considerando abundâncias médias para as três áreas e abundâncias obtidas na 1ª semana e na 41ª separadamente.

4.3 Resultados

A figura 1 é apenas uma indicação do posicionamento das parcelas na área de rebrota de eucalipto, local circundado por plantio de eucalipto, mata nativa e rodovia. As parcelas numeradas com valores em magnitudes superiores à 16 são mais próximas à área de eucalipto. Essa informação é importante para a avaliação das figuras subsequentes, que confrontarão ninhos velhos com incipientes no que diz respeito à distribuição deles nas parcelas. Também será possível verificar a distribuição dos valores de abundância nas parcelas, considerando a covariância entre ninhos velhos e incipientes.

Rodovia																						
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2
1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3
1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5
1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6
1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7
1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8
1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9
Mata																						

Fig. 1. Distribuição das parcelas para registro de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em área de rebrota de eucalipto

Fig. 2a. Padrões bivariados médios para ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* em rebrota de eucalipto

Fig. 2b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para a abundância média de ninhos velhos à esquerda, explicada por regressão com erros de Poisson (curva em azul) e incipientes à direita não explicados por regressão em rebrota de eucalipto

Tabela 1 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson e quasi-Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,47	0,14	-3,405	0,000661
Parcelas	0,07	0,008	9,247	2e-16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,46	0,17	-2,65	0,008
Parcelas	0,02	0,01	1,601	0,11
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão quasi-Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,46	0,17	-2,7	0,007
Parcelas	0,02	0,01	1,635	0,10

A figura 2^a indica sobreposição de ninhos velhos e incipientes em diversas parcelas da rebrota de eucalipto. Contudo, há uma grande diferença entre as abundâncias dos ninhos velhos e incipientes, pela comparação entre os eixos das ordenadas (Fig. 2b). Os ninhos velhos têm dispersão de pontos muito maior que os ninhos incipientes, com mínimos e máximos entre 0 e 15, contrastando com os ninhos incipientes que mostram dispersão entre 0 e 4 (Fig. 2b). Portanto, a diferença entre a abundância média de ninhos velhos e incipientes na rebrota é claramente alta ao considerar as parcelas (Fig. 2b). A relação entre o número de ninhos velhos e a distribuição nas parcelas foi significativa pela regressão com erros de Poisson, porém, a relação entre o número de ninhos incipientes e a distribuição nas parcelas não foi significativa pelas regressões com erros de Poisson e quasi-Poisson (Tabela 1, Fig. 2b). Contudo, a covariância entre ninhos velhos e incipientes foi positiva, conforme registro na matriz de covariância abaixo, indicando que a abundância de ninhos velhos e incipientes tende a variar conjuntamente no mesmo sentido (Tabela 2).

Tabela 2 -Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,09	0,41	0,16
Ninhos velhos	0,41	1,25	0,33*
Ninhos incipientes	0,16	0,33*	0,38

* Coeficiente de covariância

	Rodovia																						
R e b r o t a	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2
	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3
	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5
	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6
	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7
	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8
	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9
	Eucalypto																						

Fig. 3 Distribuição das parcelas para registro de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em área de Cerrado

Fig. 4a. Padrões bivariados médios para ninhos velhos e incipientes de *A. sexdens rubropilosa* em Cerrado

A figura 3 mostra a distribuição dos ninhos das parcelas na área de Cerrado. Na área de Cerrado as sobreposições entre ninhos velhos e incipientes se deram em

poucas parcelas, diferindo da distribuição observada na rebrota de eucalipto (Fig. 4a). A abundância de ninhos incipientes foi inferior à dos ninhos velhos (Figs. 4a,b). Os padrões de dispersão de dados para número de ninhos velhos e incipientes tenderam a concentrar-se mais em parcelas com menos de 10 formigueiros, diferindo entre si, particularmente com ninhos velhos exibindo maior dispersão de valores que o de ninhos incipientes (Fig. 4b). Os ninhos incipientes não exibiram alta frequência. A frequência foi majoritariamente fixada nos valores 0 e 1 diferindo da abundância de ninhos velhos, que se distribuiu principalmente entre 0 e 10 (Fig. 4b). A relação entre abundância de ninhos velhos e distribuição nas parcelas foi significativa quando analisada por regressão de Poisson, assim como também foi a relação entre abundância de ninhos incipientes e a distribuição das parcelas (Tabela 3). A matriz de covariância revelou coeficiente positivo, indicando que abundância de ninhos novos e velhos exibe covariância no mesmo sentido (Tabela 4).

Fig. 4b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para a abundância média de ninhos Velhos e Incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) em Cerrado

Tabela 3 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson e quasi-Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	0,61	0,17	3,54	0.0004
Parcelas	-0,15	0,02	-7,43	1,09e-13
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,06	0,25	-0,20	0,83
Parcelas	-0,16	0,03	-5,32	1,01e-07

Tabela 4 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1.09	-0,16	-0,18
Ninhos velhos	-0.16	0,41	0,14*
Ninhos incipientes	-0,18	0,14*	0,16

* Coeficiente de covariância

R e b r o t a	Eucalipto com colheita																							
	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	E
	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	u
	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	c
	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	a
	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	l
	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	i
	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	p
	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	t
	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	o
Eucalipto sem colheita																								

Fig. 5 Distribuição das parcelas para registro de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* em área de mata nativa

Fig. 6a. Padrões bivariados médios para ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* em mata nativa

A figura 5 descreve a distribuição das parcelas na mata nativa e a figura 6a não mostra sobreposição de ninhos velhos e incipientes em nenhuma parcela. Ao contrário, indica uma polarização entre ninhos velhos e incipientes (Fig. 6a). Além disso, há uma tendência de menor abundância em parcelas com numeração intermediária, ou seja, à maior abundância de ninhos é sempre encontrada em parcelas localizadas nas bordas da área (Fig. 6a). Os padrões de distribuição de ninhos velhos e incipientes apresentaram trajetórias opostas, com ninhos velhos tendendo a serem encontrados em parcelas numeradas acima de 15 e ninhos incipientes tendentes a maior abundância em parcelas numeradas abaixo de 15 (Fig. 6b). Os padrões diferiram também no tocante ao tipo de distribuição, tendo os ninhos velhos relação entre parcelas e abundância explicada pela regressão com erros quase-Poisson e a relação entre parcelas e abundância de ninhos incipientes explicada pela regressão de Poisson (Tabela 5, Fig. 6b). A matriz de covariância resultou em coeficientes negativos, indicando que a covariância se dá por sentidos opostos (Tabela 6, Fig. 6b).

Fig. 6b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para a média de ninhos velhos e incipientes explicados respectivamente pela regressão com erros quasi-Poisson (curva em azul) e Poisson (curva em azul) em mata nativa

Tabela 5 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson e quasi-Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa

Parcelas x ninhos velhos (Regressão quasi-Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-6,83	1,16	-5,88	1,63e-08
Parcelas	0,35	0,05	6,52	5,27e-10
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	1,08	0,15	7,27	3,64e-13
Parcelas	-0,17	0,02	-9,34	<2e-16

Tabela 6 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,09	0,28	-0,35
Ninhos velhos	0,28	0,60	-0,08*
Ninhos incipientes	-0,35	-0,08*	0,47

* Coeficiente de covariância

Fig. 7a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* na 1ª. semana em rebrota de eucalipto

Tabela 7 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto (1ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,60	0,15	-4,12	3,82e-05
Parcelas	0,08	0,008	9,2	<2e_16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,69	0,17	-4,078	4,54e-05
Parcelas	0,05	0,01	5,20	1,94e-07

Tabela 8 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto (1ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,08	0,38	0,25
Ninhos velhos	0,38	1,26	0,47*
Ninhos incipientes	0,25	0,47*	0,76

*Coeficiente de covariância

Os resultados encontrados na primeira semana de análise da rebrota de eucalipto indicam alta sobreposição de ninhos velhos e incipientes (Fig. 7a). Contudo, a densidade de ninhos velhos foi quase sempre maior que a densidade de ninhos incipientes a partir da parcela 6 (Fig. 7b). A regressão com erro de Poisson indica relação crescente e significativa entre parcelas e ninhos velhos ou incipientes (Tabela 7) e a matriz confirma covariância positiva entre ninhos velhos e incipientes dada pelo coeficiente positivo de variação (Tabela 8).

Fig. 7b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erro de Poisson (curva em azul) em rebrota de eucalipto na 1ª semana

Fig. 8a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* na 1ª. semana em Cerrado

Na 1ª semana de obtenção de dados no Cerrado, a sobreposição de ninhos foi limitada a poucas parcelas (Fig. 8a) e a frequência de ninhos incipientes foi maior que nas outras áreas (Fig. 8b). A distribuição de abundância de ninhos velhos foi de

maneira geral maior que em ninhos incipientes, com distribuição de pontos praticamente sem sobreposição de parcelas (Fig. 8b). Porém, em algumas poucas parcelas a abundância de ninhos incipientes apareceu com valores maiores que nas outras parcelas, aproximando-se dos valores dos ninhos velhos (Fig. 8a). A relação entre a abundância de ninhos velhos ou incipientes foi significativamente relacionada com a distribuição dos pontos em parcelas pela regressão com erro de Poisson para velhos e quasi-Poisson para incipientes (Tabela 9, Fig. 8b). A matriz de covariância indicou coeficiente negativo, sugerindo que há covariância em sentidos opostos entre a abundância de ninhos velhos e incipientes (Tabela 10).

8b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) em Cerrado na 1ª semana

Tabela 9 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson e quasi-Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado (1ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão quasi-Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-7,08	1,24	-5,68	4,51e-08
Parcelas	0,36	0,06	6,2	3,07e-09
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	0,77	0,15	4,95	7,55e-07
Parcelas	-0,13	0,02	-7,96	1,68e-07

Tabela 10 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado (1ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,09	-0,14	-0,11
Ninhos velhos	-0,14	0,35	-0,03
Ninhos incipientes	-0,11	-0,03	0,53

*Coeficiente de covariância

Fig. 9a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes na 1a. semana em mata nativa

Os padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes na mata nativa não resultaram em sobreposição na abundância de formigueiros (Fig. 9a) e a abundância de ninhos velhos alcançou valores por vezes maiores que a abundância de ninhos incipientes (Fig. 9b). A distribuição dos pontos por parcelas foi diferente entre as diferentes idades de ninhos, com ninhos incipientes tendo valores distribuídos em maior número de parcelas que os velhos (Fig. 9b). A relação entre ordenadas e abcissas foi significativa para a regressão com erros de Poisson nos ninhos das duas idades (Tabela 11) e a matriz de covariância gerou coeficientes negativos, sugerindo que a variação pareada entre abundância de ninhos velhos e incipientes se dá em sentidos opostos (Tabela 12).

Fig. 9b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) em mata nativa na 1a semana

Tabela 11 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa (1ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-7.07	0,71	-9,98	<2e-16
Parcelas	0,36	0,03	10,89	<2e-16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	0,76	0,15	4,94	7,55e-07
Parcelas	-0,13	0,02	-7,96	1,68e-15

Tabela 12 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa (1ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,09	0,25	-0,29
Ninhos velhos	0,25	0,54	-0,07
Ninhos incipientes	-0,29	-0,07	0,45

Fig. 10a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes na 41ª. semana em rebrota de eucalipto

A sobreposição de abundância entre ninhos velhos e incipientes foi registrada em algumas parcelas nos registros feitos para da 41ª semana na rebrota de eucalipto (Fig. 10a). Os valores para abundância de ninhos velhos foram maiores que os valores para ninhos incipientes e consequentemente a dispersão de pontos em ninhos velhos foi

maior que em ninhos incipientes (Fig. 10b). Entretanto a relação entre distribuição nas parcelas e número de ninhos dada pela regressão com erros de Poisson somente foi significativa com a análise incidindo sobre ninhos velhos (Tabela 13). A matriz de covariância revelou coeficientes positivos, sugerindo que a variância dos ninhos de idade diferente tende a ocorrer no mesmo sentido (Tabela 14).

Fig. 10b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) para velhos e quasi-Poisson para incipientes em rebrota de eucalipto na 41ª semana

Tabela 13 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson e quasi-Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto (41ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,34	0,13	-2,56	0,01
Parcelas	0,07	0,0078	9,76	<2e-16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson*)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,64	0,22	-2,90	0,004
Parcelas	-0,02	0,02	-1,45	0,15

*Ajuste com regressão quasi-Poisson também realizado com ausência de significância ($p > 0,05$)

Tabela 14 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto (41ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1.09	0,34	-0,01
Ninhos velhos	0,46	1,38	0,06*
Ninhos incipientes	-0,014	0,06*	0,33

*Coeficiente de covariância

Fig. 11a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* na 41ª semana em Cerrado

Para o Cerrado, as sobreposições de abundância foram observadas em poucas parcelas (Fig. 11a) e os valores de abundância foram maiores em ninhos velhos que em incipientes na 41ª semana (Fig. 11b). A relação entre ordenada e abcissa foi significativa por regressão com erros de Poisson para ambos os ninhos (Tabela 15) e a matriz produziu coeficientes positivos, indicando covariância no mesmo sentido para os ninhos velhos e incipientes (Tabela 16).

Fig. 11b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) para velhos e quase-Poisson para incipientes em Cerrado na 41ª semana

Tabela 15 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado (41ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	0,83	0,15	5,59	2,27e-08
Parcelas	-0,13	0,02	-8,22	<2e-16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,83	0,47	-1,74	0,08
Parcelas	-0,25	0,07	-3,28	0,001

Tabela 16 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em Cerrado (41ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,08	-0,18	-0,06
Ninhos velhos	-0,19	0,55	0,06
Ninhos incipientes	-0,06	0,06	0,05

*Coeficiente de covariância

Fig. 12a. Padrões bivariados em ninhos velhos e incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* na 41ª. semana em mata nativa

Na mata nativa as sobreposições de ninhos em parcelas foram praticamente inexistentes (Fig. 12a) e exceto pela distribuição de abundância de ninhos os valores foram próximos entre ninhos velhos e incipientes (Fig. 12b). A regressão com erros

de Poisson foi significativa para a relação com as parcelas em ambas as idades de ninhos (Tabela 17). A matriz indicou covariância negativa, sugerindo portanto que os padrões de variância dos ninhos ocorrem em lados opostos (Tabela 18).

Fig. 12b. Padrões de variação de *Atta sexdens rubropilosa* para abundância de ninhos velhos e incipientes explicados pela regressão com erros de Poisson (curva em azul) para velhos e quase-Poisson para incipientes em mata nativa na 41ª semana

Tabela 17 – Estatística de regressão ajustada com erros de Poisson sobre abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa (41ª semana)

Parcelas x ninhos velhos (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-6,46	0,60	-10,74	<2e-16
Parcelas	0,34	0,03	12,09	<2e-16
Parcelas x ninhos incipientes (Regressão Poisson)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	1,46	0,13	10,94	<2e-16
Parcelas	-0,21	0,02	-11,01	<2e-16

Tabela 18 - Matriz de Covariância para análise bivariada da abundância média de ninhos velhos e incipientes em mata nativa (41ª semana)

	Parcela	Ninhos velhos	Ninhos incipientes
Parcela	1,08	0,30	-0,30
Ninhos velhos	0,30	0,66	-0,07*
Ninhos incipientes	-0,29	-0,07*	0,65

*Coeficiente de covariância

4.4 Discussão

Os resultados encontrados na rebrota de eucalipto sobre a variação da abundância média de ninhos de idades diferente, velhos e incipientes, indicam sobreposições de ninhos em diversas parcelas amostradas. Contudo, é importante que a sobreposição seja avaliada também no tocante à abundância dos ninhos. Houve variação

expressiva nos valores de abundância entre ninhos velhos e incipientes, com ninhos velhos exibindo abundância maior que os incipientes. Assim, apesar da sobreposição dos ninhos ser visível nas parcelas, a diferença na abundância entre eles pode explicar, pelo menos em parte, os resultados obtidos no primeiro capítulo desse estudo, quando a comparação de ninhos velhos e incipientes não exibiu correlação significativa (Canuto et al. 2019).

Contudo, a ausência de correlação não impede a existência de relação unidirecional, que pode ser avaliada por métodos de regressão (Crawley, 2013). Este tipo de relação avalia graus de dependência entre os ninhos velhos e incipientes e suas respectivas distribuições nas parcelas. A relação entre ninhos velhos e distribuição nas parcelas foi significativa quando analisada com erros de Poisson, contudo, para ninhos incipientes a relação não foi significativa. A inexistência de significância na regressão de Poisson ao avaliar ninhos incipientes na rebrota de eucalipto pode ser explicada pela natureza da distribuição da abundância, caracterizada por patamares muito baixos, com valores predominantemente abaixo de três. Para estes casos a curva de Poisson não consegue atingir satisfatoriamente o conjunto de dados, comprometendo a relação de regressão entre as variáveis dependente e independente.

A covariância entre ninhos velhos e incipientes foi positiva, indicando a mesma tendência de variação da abundância entre os ninhos, apesar da diferença na magnitude dos valores entre ninhos. A covariância não parece ter relação direta com o resultado encontrado no primeiro capítulo da tese, em que a correlação entre a abundância dos dois ninhos não foi significativa (Canuto et al. 2019). Contudo, sabendo que a covariância prima por investigar a variância simultânea entre duas variáveis, e isso se dá por comparação entre trajetórias com suas respectivas variações, cabe lembrar que a regressão da abundância média para ninhos incipientes na rebrota de eucalipto não foi significativa, exibindo distribuição de pontos bastante diferente dos resultados para ninhos velhos (Fig. 2b). Assim, a estimativa de covariância para este resultado deve ser vista com cautela, já que a relação de regressão somente foi significativa para uma das variáveis. Covariância e correlação são dois conceitos matemáticos determinantes da relação e medida de dependência entre duas variáveis aleatórias (Gotelli & Ellison, 2004). Apesar da existência de relação entre os dois coeficientes, já que a correlação pode ser definida nos termos da variância de x e y e da covariância de x e y (Crawley, 2013), as funções de cada

coeficiente diferem entre si. Covariância existe quando dois conjuntos de dados variam conjuntamente, portanto, correlação e covariância são duas formas diferentes de investigar como duas variáveis podem de alguma forma estar relacionadas, com correlação destinada a verificar a dependência mútua entre variáveis e covariância a variação simultânea entre variáveis (Mathiopoulos, 2011).

No Cerrado, as sobreposições entre ninhos velhos e incipientes ocorreram em poucas parcelas. Isso se deve, provavelmente à baixa abundância de ninhos velhos e incipientes se comparado à rebrota de eucalipto. A sobreposição em colônias de formigas tem sido investigada para atender outras demandas, sobretudo envolvendo a simultaneidade de trabalho (Wang et al. 2016). A simultaneidade de atividades em colônias é imprescindível para o sucesso da população como um todo, e principalmente no que tange ao forrageio, já que as tarefas devem ser complementares para que a nutrição da colônia (Keiser et al. 2018), em especial o cultivo do fungo simbiote resulte em sucesso geral do ninho. Se por um lado os estudos sobre comportamento são extremamente importantes para a compreensão das atividades simultâneas entre castas, não há por outro lado, estudos disponíveis comentando estímulos e efeitos para colônias persistirem ao longo do tempo quando de idades diferentes, exceto para o presente estudo, quando avaliou no primeiro capítulo os padrões de distribuição de frequência de ninhos velhos e incipientes (Canuto et al. 2019). Foi bem visível a diferença entre a abundância de ninhos velhos e incipientes na rebrota de eucalipto e no Cerrado. A diversidade de vegetação no Cerrado ainda é maior que em plantios de eucalipto (Diniz et al. 2010, Reis et al. 2010), o que pode por sua vez influenciar a abundância de saúveiros de diferentes idades, já que a tendência para essa condição é de alta abundância de formigas cortadeiras em maciços florestais de eucalipto (Zanetti et al. 2014).

O padrão de distribuição de formigas cortadeiras em mata nativa é completamente diferente de qualquer outro ambiente, já que é caracterizado por baixa abundância de ninhos em resposta à ausência de recursos adequados no interior da mata, o que explica a alta prevalência de ninhos em bordas (Leal et al. 2014). As bordas ocupam papel importante para a subsistência de ninhos em áreas com disponibilidade heterogênea de recursos, como acontece na mata nativa (Jactel & Brockerhoff, 2007). Certamente, neste ambiente a escassez de recursos específicos deve afetar de forma diferente ninhos de idades diferentes. A sobreposição de colônias de idades diferentes em mata nativa não ocorreu e este fato é compreensível pelas razões já expostas

acima. Outro aspecto importante dos resultados foi a observação de que os padrões diferiram também no tocante ao tipo de distribuição, tendo os ninhos velhos indicado relação entre parcelas e abundância explicada pela regressão com erros quasi-Poisson e a relação entre parcelas e abundância de ninhos incipientes explicada pela regressão de Poisson. A regressão caracterizada por erros de quasi-Poisson denota super dispersão se comparada à regressão de Poisson. Em se tratando de mata nativa é bastante razoável encontrar padrões deste tipo, sobretudo por conta da baixa disponibilidade de recursos no interior da área e alguma disponibilidade na borda, forçando as formigas a estabelecerem seus ninhos, principalmente os incipientes, nestas áreas.

A matriz de covariância resultou em coeficientes negativos para a mata nativa, indicando que a covariância de ninhos velhos e incipientes se dá em sentidos opostos. Esse resultado sugere alguma alternância na distribuição de ninhos com idades diferentes, já que as trajetórias sugerem abundâncias inversamente proporcionais, o que poderia indicar relação entre ninhos com diferentes tamanhos populacionais.

A variação na abundância de ninhos velhos e incipientes no tocante à 1ª e 41ª semanas indicou alta sobreposição de ninhos em rebrota de eucalipto, contudo, com diminuição na abundância de ninhos incipientes na 41ª semana de observação. Esse decréscimo na abundância de ninhos incipientes pode ser compreendido como um efeito negativo natural sobre o sucesso dos ninhos, já que a taxa de viabilidade de ninhos de formigas cortadeiras é geralmente considerada baixa por conta das adversidades advindas de diferentes causas durante o processo de desenvolvimento dos formigueiros (Hughes et al. 2002, den Boer et al. 2009). O contraste entre a abundância de ninhos velhos e incipientes na 1ª e 41ª semanas no Cerrado evidenciou uma situação interessante, ou seja, na 1ª semana não havia sobreposição de abundâncias nas parcelas, a despeito dos valores de abundância serem maiores que na 41ª semana. Contudo, na 41ª semana, mesmo as baixas abundâncias, sobretudo de ninhos incipientes, acabaram por gerar sobreposição com os ninhos velhos em algumas parcelas. A princípio, a explicação mais plausível para esse resultado poderia advir simplesmente da aleatoriedade com que os formigueiros poderiam se distribuir. Contudo, essa condição de sobreposição parece ter ocorrido somente no Cerrado, já que tanto na rebrota de eucalipto como na mata nativa os padrões de sobreposição permaneceram os mesmos, com pequenas variações.

Recentemente, Costa et al. (2018) observaram que a disponibilidade de substratos preferenciais para corte em *Atta laevigata* em períodos sazonais específicos podem explicar o padrão de forrageio adotado pelas formigas. Os resultados apresentados no capítulo anterior deste trabalho, acrescidos dos resultados encontrados em outros estudos (Ramos et al. 2008, Camargo et al. 2013) indicam indiretamente que as condições de plantas hospedeiras no Cerrado são bem mais variadas que na rebrota de eucalipto. Essas condições podem determinar diferentes padrões de exploração de recursos com o passar do tempo, sobretudo pela diversificação de demandas sazonais em plantas do Cerrado, que diferem substancialmente das demandas da rebrota de eucalipto. Há evidências suficientes para concluir que o processo de restauração do Cerrado tem alta complexidade ao longo do tempo (Cava et al. 2016). Além dos aspectos acima mencionados, há de se supor que a sobreposição de formigueiros de diferentes idades no Cerrado seria desencadeada pelos formigueiros incipientes e não pelos velhos, já que os velhos estariam consolidados, não necessitando de busca por novas áreas. Sob essa perspectiva, os formigueiros novos do Cerrado estariam colonizando preferencialmente as mesmas áreas que os velhos já em curso, em função provavelmente da maior concentração de recursos nessas áreas, já que as rainhas, durante o processo de fundação de novos formigueiros são submetidas a diferentes desafios, para que as novas colônias tenham sucesso na instalação de seus ninhos (Ramos et al. 2008, Cardoso et al. 2014, Keiser et al. 2018).

No que diz respeito à mata nativa, as distribuições dos ninhos velhos e incipientes não sofreram modificações expressivas desde a 1ª até a 41ª semana, não exibindo tendência de sobreposição em nenhum dos períodos. Por sua notória heterogeneidade de plantas hospedeiras, a mata nativa exibe diversidade de recursos não encontrada em outros ambientes (Jactel & Brockerhoff, 2007), como por exemplo rebrota de eucalipto e Cerrado. Esse cenário, envolve grande plasticidade de grupos taxonômicos de insetos para o sucesso do uso diversificado de recursos nutricionais. Ainda que formigas cortadeiras sejam consideradas pragas polípagas, portanto com habilidade para explorar diferentes recursos, os monocultivos como o eucalipto, oferecem um padrão de recurso homogêneo, que por sua extensão e distribuição facilita o corte de folhas por operárias, criando condições necessárias para que o substrato seja incorporado ao fungo simbiote de forma satisfatória (Fernandez-Marin et al, 2004, Morais et al., 2017). Assim, a densidade de formigueiros em áreas de mata nativa é bem inferior à rebrota de eucalipto e também ao Cerrado (Canuto et al. 2019).

A análise bivariada de ninhos de formigas distribuídos no espaço já foi realizada para outros propósitos que não aqueles apresentados neste estudo. A distribuição de ninhos de duas espécies de formigas, *Cataglyphis bicolor* e *Messor wasmanni*, respectivamente pertencentes às subfamílias Formicinae e Myrmicinae, foi investigada com vistas a compreender padrões espaciais bivariados para explicar possíveis associações interespecíficas entre as espécies (Harkness & Isham, 1983). Entretanto, a distribuição espacial bivariada no contexto discutido no presente estudo ainda não foi avaliada para outras espécies de formigas cortadeiras e em outras áreas para fins de comparação. Ficou bastante claro no presente estudo que os padrões bivariados, sobretudo no que diz respeito à sobreposição de ninhos velhos e incipientes diferem no tempo e no espaço, em extensões diferentes.

Contudo, em primeira avaliação com valores médios no tempo, nota-se alguma similaridade no padrão de distribuição bivariado entre rebrota de eucalipto e Cerrado. Para essa condição, o padrão que mais difere dos outros é o da mata nativa, dado que nela não se vê sobreposição de ninhos de idades diferentes. Por outro lado, em comparações no tempo, levando em conta a 1ª e a 41ª semanas, é possível visualizar modificações, sobretudo observando os resultados encontrados no Cerrado. A causa das diferenças encontradas no tempo, pela comparação da 1ª com a 41ª semana foi provavelmente a viabilidade e distribuição dos formigueiros incipientes, já que o processo de colonização e instalação definitiva deles é muito mais dinâmico que o dos ninhos velhos, que por sua própria condição permanecem fixos, apenas aumentando o seu tamanho populacional, com a necessidade de novas câmaras para alojamento do fungo simbionte e formigas cultivadoras dele.

Assim, na dimensão temporal, a maior alteração em termos de sobreposição de ninhos, parece ter ocorrido no Cerrado. No presente estudo foi possível caracterizar padrões bivariados de distribuição de *Atta sexdens rubropilosa* em diferentes áreas tendo como principal cenário a covariância entre ninhos de idades diferentes, aqui denominados velhos e incipientes. Os resultados aqui encontrados mostram distribuições mapeadas espaço-temporalmente, capazes de fornecer subsídios para a prevenção de infestações no cenário de manejo de plantios florestais, sobretudo no contexto de florestas plantadas de eucalipto com vizinhança de Cerrado e mata nativa.

Referências

- Arenas, A. and Roces, F. 2017. Avoidance of Plants Unsuitable for the Symbiotic Fungus in Leaf-Cutting Ants: Learning Can Take Place Entirely at the Colony Dump. PLoS ONE, 12, e0171388.
- Arenas, A., and Roces, F. Appetitive and aversive learning of plants odors inside different nest compartments by foraging leaf-cutting ants. Journal of Insect Physiology 109: 85 - 92.
- Caldeira, M. A., Zanetti, R., Moraes, J. C., Zanuncio, J. C. 2005. Spatial distribution of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations. Cerne 11:34-39.
- Camargo, R.S., Fonseca, J.A., Lopes, J.F.S., Forti, L.C. 2013. Influência do ambiente no desenvolvimento de colônias iniciais de formigas cortadeiras (*Atta sexdens rubropilosa*). Ciência Rural, 43:1375-1380.
- Canuto, D. M. F., Reis, S. F., Godoy, W. A. C. 2019. Spatial Statistics and Age Structure of Leaf Cutting Ant Nests. Open Journal of Statistics, 9, 196-217.
- Cava, M. G. B., Isernhagen, I., Mendonça, A. H., Durigan, G. 2016. Comparação de técnicas para restauração da vegetação lenhosa de Cerrado em pastagens. Hoehnea 43: 301-315.
- Costa, A. N., Vasconcelos, H., Vieira-Neto, E. H. M., Bruna, E. M. 2018. Adaptive foraging of leaf-cutter ants to spatiotemporal changes in resource availability in Neotropical savannas. Ecological Entomology 44: 227-238.
- Crawley, M.J. 2013. The R book. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Della Lucia, T., M., C., Gandrad, L. C., Guedes, R. N. C. 2014. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. Pest Management Science 70: 14–23.
- Demétrio, C. G. B., Hinde, J., Moral, R. A. 2014. Models for overdispersed data in entomology. In: eds. Ferreira, C. P. & W. A. C. Godoy Ecological modelling applied to entomology. Springer p. 219-259.
- Den Boer, S. P. A., Baer, B., Dreier, S., Aron, S., Nash, D. R., Boomsma, J. J. 2009. Prudent sperm use by leaf-cutter ant queens Proceedings of the Royal Society of London. 276:3945–3953.
- Diniz, S., Prado, P. I., Lewinsohn, T. M. 2010. Species Richness in Natural and Disturbed Habitats: Asteraceae and Flower-Head Insects (Tephritidae: Diptera) Neotropical Entomology 39:163-171.

- Fernandez-Marin, H., Zimmerman, J.K., Wcislo, W.T. 2004. Ecological Traits and Evolutionary Sequence of Nest Establishment in Fungus-Growing Ants (Hymenoptera, Formicidae, Attini). *Biological Journal of the Linnean Society*. 81:39-48.
- Godoy, W. A. C. 2012. Padrões ecológicos e tamanhos populacionais críticos: sensores importantes em modelagem e controle. *Oecologia Australis* 16:32-42.
- Gotelli, N. J., Ellison, A. M. 2013. *A Primer of Ecological Statistics*. Second Edition. Sinauer Associates.
- Grandeza, L.A.O., Moraes, J.C. and Zanetti, R. 1999. Estimativa do Crescimento Externo de Ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em Areas de Reflorestamento com Eucalipto. *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil* 28:59-64.
- Harkness, R. D., Isham, V. 1983. A Bivariate Spatial Point Pattern of Ants' Nests. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*. 32:293-303.
- Hughes, W. O. H., Eilenberg, J., Boomsma, J. J. 2002. Trade-offs in group living: transmission and disease resistance in leaf-cutting ants. *Proceedings of the Royal Society of London B* 269:1811–1819.
- Jactel, H. and Brockerhoff, E.G. 2007. Tree Diversity Reduces Herbivory by Forest Insects. *Ecology Letters* 10: 835-848.
- Keiser, C., Vojvodic, S., Butler, I., Sartain, E., Rudolf, V. and Saltz, J. 2018. Queen presence mediates the relationship between collective behaviour and disease susceptibility in ant colonies. *Journal of Animal Ecology* 87: 379-387.
- Lasmar, O., Zanetti, R., dos Santos, A., Fernandes, B. V. 2012. Use of Geostatistics to Determine the Spatial Distribution and Infestation Rate of Leaf-Cutting Ant Nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* Plantations. *Neotropical Entomology* 41:324–332.
- Latzka, A. W. Hansen, G. J. A., Kornis, M., Vander Zanden, M. J. 2016. Spatial heterogeneity in invasive species impacts at the landscape scale. *Ecosphere* 7, DOI: 10.1002/ecs2.1311.
- Leal, I., Wirth, R. and Tabarelli, M. 2014. The Multiple Impacts of Leaf-Cutting Ants and Their Novel Ecological Role in Human-Modified Neotropical Forests. *Biotropica* 46:516-528.

- Lima, E. A. B. F., Ferreira, C. P., Godoy, W. A. C. 2009. Ecological Modeling and Pest Population Management: a Possible and Necessary Connection in a Changing World. *Neotropical Entomology* 38:699-707.
- Los, A., Bienkowska, M., Strachecka, A. 2019. Honey bee (*Apis mellifera*) as an alternative model invertebrate organism. *Medycyna Weterynaryjna-Veterinary Medicine-Science and Practice* 75:93-106.
- Mathiopoulos, J. 2011. How to be a Quantitative Ecologist: The 'A to R' of Green Mathematics and Statistics.
- Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverri, Armbrecht, I., Farji-Brener, Calle, Z. 2012. Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management* 58:225-247.
- Morais, P., Longue, D., Colodette, J., Morais, E. and Jardim, C. 2017. Influence of Clone Harvesting Age of *Eucalyptus grandis* and Hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in the Wood Chemical Composition and in Kraft Pulpability. *Ciencia Florestal* 27: 237-248.
- Nickele, M. A., Reis Filho, W., Pie, M. R. 2015. Sequential load transport during foraging in *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) leaf-cutting ants. *Myrmecological News* 21:73-82.
- Pielstrom, S., Roces, F. 2013. Sequential Soil Transport and Its Influence on the Spatial Organisation of Collective Digging in Leaf-Cutting Ants. *Plos One* DOI: 10.1371/journal.pone.0057040.
- Ramos, V., L. Forti, A. Andrade, N. Noronha, and R. Camargo. 2008. Density and spatial distribution of *Atta sexdens rubropilosa* and *Atta laevigata* colonies (Hym., Formicidae) in *Eucalyptus* spp. forests. *Sociobiology* 51:775-781.
- Reis, M. A., Zanetti, R., Scolforoll, J. R. S., Fereira, M. Z., 2010. Amostragem de formigas-cortadeiras (Hymenoptera: formicidae) em eucaliptais pelos métodos de transectos em faixa e em linha. *Revista Arvore* 34: 1101-1108.

- Sandoval-Becerra, F. M., Sanchez-Reyes, U. J., Clark, S. M., Venegas-Barrera, C. S., Horta-Vega, J. V., Nino-Maldonado, S. 2018. Influence of Habitat Heterogeneity on Structure and Composition of a Chrysomelidae (Coleoptera) Assemblage in a Temperate Forest in Northeast Mexico. *Southwestern Entomologist* 43: 115-130.
- Segev, U., Kigel, J., Lbin, Y., Tielborger, K. 2015. Ant Abundance along a Productivity Gradient: Addressing Two Conflicting Hypotheses. *Plos One* DOI: 10.1371/journal.pone.0131314.
- Shilovsky, G. A., Putyatina, T. S., Ashapkin, V. V. Rozina, A. A., Lyubetsky, V. A. Minina, E. P., Bychkovskaia, I. B., Markov, A. V. Skulachev, V. P. 2019. Ants as Object of Gerontological Research. *Biochemistry-Moscow* 83: 1489-1503.
- Silva, P. S. D., Bieber, A. G. D., Knoch, T. A., Tabarelli, M., Leal, I. R., Wirth, R. 2013. Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail networks to pioneer plant availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 147:110-119.
- Sumana, A., Sona, C., 2013. Key relocation leaders in an Indian queenless ant. *Behavioural processes* 97: 84-89.
- Wang, C., Abdul-Rahman, H., Ch'ng, W. S. 2016. Ant colony optimization (aco) in scheduling overlapping architectural design activities. *Journal of Civil Engineering and Management* 22(6): 780–791.
- Wiezik, M., Gallay, I., Wiezikova, A., Ciliak, M., Dovciak, M. 2017. Spatial structure of traditional land organization allows long-term persistence of large *Formica exsecta* supercolony in actively managed agricultural landscape. *Journal of Insect Conservation* 21: 257-266 DOI: 10.1007/s10841-017-9973-3.
- Zanetti, R., Vilela, E. F., Zanuncio, J. C., Leite, H. G., Freitas, G. D. 2000. Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saúveiros em eucaliptais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1911-1918.
- Zanetti, R., Zanuncio, J., Santos, J., da Silva, W., Ribeiro, G., Lemes, P. 2014. An Overview of Integrated Management of Leaf-Cutting Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian Forest Plantations. *Forests* 5: 439-454.

5 EFEITO DE BORDA EM NINHOS DE *Atta sexdens rubropilosa*, ANALISADO POR MAPAS DE ISOLINHAS LOCAIS E REGRESSÃO COM ERROS DE POISSON

Resumo

Neste estudo foi analisada a relação entre bordas de tamanhos diferentes com a abundância de ninhos velhos ou incipientes de *Atta sexdens rubropilosa* em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. Os resultados obtidos neste tipo de abordagem são úteis para o contexto de estratégias de manejo de áreas florestais e adjacências, com vistas ao controle de formigas cortadeiras, com base na distribuição espacial de ninhos e configuração de bordas. A relação entre a distância da mata nativa ou eucalipto e a abundância de ninhos velhos foi significativa na rebrota de eucalipto, porém esta relação não foi significativa para ninhos incipientes. No Cerrado, a distância da rodovia ou a distância da rebrota mostraram relações significativas com a abundância de ninhos velhos. Em ninhos incipientes do Cerrado a distância da rebrota não teve relação significativa com o número de ninhos. Já para a mata nativa, a relação entre a distância das áreas de colheita de eucalipto e ninhos velhos ou incipientes foi altamente significativa.

Palavras-chave: Vizinhança de ninhos; Distância de bordas; Formigas cortadeiras

Abstract

In this study, the relationship between edges with different sizes and abundance of old or incipient nests of *Atta sexdens rubropilosa* in eucalypt regrowth, Cerrado and native forest was analysed. The results obtained in this type of approach are useful for the context of management of forest areas and adjacencies, aiming the control of leaf cutting ants, based on spatial distribution of nests and edge configurations. The relationship between the distance of native forest or eucalypt and the abundance of old nests was significant in eucalypt regrowth, but not significant for incipient nests. In Cerrado, the relationship between the highway distance or the distance of eucalypt regrowth, and abundance of old nests was significant. For incipient nests in Cerrado, the relationship between the distance of eucalypt regrowth and nest abundance was not significant. For native forest, the relationship between distance of harvest areas and old or incipient nests was highly significant.

Keywords: Nest neighbourhood; Distance from edges; Leaf cutting ants

5.1 Introdução

Efeito de borda pode ser definido como o impacto causado por faixas externas de determinadas áreas que fazem a vizinhança com outras áreas, sobretudo com diferenças na composição da vegetação sobre a abundância e/ou diversidade de espécies (Murcia, 1995, Zheng & Chen, 2000). Mais especificamente, o efeito de borda pode ser interpretado como uma alteração estrutural na composição ou abundância relativa de espécies, situadas na parte marginal de um fragmento

(Ricklefs, 2008). A criação de bordas de forma geral tende a produzir diferentes efeitos sobre as comunidades, alguns dos quais gerando influências diretas, como por exemplo perdas populacionais advindas de adversidades ambientais, indiretas, baseadas em perdas de indivíduos devido às alterações nos processos interativos entre espécies situadas próximas às bordas e também por forças abióticas, caracterizadas por mudanças climáticas (Murcia, 1995). O surgimento de bordas pode também desencadear mudanças microclimáticas, com implicações sobre a radiação solar e a incidência de ventos, com alcance significativo sobre áreas adjacentes (Turton et al. 1997). As alterações resultantes dos efeitos acima listados tendem a produzir modificações em comunidades de diferentes grupos taxonômicos, incluindo invertebrados (Fowler et al. 1993). Algumas espécies de formigas e besouros, podem ser consideradas como especialistas de borda e positivamente influenciadas por fragmentações, aumentando até mesmo seus tamanhos populacionais (Didham et al. 1996, 1998).

O efeito de borda tem sido muito mais intensamente investigado em cenários de fragmentação florestal, com vistas à conservação (Murcia, 1995) e avaliação da diversidade de espécies, com resultados variados, mas sugerindo até mesmo efeitos positivos sobre a diversidade, como por exemplo em espécies de besouros carabídeos e estafilínídeos (Tóthmérész et al. 2014), visitantes florais de toranja (Chacoff & Aizen, 2006) e insetos galhadores (Langhans & Tockner, 2014). Contudo há também evidências de que a abundância de espécies, incluindo pragas, é também passível de ser encontrada em bordas de sistemas florestais, como relatado para insetos galhadores (Araujo et al. 2011, Akkuzu et al. 2015). Outras questões que envolvem o conhecimento sobre bordas, como planejamento e manejo de áreas agrícolas também são analisadas com base em configurações de bordas (MacRae et al. 2011) e até mesmo a redução da aplicação de defensivos químicos pode ser influência positiva quando se reavalia o impacto dos produtos em bordas (Olson et al. 2004, Carrol et al. 2009).

Em formigas, há estudos enfatizando bordas que relacionam esse aspecto com riqueza e composição de espécies em fragmentos florestais (Sobrinho & Schoereder, 2007) e além da abundância (Dohm et al. 2011). É frequente o encontro de artrópodes em bordas, que podem ter diferentes níveis de possibilidade de penetração, contendo pragas, mas também inimigos naturais, tais como predadores e parasitoides (Bianchi et al. 2006, Macfadyen & Muller, 2013). Apesar da existência de considerável

volume de pesquisas envolvendo bordas de áreas agrícolas e florestais com ênfase em pragas, não há estudos sistemáticos analisando a distribuição de formigas cortadeiras, com vistas a conhecer padrões ecológicos de ocorrência e distribuição espaço temporal de ninhos em áreas colonizadas por ninhos velhos e incipientes, confrontando a presença e distância de bordas com a abundância de ninhos.

Este estudo teve a finalidade de analisar a relação entre bordas de tamanhos diferentes com a abundância de ninhos velhos e incipientes em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa. Os resultados obtidos neste tipo de abordagem são úteis para o contexto de estratégias de manejo de áreas florestais e adjacências, com vistas ao controle de formigas cortadeiras, com base na distribuição espacial de ninhos e configuração de bordas.

5.2 Material e métodos

A metodologia detalhada sobre caracterização das áreas, delineamento, delimitações e coleta de dados está apresentada no capítulo 2 da tese, intitulado “Estatística espacial e estrutura etária de ninhos de formigas cortadeiras”. As informações metodológicas apresentadas neste capítulo descrevem as ações estritamente necessárias para a compreensão dos resultados desta seção. O registro da abundância de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* foi feito em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa, considerando ninhos velhos e incipientes com base em 621 parcelas distribuídas entre as três áreas, com 207 parcelas cada uma delas. Cada área, tem geometria retangular, portanto as áreas são caracterizadas por quatro bordas, porém com cada par tendo tamanhos diferentes. A borda mais longa tem 23 parcelas, medindo um total de 483m e a borda menos extensa 9 parcelas, medindo um total de 216m. O método utilizado para delimitar formigueiros velhos foi o da área total, método que considera o volume de terra removida de cada ninho, estimado pelo produto do maior comprimento pela maior largura de solo removido (Grandeza et al. 1999).

A avaliação do perímetro de concentração de ninhos foi feita pela produção de mapas de isolinhas locais, obtidos por processamento geoestatístico, com base nas médias das abundâncias de cada área, utilizando o software Surfer, versão 10.0. Regressões de Poisson para duas variáveis explicativas simultâneas foram empregadas para analisar a relação entre as bordas (longas e menos extensas) das áreas e a abundância de ninhos velhos e incipientes (Crawley, 2013).

5.3 Resultados

A rebrota de eucalipto tem vizinhança com mata nativa, eucalipto e rodovia. O mapa de isolinhas local (Fig. 1) indica que o perímetro da concentração de densidades de ninhos velhos está limitado entre 50 e 200m no eixo horizontal e entre 150 e 425 no eixo vertical, indicando efeito de borda discreto sobre ninhos velhos, na proximidade com a mata nativa (eixo vertical), porém, com difusão para as regiões mais centrais da rebrota de eucalipto.

Fig. 1. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos velhos em rebrota de eucalipto

A Figura 2 descreve graficamente como as variáveis foram analisadas para investigar possíveis relações entre a distância dos formigueiros e as bordas das áreas estudadas. A figura tem nove quadrados com a diagonal indicando as variáveis independentes, distância da mata nativa (DMN), distância do eucalipto (DE) e a variável dependente (Ninhos). Para visualização deve-se seguir a combinação entre quadrados. Por exemplo, para compreender a influência da presença do eucalipto

sobre a abundância de ninhos, deve-se confrontar o quadrado central (DE) com o quadrado inferior direito (Ninhos). O Resultado pode ser visto logo abaixo do quadrado central. Nota-se nesse resultado uma dispersão de pontos com ligeira tendência para a direita da figura.

A verificação da influência de DMN sobre Ninhos pode ser observada no quadrado inferior à esquerda, quando se nota tendência bastante clara de concentração de pontos entre as distâncias 100 e 200m. A figura 2 também confirma a tendência de concentração de maiores densidades de ninhos próximas à 200m, refletindo a proximidade com a mata nativa, como apresentada na figura 1. A estatística dada por regressão (GLM) com erros de Poisson mostra significância para a relação entre cada uma das variáveis estimadoras do efeito de borda (DMN e DE) e a abundância de ninhos velhos (Tabela 1). Já a relação entre a distância das bordas e abundância de ninhos incipientes não foi significativa para nenhuma das variáveis (Tabela 1). O mapa de isolinhas local (Fig. 3) confirma a inexistência de tendência de distribuição de ninhos incipientes próximos às bordas, sugerindo ausência de efeito de borda sobre ninhos incipientes na rebrota de eucalipto.

Fig. 2. Configuração de duas variáveis independentes, distância da mata nativa (DMN) e distância do eucalipto (DE) em relação aos ninhos velhos da rebrota, para regressão com erros de Poisson.

Tabela 1. Regressão com erros de Poisson para a relação entre bordas e abundância de ninhos em rebrota de eucalipto

Bordas x ninhos velhos

	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,73	0,16	-4,5	5,89e ⁻⁶
DMN	0,007	0,0008	9,09	<2e ⁻⁶
DE	0,002	0,0007	3,3	0,0009
Bordas x ninhos incipientes				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,43	0,21	-2,05	0,04
DMN	0,002	0,001	1,6	0,11
DE	-0,0003	0,001	-0,34	0,74

Fig. 3. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos incipientes em rebrota de eucalipto

Fig. 4. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos velhos no Cerrado

O efeito de borda sobre ninhos velhos no Cerrado pode ser visto na figura 4, com a concentração de densidades no perímetro compreendido entre 50 e 125m no eixo horizontal e entre 50 e 200m no eixo vertical (Fig. 4). O mapa de isolinhas local indica o efeito de borda da rebrota sobre os ninhos velhos no Cerrado (Fig. 4). Na figura 5, o quadrado esquerdo inferior mostra a concentração das densidades de ninhos velhos no Cerrado, indicando o efeito da rodovia e da rebrota de eucalipto sobre a presença de ninhos. A significância dessas relações pode ser confirmada pelos resultados da análise de regressão com erros de Poisson na Tabela 2.

Fig. 5. Configuração de duas variáveis independentes, distância da rodovia (Drod) e distância da rebrota (DR) em relação aos ninhos velhos do Cerrado, para regressão com erros de Poisson.

Tabela 2. Regressão com erros de Poisson para a relação entre bordas e abundância de ninhos no Cerrado

Bordas x ninhos velhos				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	1,01	0,22	4,55	5,33e ⁻⁰⁶
Drod	-0,01	0,002	-7,44	1,01e ⁻¹³
DR	-0,004	0,001	-2,6	0,009
Bordas x ninhos incipientes				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-0,45	0,37	-1,2	0,23
Drod	-0,02	0,003	-5,31	1,05e ⁻⁰⁷
DR	0,003	0,002	1,54	0,12

No que diz respeito aos ninhos incipientes no Cerrado, nota-se na figura 6 que a concentração das densidades de ninhos está entre 50 e 150m no eixo horizontal e entre 25 e 270m no eixo vertical. Observando a extensão das densidades nota-se aparente influência da rodovia sobre as densidades de ninhos. A figura 7 indica que há evidência de alguma relação da variável Drod com ninhos e pouca entre DR e ninhos. Esse resultado aparente foi confirmado pela análise mostrada na tabela 2, ou seja, a relação entre Drod e Ninhos foi significativa, mas a relação entre DR e ninhos não (Tabela 2).

Fig. 6. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos incipientes no Cerrado

Fig. 7. Configuração de duas variáveis independentes, distância da rodovia (Drod) e distância da rebrota (DR) em relação aos ninhos incipientes do Cerrado, para regressão com erros de Poisson.

Fig. 8. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos velhos na mata nativa

Os ninhos velhos de *Atta sexdens rubropilosa* tiveram distribuição praticamente somente em bordas da mata nativa, com densidades mais altas próximas às áreas de eucalipto com colheitas periódicas, presentes entre os espectros de 150 à 200m no eixo horizontal e 350 à 450m no eixo vertical (Fig. 8). A Figura 9 mostra a concentração das densidades, com tendências que evidenciam a influência das bordas com áreas de colheita no eixo vertical (Harv) e horizontal (Har).

Fig. 9. Configuração de duas variáveis independentes, distância da área de colheita-vertical (Harv) e distância da área de colheita-horizantal (Har) em relação aos ninhos velhos da mata nativa, para regressão com erros de Poisson.

Tabela 3. Regressão com erros de Poisson para a relação entre bordas e abundância de ninhos na mata nativa

Bordas x ninhos velhos				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	-6,52	0,66	-9,84	$<2e^{-16}$
Harv	0,04	0,003	11,65	$<2e^{-16}$
Har	-0,004	0,001	-3,53	0,0004
Bordas x ninhos incipientes				
	Estimativa	Erro padrão	Valor de z	Valor de p
Intercepto	2,26	0,17	12,75	$<2e^{-16}$
Harv	-0,08	0,001	-9,54	$<2e^{-16}$
Har	-0,01	0,002	-8,44	$<2e^{-16}$

Fig. 10. Mapa de isolinhas local indicando distribuição de ninhos incipientes na mata nativa

A figura 10 mostra o reverso da figura 8, com maiores densidades de ninhos incipientes na área de eucalipto e um pouco em rebrota (Fig. 10). As densidades de ninhos incipientes estão distribuídas ao longo de todo o eixo vertical e praticamente por todo o horizontal também, contudo em estreita faixa. A Figura 11 mostra o predomínio das densidades baixas, tanto sob influência da rodovia como da rebrota. As duas variáveis, distância da rodovia (Drod) e distância da rebrota (DR) foram relacionadas com o número de ninhos incipientes (Tabela 3).

Fig. 11. Configuração de duas variáveis independentes, distância da área de colheita-vertical (Harv) e distância da área de colheita-horizontal (Har) em relação aos ninhos velhos da mata nativa, para regressão com erros de Poisson.

5.4 Discussão

O mapa de isolinhas que descreve as densidades dos ninhos velhos mostra um efeito de borda discreto sobre ninhos velhos, na proximidade com a mata nativa mas também com difusão para as regiões mais centrais da rebrota de eucalipto. A presença dos ninhos também em áreas mais centrais pode ser explicada pelo tipo de recurso, ou seja, as folhas de eucalipto que são cortadas pelas formigas. Eucalipto é considerado um recurso de alto consumo por formigas cortadeiras e o comportamento delas tem impactado significativamente o setor florestal brasileiro (Zanetti et al. 2014). A amplitude da presença de ninhos velhos de formigas foi muito semelhante ao comparar a largura com a altura do alcance dos ninhos (largura no eixo horizontal e altura no eixo vertical), sugerindo quase a dimensão de um quadrado para as densidades de formigueiros. Nesse sentido, não se pode ver efeito maior de uma das variáveis sobre a abundância de ninhos velhos, seja a distância da mata nativa como a distância do eucalipto. A regressão de Poisson com influência das duas variáveis confirma essa interpretação, tanto a distância da mata nativa como a distância do eucalipto foram igualmente influentes sobre a abundância de ninhos (Tabela 1). A Figura 2 auxilia a compreender a influência de cada uma das variáveis sobre a abundância de ninhos, já que a distância do eucalipto gera maior dispersão de pontos no plano horizontal que a distância da mata nativa. Isso sugere que a diversificação

de densidades de ninhos encontradas em diferentes distâncias ocorre com maior frequência sobre influência do eucalipto do que da mata nativa.

A maioria dos estudos enfatizando a importância de bordas em diferentes plantios indica que a abundância e riqueza de espécies de herbívoros são positivamente influenciados pelos efeitos positivos advindos das bordas (Wirth et al. 2008). Essa tendência, já observada em diferentes estudos, dá suporte aos resultados obtidos no presente estudo com ênfase em rebrota de eucalipto (Wirth et al. 2008). Contudo, se por um lado, há maior percentual de efeitos positivos sobre os insetos, o reflexo disso se dá com a presença intensa de dados sobre as plantas hospedeiras (Guimarães et al. 2014). A relação entre as duas variáveis, distância da mata nativa ou distância do eucalipto e a abundância de ninhos incipientes não foi significativa, o que sugere que a distância destas bordas não influencia a presença de ninhos incipientes na rebrota de eucalipto.

A comparação entre as figuras 1 e 3 sugere que a distribuição dos ninhos incipientes é ligeiramente mais tendente a aparecer por todo o talhão, assemelhando-se muito mais a um retângulo do que a um quadrado, como identificado em ninhos velhos. De maneira geral, o tamanho de bordas tem se mostrado totalmente influente sobre a abundância de vários grupos taxonômicos de insetos, incluindo formigas (Jokimäki et al. 1998, Holway & Suarez, 2006, Brandão et al. 2011) assim como observado nesse estudo.

Os ninhos velhos do Cerrado situaram-se muito mais entre a rodovia e a rebrota de eucalipto e a relação com as duas variáveis, distância da rodovia e distância da rebrota, caracterizou-se pela influência significativa sobre a abundância de ninhos velhos. A vizinhança do Cerrado com a rebrota de eucalipto tende a trazer benefícios para os formigueiros presentes no Cerrado por conta dos recursos disponíveis na borda entre as duas áreas para sustentar os ninhos ao longo do tempo, sobretudo em períodos de ausência de recursos no Cerrado (Silva et al. 2013). A alta abundância na vizinhança com a rodovia poderia ser explicada por um conjunto de fatores. Talvez um dos mais influentes possa ser o acesso facilitado às rainhas na época de colonização da área por conta da ausência de vegetação na rodovia (Cardoso et al. 2014, Camargo et al. 2016). Além disso, deve-se levar em conta que do outro lado da rodovia está presente também a rebrota de eucalipto, que poderia ser fonte de revoada ao longo dos anos. A figura 5 sugere que para as duas variáveis independentes, distância da rodovia e distância da rebrota, a dispersão de pontos

ocorre mais restritamente, ou seja, em amplitude de valores aproximadamente entre 25 e 125m para ambas as variáveis. Nesse sentido o padrão de configuração da distribuição dos ninhos parece se assemelhar mais a um quadrado que um retângulo.

A relação da distância da rodovia com a abundância de ninhos incipientes foi significativa, mas o mesmo não aconteceu com a distância da rebrota. A inexistência de significância para esse último caso deve-se provavelmente à ligeira expansão dos ninhos em direção ao eucalipto (à direita da figura), diminuindo a abundância relacionada à rebrota. Além disso, o formato geométrico que delimita as densidades mais altas de ninhos incipientes no Cerrado tende muito mais a um retângulo que a um quadrado, indicando que a dispersão de valores também é maior em ninhos incipientes que em ninhos velhos.

Tanto a rebrota de eucalipto quanto o Cerrado, são áreas que têm exposição direta à rodovia, em lados opostos. A exposição de ambas as áreas à rodovia certamente têm de certa forma uma influência similar, que seria o livre acesso de formigas em época de revoada, já que maior incidência solar pode atrair formigas cortadeiras para áreas com estas características (Nickele et al. 2009). Bordas em fragmentos de mata tem geralmente influência sobre o microclima e o equilíbrio de sistemas com essa configuração, razão pela qual tem sido crescente o interesse por estudos enfatizando padrões ecológicos em paisagens florestais associados à formação de bordas (Harper et al. 2005). Como observado na rebrota de eucalipto, as bordas presentes no Cerrado também exercem influência sobre a abundância de formigas (Brandão et al. 2011) e consequentemente sobre seus ninhos.

Com relação à mata nativa, o padrão de distribuição de ninhos velhos foi completamente diferente do padrão de ninhos incipientes. Os ninhos velhos ficaram restritos à vizinhança com plantios de eucalipto sujeitos à colheita periódica, portanto ambientes com alta heterogeneidade de recurso no tempo. Para essas condições, espera-se que os ninhos tenham formigas organizadas em castas e alta plasticidade para se organizarem para o corte de outros substratos que possam suprir as demandas do formigueiro. No caso dos ninhos incipientes a distribuição das densidades foi na borda com a rebrota e com o eucalipto, áreas de fácil obtenção de recursos, o que explicaria o padrão tendendo muito mais ao retângulo do que o encontrado para os ninhos velhos, que se assemelha muito mais a um quadrado. Além disso, ficou evidente a diferença nas densidades entre ninhos velhos e incipientes. Entretanto, os ninhos da mata nativa, sejam velhos ou incipientes, foram os que

mostraram muito mais agregação próxima às bordas, como discutido no capítulo 2 deste estudo (Canuto et al. 2019).

Estudos enfatizando bordas em áreas florestais podem atender diferentes demandas ecológicas, mas talvez as duas vertentes mais comuns são o foco em conservação da biodiversidade e manejo de pragas. No primeiro caso, conservação da biodiversidade, bordas podem ser transições importantes para dar suporte à conservação da diversidade de besouros (Langhans & Tockner, 2014). Em florestas e ambientes agrícolas em geral, há evidências que as bordas têm forte relação com insetos de diferentes grupos taxonômicos, dentre eles, insetos da Ordem Lepidoptera, que, em fragmentos podem atingir densidades maiores ao se afastarem da borda, já que muitos habitam mata secundária, podendo invadir florestas em até 300m para o interior (Schierholz, 1991). Para besouros terrestres em áreas florestais, o efeito de borda já foi documentado, mostrando que diferentes famílias, como por exemplo carabídeos e estafilínídeos, a prevalência pode variar, com diferentes assembleias divergindo por áreas de prevalência, como por exemplo bordas ou pastagens (Tóthmérész et al, 2014) Por outro lado, há casos em que o manejo de pragas nas bordas é suficiente para o controle dessas, com resultados importantes para a redução da aplicação de inseticidas (Olson et al. 2004, Carroll et al. 2009, MacRae et al. 2011).

Referências

- Araujo, W. S., Julião, G. R., Ribeiro, B. A., Silva, I. P., dos Santos, B. B. 2011. Diversity of galling insects in *Styrax pohlii* (Styracaceae): edge effect and use as bioindicators. *Revista de Biologia Tropical* 59:1589-97.
- Akkuzu, E., Dingiloğlu, E., Una, S. 2015. Edge Effects on Gall-Inducing Insect *Mikiola fagi* (Diptera: Cecidomyiidae) in the Oriental Beach Forests. *Pakistan Journal of Zoology* 47: 685-690.
- Bianchi, F., Booij, C. J. H., Tscharntke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 273: 1715–1727.
- Brandão, C. R. F., Silva R. R., Feitosa, R. M. 2011. Cerrado ground-dwelling ants (Hymenoptera: Formicidae) as indicators of edge effects *Zoologia* 28: 379–387.

- Camargo, R., Forti, L., Matos, C., Caldato, N. and Fonseca, O. 2016. Is the initial nest depth adapted to favorable conditions for the incipient colony in leaf-cutting ants? *Sociobiology*, 63:792-799.
- Canuto, D. M. F., Reis, S. F., Godoy, W. A. C. 2019. Spatial Statistics and Age Structure of Leaf Cutting Ant Nests. *Open Journal of Statistics*, 9: 196-217.
- Cardoso, S., Forti, L., Nagamoto, N. and Camargo, R. 2014. First-Year Nest Growth in the Leaf-Cutting Ants *Atta bisphaerica* and *Atta sexdens rubropilosa*. *Sociobiology*, 61: 243-249.
- Carroll, M.W., Radcliffe, E.B., MacRae, I.V., Ragsdale, D.W., Olson, K.D. and Badibanga, T., 2009. Border treatment to reduce insecticide use in seed potato production: biological, economic, and managerial analysis. *American Journal of Potato Research*, 86 p.31. doi.org/10.1007/s12230-008-9058-7.
- Chacoff, N. P., Aizen, M. A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43: 18-27.
- Crawley, M.J. 2013. *The R book*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Didham, R., Ghazoul, J., Stork, N.E., Davis, A. J. 1996. Insects in fragmented forests: a functional approach. *Trends in Ecology and Evolution* 11:255–260.
- Didham, R. K., Hammond, P. M., Lawton, J. H., Eggleton, P., Stork, N. E. 1998. Beetle species responses to tropical forest fragmentation. *Ecol Monogr* 68:295–323.
- Dohm, C., Leal, I. R., Tabarelli, M., Meyer, S. T., Rainer Wirth. 2011. Leaf-cutting ants proliferate in the Amazon: an expected response to forest edge? *Journal of Tropical Ecology* 27:645–649.
- Fowler, H. G., Silva, C. A., Venticinque, E. 1993. Size, taxonomic and biomass distribution of flying insects in Central Amazonia: Forest edge vs. Understory. *Revista de Biologia Tropical* 41:755–760.
- Guimarães, C. D. C., Viana, J. P. R., Cornelissen, T. 2014. A Meta-Analysis of the Effects of Fragmentation on Herbivorous Insects. *Environmental Entomology* 43: 537-545.
- Harper, K.A., Macdonald, E., Burton, P.J., Chen, J., Brosnokske, K.D., Saunders, S.C., Euskirchen, E.S., Roberts, D., Jaiteh, M.S., Esseen, P. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, 19:768–782.

- Holwaya, D. A., Suarez, A. V. 2006. Homogenization of ant communities in Mediterranean California: The effects of urbanization and invasion. *Biological Conservation* 127: 319 – 326.
- Jokimäki, J., Huhta, E., Itämies, J., Rahko, P. 1998. Distribution of arthropods in relation to forest patch size, edge, and stand characteristics. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1068–1072.
- Langhans, S. D., Tockner, K. 2014. Edge effects are important in supporting beetle biodiversity in a Gravel-Bed River Floodplain. *PLoS ONE* 9(12): e114415. doi:10.1371/journal.pone.0114415
- Macfadyen, S. 2013. Edges in Agricultural Landscapes: Species Interactions and Movement of Natural Enemies. *PlosOne*, 8: e59659.
- MacRae, I., Carroll, M. and Zhu, M., 2011. 8 Site-Specific Management of Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Sulzer). In *GIS Applications in Agriculture*, Volume Three: Invasive Species (pp. 167-189). CRC Press.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10:58–62.
- Nickele, M.A., Reis Filho, W., Oliveira, E.B. de, Iede, E.T. 2009. Densidade e tamanho de formigueiros de *Acromyrmex crassispinus* em plantios de *Pinus taeda*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:347-353.
- Olson, K.D., Badibanga, T.M., Radcliffe, E.B., Carroll, M., MacRae, I. and Ragsdale, D.W., 2004. Economic analysis of using a border treatment for reducing organophosphate use in seed potato production (No. 13237). University of Minnesota, Department of Applied Economics.
- Ricklefs, R. E. 2008. *The Economy of Nature*. W. H. Freeman. 700p.
- Silva, P., Bieber, A., Knoch, T., Tabarelli, M., Leal, I., Wirth, R. 2013. Foraging in highly dynamic environments: leaf-cutting ants adjust foraging trail networks to pioneer plant availability. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 147: 110-119.
- Sobrinho, T. G., Schoereder, J. H. 2007. Edge and shape effects on ant (Hymenoptera: Formicidae) species richness and composition in forest fragments. *Biodiversity and Conservation* 16: 1459–1470.
- Schierholz, T. 1991. Dinâmica biológica de fragmentos florestais. *Ciência Hoje*, 12:22-9.
- Turton, S. M., Freiburger, H. J. 1997. Edge and aspect effects on the microclimate of a small tropical forest remnant on the Atherton Tableland, Northeastern Australia.

In: Laurance WF, Bierregard Jr RO (eds) Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities. University of Chicago Press, Chicago, pp 45–54, 616p.

Tóthmérész, B., Nagy, D. D., Mizser, S., Bogyó, D, Magura, T. 2014. Edge effects on ground-dwelling beetles (Carabidae and Staphylinidae) in oak forest-forest edge-grassland habitats in Hungary. *European Journal of Entomology* 111: 686-691.

Wirth R., Meyer S.T., Leal I.R., Tabarelli M. 2008. Plant Herbivore Interactions at the Forest Edge. In: Lüttge U., Beyschlag W., Murata J. (eds) *Progress in Botany. Progress in Botany*, vol 69. Springer, Berlin, Heidelberg.

Zanetti, R., Zanuncio, J., Santos, J., da Silva, W., Ribeiro, G., Lemes, P. 2014. An Overview of Integrated Management of Leaf-Cutting Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian Forest Plantations. *Forests*, 5, 439-454.

Zheng, D., Chen, J. 2000. Edge effects in fragmented landscapes: a generic model for delineating area of edge influences (D-AEI). *Ecological Modelling* 132:175–190.

6 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL, RIQUEZA DE ORDENS E ABUNDÂNCIA DE INSETOS EM ÁREAS COLONIZADAS POR FORMIGAS CORTADEIRAS

Resumo

Nesse estudo, analisou-se a riqueza e abundância de Ordens de insetos em rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa, áreas colonizadas por formigas cortadeiras. A mata nativa foi a área com maior riqueza e abundância de Ordens, seguida pelo Cerrado, tendo a maior abundância registrada para a Ordem Coleoptera. A maior similaridade entre áreas ocorreu entre Cerrado e mata nativa e a Ordem Coleoptera exerceu papel importante na determinação dos coeficientes de similaridade em razão da alta abundância exibida de maneira geral. Riqueza e abundância foram altamente correlacionadas entre si, contudo formigueiros velhos e incipientes exibiram fracas e moderadas correlações com a abundância e riqueza de Ordens nas áreas estudadas. De maneira geral o estudo sugere que o tipo de vegetação predominante nas áreas avaliadas influencia significativamente a riqueza e abundância de Ordens. Cerrado e mata exibem similaridade significativa em termos de composição de Ordens e as correlações entre variáveis são altamente dependentes da natureza delas, das diferentes áreas e das idades de formigueiros.

Palavras-chave: Diversidade de insetos; Áreas com formigas cortadeiras; Composição de espécies

Abstract

In this study the richness and abundance of orders were investigated in eucalypt regrowth, Cerrado and native forest, areas colonized by leaf cutting ants. Native forest was the area exhibiting the highest richness and abundance of orders, followed by Cerrado, while the highest abundance was observed in Coleoptera. The highest similarity between areas occurred between Cerrado and native forest. Also, the Coleoptera order played an important role in determining the similarity coefficient in response to high abundance exhibited in most of cases. Richness and abundance were highly correlated to each other. However, old and incipient ant nests exhibited weak and moderate correlations with abundance and richness in the studied areas. In general, the study suggests that the predominant vegetation in the evaluated areas significantly influences the richness and abundance of orders, Cerrado and native forest exhibited significant similarity in terms of order composition and the correlations between variables, which are highly dependent on their own nature, different areas, and age of ant nests.

Keywords: Diversity of insects; Areas with leaf cutting ants; Species composition

6.1 Introdução

Formigas cortadeiras são insetos importantes sob vários aspectos, mas essencialmente por constituírem grupo taxonômico capaz de desempenhar importante papel ecológico realizando serviços ecossistêmicos (Leal et al. 2014). Os serviços realizados traduzem-se na aeração do solo e ciclagem de nutrientes por conta do hábito que desenvolveram de cortar folhas para fornecer recursos ao fungo simbiote que cultivam nas colônias (Brenner & Silva, 1995). As colônias das formigas cortadeiras, em especial as pertencentes ao gênero *Atta*, são caracterizadas por ninhos contendo diversas câmaras para alojamento do fungo e para o destino dos resíduos do formigueiro (Holldobler & Wilson, 2009, Zanetti et al. 2014).

Os formigueiros são encontrados em diferentes áreas com diferentes perfis de vegetação e por conta de serem as formigas generalistas na obtenção de substratos vegetais para cultivarem o fungo simbiote, acabam por atacar áreas agrícolas e florestais (Ramos et al. 2008, Perin & Guimaraes, 2012, Arenas & Roces, 2017). Os recursos florestais são de alta relevância para diversas espécies de formigas cortadeiras, razão pela qual centenas de formigueiros são encontrados em florestas naturais, plantadas e áreas de vegetação adjacentes (Canuto et al. 2019).

Florestas são também colonizadas por diferentes Ordens de insetos, que representam parcela considerável da fauna em busca de recursos para a subsistência. A distribuição das Ordens de insetos está, de maneira geral, associada à disponibilidade de recursos, sejam os substratos sujeitos à decomposição no solo, presas ou hospedeiros, ou ainda plantas hospedeiras que lhes forneçam nutrientes, seja pela presença de néctar, seiva ou os próprios tecidos vegetais que podem ser cortados por herbívoros (Borrer et al. 2004). Os recursos vegetais obtidos por diferentes insetos muitas vezes são compartilhados com formigas cortadeiras, o que torna possível a coocorrência de formigas e insetos das mais variadas Ordens em muitas áreas. Grande parte dos insetos de diferentes Ordens exploram recursos em diferentes áreas, também exploradas por formigas cortadeiras. Dentre as diferentes áreas, algumas exibem maior heterogeneidade de plantas, como por exemplo as florestas nativas, o que provavelmente atrai diferentes Ordens de insetos, fazendo do local área capaz de sustentar maior diversidade de Ordens, se comparada a áreas com vegetação restrita, como é o caso dos plantios de eucalipto.

No Brasil, é comum o encontro de plantios de eucalipto com vizinhança caracterizada por matas nativas e também o Cerrado. Áreas como estas são

geralmente colonizadas por diferentes proporções em relação ao total de Ordens de insetos, com estrutura de comunidade fortemente associada à disponibilidade de recursos para subsistência populacional das espécies (Ramos et al. 2008, Perin & Guimaraes, 2012). Portanto, as proporções de insetos habitando essas áreas determinam diferentes riquezas e abundâncias, que também são influenciadas pela presença uns dos outros. Não existem estudos sistemáticos analisando as possíveis relações decorrentes da ocupação simultânea de áreas por formigas cortadeiras e diferentes Ordens de insetos, sobretudo em ambientes florestais.

O presente estudo teve a finalidade de investigar a distribuição espacial de insetos florestais em áreas colonizadas por formigas cortadeiras e correlacionar variáveis descritoras da proporção de insetos, seja no âmbito de diversidade ou abundância. O estudo também procurou analisar a correlação de formigas cortadeiras habitando formigueiros com diferentes idades com a fauna entomológica encontrada e particularmente, Ordens específicas de insetos, sobretudo visando encontrar evidências de associações capazes de sugerir possíveis relações ecológicas interativas, como por exemplo competição, predação ou parasitismo.

6.2 Material e métodos

A metodologia que descreve as áreas de coleta e demarcação de parcelas foi apresentada detalhadamente no capítulo II, intitulado Estatística espacial e estrutura etária de ninhos de formigas cortadeiras. Assim, nessa seção será apresentada apenas a metodologia específica para compreensão das análises de dados e dos resultados, em função da coleta de insetos de diferentes Ordens.

6.2.1 Distribuição das armadilhas nos ambientes de rebrota, mata nativa e Cerrado

As armadilhas utilizadas foram do tipo *pitfall*, confeccionadas a partir de potes de 22cm de altura por 9cm de largura. Em cada parcela foi feita escavação no centro, com as mesmas dimensões da armadilha, para instalação de cada uma delas. Para melhor organização, as armadilhas foram enumeradas na sequência de acordo com cada parcela. As armadilhas permanecem 24 horas no local, com coletas realizadas semanalmente durante 12 meses. Os dados utilizados foram obtidos a partir da abundância média mensal de insetos coletados.

6.2.2 Análises estatísticas

A normalidade dos dados foi investigada aplicando o teste de Shapiro-Wilk. A riqueza de Ordens foi estimada pela contagem do número de Ordens obtidas nas áreas rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa (Magurran, 2013). A abundância de insetos em cada Ordem foi estimada a partir da média mensal de insetos coletados nas armadilhas de cada parcela. Os índices faunísticos de Shannon, Simpson e Berger-Parker foram utilizados para analisar a diversidade, de forma a analisar e discutir os aspectos teóricos de cada um deles. O índice de Shannon tem alta sensibilidade ao tamanho amostral (Magurran, 2013) e foi empregado, a princípio, por levar em conta esse aspecto, visto que nas três áreas de mata e no Cerrado a abundância de insetos para algumas Ordens foi bastante alta. Contudo, o índice também assume que indivíduos são aleatoriamente amostrados de uma comunidade infinitamente grande e que todas as espécies, aqui tratadas como Ordens, estão representadas na amostra (Pielou, 1975). Por outro lado, o índice pode dificultar a interpretação no que diz respeito à riqueza de espécies e uniformidade, já que o aumento no valor do índice pode advir tanto de maior riqueza como de uniformidade, ou ainda de ambos os fatores (Magurran, 2013). O índice de Simpson, por sua vez, enfatiza a dominância em oposição à riqueza, cenário visível nos resultados obtidos no presente estudo. Contudo, o índice não é medida pura de uniformidade (Magurran, 2013). Assim, o índice de Berger-Parker foi também estimado por considerar dominância, mas ao mesmo tempo por também levar em conta a abundância proporcional da espécie, portanto considerando indiretamente a questão a uniformidade.

A comparação da composição de Ordens entre as áreas foi feita por análise de similaridade, considerando pares de áreas, ou seja, rebrota de eucalipto x Cerrado, rebrota de eucalipto x mata nativa e Cerrado x mata nativa, utilizando o método de distância Bray-Curtis para determinar a proporção de similaridade ou dissimilaridade (distância) na abundância das espécies. A similaridade de Bray-Curtis é escrita como $2\sum_{i=1}^S \min(ni1, ni2) / N$, em que, no presente estudo, N é a soma de indivíduos de todas as Ordens e parcelas, e $\min(ni1, ni2)$ é a menor das duas abundâncias da Ordem i , entre as duas parcelas. Como já definido, $ni1$ e $ni2$ são as abundâncias da i -ésima Ordem na primeira e segunda parcela e S é o total de Ordens. As análises foram realizadas com o pacote BiodiversityR (<https://cran.r-project.org/web/packages/BiodiversityR/index.html>). Os resultados são expressos em

matrizes 2 x 2, pela obtenção do coeficiente de similaridade, com valores entre 0 e 1, com zero denotando absoluta similaridade e 1 absoluta dissimilaridade.

O teste de correlação de Spearman foi aplicado por se ter concluído que os dados utilizados no estudo não seguem distribuição normal. O coeficiente de Spearman foi utilizado para investigar as seguintes correlações: abundância de Ordens x riqueza de Ordens, abundância de formigueiros velhos e novos x abundância e riqueza de Ordens.

6.3 Resultados

A Figura 1 mostra a abundância média anual de insetos em diferentes Ordens, comparada entre as três áreas de coleta, Rebrotas de eucalipto, Cerrado e mata nativa. A abundância foi claramente diferente entre as três áreas. A maior abundância média de insetos ao longo dos 12 meses foi encontrada na mata, com 741 indivíduos registrados, seguida do Cerrado, com 577 indivíduos e rebrota com 86. A Ordem Coleoptera foi a mais abundante em todas as áreas investigadas e a segunda Ordem com maior abundância de insetos foi Hymenoptera para rebrota e mata e Diptera para Cerrado (Fig.1).

Figura 1. Abundância de insetos por Ordem distribuída nas três áreas de coleta, rebrotas, Cerrado e mata

As Figuras 2, 3 e 4 indicam a distribuição de abundância nas três áreas em que as armadilhas foram colocadas, com comparações percentuais entre Ordens, indicando a riqueza pela menção do número de Ordens em cada área. A riqueza na rebrota de

eucalipto totalizou 13 Ordens (Fig. 2) e foi menor que as encontradas no Cerrado e Mata, que totalizaram igualmente 16 Ordens (Figs. 3 e 4). Comparativamente as Ordens não coletadas na rebrota foram Hemiptera, Trichoptera e Strepsiptera. O padrão de distribuição exibido nas três áreas foi bastante similar, tendo Coleoptera como a Ordem dominante (Figs. 2 – 4).

Figura 2. Distribuição percentual de insetos das Ordens coletadas em Rebrota de eucalipto

Figura 3. Distribuição percentual de insetos das Ordens coletadas em Cerrado

Figura 4. Distribuição percentual de insetos das Ordens coletadas em mata nativa

Os valores do índice de Shannon e Simpson foram para a rebrota de eucalipto 2,34 e 0,87 respectivamente, para o Cerrado, 1,08 e 0,42 respectivamente e para a mata 1,07 e 0,4. Os valores encontrados para o índice Berger-Parker foram 0,22, 0,75 e 0,76 respectivamente para rebrota, Cerrado e mata.

Tabela 1. Similaridade na composição de Ordens pela distância ecológica de Bray-Curtis entre rebrota e Cerrado, rebrota e mata, Cerrado e mata

Todas as Ordens		
	Rebrota	Cerrado
Cerrado	0,79	0
Mata	0,80	0,15
Sem Coleoptera		
	Rebrota	Cerrado
Cerrado	0,51	0
Mata	0,49	0,19
Somente para Coleoptera		
	Rebrota	Cerrado
Cerrado	0,91	0
Mata	0,93	0,13
Somente para Hymenoptera		
	Rebrota	Cerrado
Cerrado	0,23	0
Mata	0,43	0,15
Somente para Diptera		
	Rebrota	Cerrado
Cerrado	0,81	0
Mata	0,82	0,05

Examinando a tabela 1 como um todo, nota-se claramente que a similaridade entre o Cerrado e a mata tende muito mais à zero que as outras combinações. Esse resultado indica que entre Cerrado e mata ocorre a maior similaridade na diversidade de Ordens entre as áreas estudadas. A combinação Cerrado x mata produziu a maior similaridade (em abundância) de todas as combinações quando foi avaliada somente para a Ordem Diptera, exibindo o valor de 0,05 (Tabela 1). De maneira geral, foram observadas muito mais dissimilaridades do que similaridades, já que para os 15 valores gerados na análise apenas 5 são bem próximos à zero. As maiores dissimilaridades foram encontradas nas combinações rebrota x Cerrado e rebrota x mata, quando avaliadas somente para a Ordem Coleoptera, portanto examinando a abundância (Tabela 1).

Na combinação de áreas levando em conta insetos de todas as Ordens encontradas, as dissimilaridades foram altas nas combinações rebrota x Cerrado e rebrota x mata. Na análise comparativa entre áreas considerando a ausência da Ordem Coleoptera, foram encontrados valores intermediários de dissimilaridade nas combinações rebrota x Cerrado e rebrota x mata. Na comparação entre áreas para a

Ordem Hymenoptera, a combinação rebrota x Cerrado indicou valor tendendo mais à similaridade do que à dissimilaridade (0,23), sugerindo que nesse caso parece haver maior semelhança na abundância de insetos desta Ordem entre as áreas. Contudo, a similaridade entre mata e Cerrado teve coeficiente menor, indicando portanto que as áreas têm maior semelhança no tocante à abundância de himenópteros do que a combinação rebrota x Cerrado (0,15). Já para a combinação rebrota x Mata o valor encontrado foi intermediário (Tabela 1).

O teste de correlação de Spearman foi aplicado para analisar a correlação entre a abundância e a riqueza médias de insetos na rebrota de eucalipto, resultando em alta significância e alta correlação positiva entre as duas variáveis ($p < 0,001$, $\rho = 0,83$). Para o Cerrado a correlação também foi significativa e alta entre abundância e riqueza ($p < 0,001$, $\rho = 0,74$). A correlação entre a abundância e a riqueza de insetos na mata nativa, registou também alta significância e alta correlação positiva ($p < 0,001$, $\rho = 0,78$).

A relação entre riqueza e abundância média nas parcelas da rebrota de eucalipto indicou baixa abundância e baixa riqueza (Figura 5). Já a relação entre a abundância e riqueza média nas parcelas do Cerrado exibiu claramente um padrão com maior dispersão de pontos se comparado à rebrota de eucalipto, indicando que a trajetória dos dados tende mais a um comportamento assintótico quando observada da menor para a maior riqueza (Fig. 6). A relação entre abundância e diversidade na mata foi aparentemente linear, porém também com alta dispersão de pontos entre parcelas (Fig. 7).

Figura 5. Correlação entre riqueza e abundância média de Ordens de insetos em parcelas na rebrota de eucalipto

Figura 6. Correlação entre riqueza e abundância média de Ordens de insetos em parcelas no Cerrado

Figura 7. Correlação entre riqueza e abundância média de Ordens de insetos em parcelas na mata nativa

O teste de correlação de Spearman aplicado à análise de correlação entre número de formigueiros velhos e a abundância de insetos nas Ordens da rebrota de eucalipto indica uma correlação negativa fraca, porém significativa ($p < 0,01$, $\rho = -0,17$). Já a correlação entre número de formigueiros novos e a abundância de insetos nas Ordens da rebrota não foi significativa ($p > 0,05$). A correlação entre número de formigueiros velhos e a riqueza de Ordens foi significativa na rebrota, resultando porém em fraca correlação negativa ($p < 0,05$, $\rho = -0,14$). Por outro lado, a correlação entre formigueiros novos e a riqueza de Ordens não foi significativa para a rebrota de eucalipto ($p > 0,05$).

A correlação entre o número de formigueiros velhos e a abundância de insetos nas Ordens no Cerrado não foi significativa ($p > 0,05$). Já a correlação entre o número de formigueiros novos e a abundância de insetos nas Ordens foi significativa apesar de fraca e negativa no Cerrado ($p < 0,05$, $\rho = -0,15$). A correlação entre o número de formigueiros velhos e a riqueza foi significativa, exibindo fraca correlação negativa para esta área ($p < 0,01$, $\rho = -0,15$). A correlação entre o número de formigueiros novos e a riqueza também foi significativa no Cerrado, com fraca correlação negativa ($p < 0,001$, $\rho = -0,27$).

Os resultados da análise de correlação confrontando número de formigueiros velhos com abundância de insetos nas Ordens em mata nativa foi significativa contudo a avaliação indica fraca correlação negativa ($p < 0,001$, $\rho = -0,29$). Já a correlação entre número de formigueiros novos e abundância de insetos foi significativa e com coeficiente indicando correlação moderada na mata ($P < 0,001$, $\rho = 0,60$). O teste de correlação entre número de formigueiros velhos e a riqueza de Ordens foi significativa para mata nativa, porém com correlação fraca negativa ($p < 0,001$, $\rho = -0,28$). A correlação entre número de formigueiros novos e a riqueza foi também significativa e mostrou correlação moderada na mata ($p < 0,001$, $\rho = 0,48$).

6.4 Discussão

A maior abundância média de insetos foi observada na mata, seguida do Cerrado, sendo a rebrota a área com menor abundância de Ordens. A riqueza foi igual para Cerrado e mata, totalizando 16 Ordens e em ambas maior que a rebrota que exibiu 13 Ordens. Na rebrota de eucalipto a riqueza foi menor em razão da ausência das Ordens Hemiptera, Trichoptera e Strepsiptera. A despeito da pequena diferença encontrada nesse estudo em termos de riqueza de Ordens, a abundância foi bem diferente entre as três áreas, com valores muito baixos na rebrota de eucalipto, se comparados às outras áreas. Já é conhecido que em grandes extensões de monoculturas há na maioria das vezes alta abundância de insetos, porém, com menor diversidade deles (Eckehard et al. 2013). No presente estudo entretanto, a diversidade foi ligeiramente menor na rebrota, mas a abundância de insetos nessa área também foi expressivamente menor que nas outras duas.

Inversões nos padrões de distribuição de espécies em ambientes florestais não são incomuns e os resultados provavelmente dependem da interação entre fatores, dentre eles, tamanho da área, estrutura etária das plantas presentes, processos

regenerativos em florestas, incluindo de certa forma a rebrota, e também o perfil vegetal da vizinhança das áreas, expresso essencialmente pela diversidade e/ou dominância de espécies de plantas. A rebrota de eucalipto na Estação experimental de Itatinga ocupa 29,77 ha, o Cerrado 14,56 ha e a mata nativa 44,37 ha. A julgar exclusivamente pelo tamanho das áreas, a mata nativa foi a que exibiu a maior abundância de insetos nas Ordens coletadas. Assim, pelo menos em parte, o resultado poderia ser explicado em função do tamanho da área.

Contudo, a menor área é o Cerrado e exibiu resultados intermediários entre a mata e a rebrota. Sob esse aspecto, é importante ressaltar que as características da área de rebrota envolvem períodos de transição (Moraes et al. 2017), principalmente nos anos subsequentes à colheita de eucalipto. Há evidências mostrando significativo decréscimo tanto na abundância como na riqueza de espécies, em áreas submetidas à colheita, ou mesmo ao desbaste (Savilaakso et al. 2009). Por outro lado, Cerrado e mata nativa não estão sujeitos à essa prática sistemática e periódica, o que provavelmente contribui com maior diversidade, abundância e estabilidade na composição de espécies.

A discussão sobre estabilidade na diversidade de espécies em sistemas naturais já vem de algum tempo (McCann, 2000) e talvez a principal causa atribuída e analisada em diversos estudos sobre sua existência, tenha sido a alta frequência de interações fracas em biosistemas. Por interações fracas pode-se entender associações ecológicas não intensas entre espécies. Por exemplo, se predadores generalistas têm acesso à grande diversidade de presas na mesma proporção, é muito provável que suas taxas de predação não sejam altas em razão da disponibilidade de diferentes fontes de recurso. Já em sistemas com baixa diversidade de presas, os predadores não têm muitas alternativas e acabam por exibir taxas de ataque muito maiores sobre pequeno número de presas (McCann, 2000, Rooney & McCann, 2012). Esse tipo de relação pode ser bastante comum em áreas como as avaliadas no presente estudo.

A Ordem com maior abundância em todas as áreas investigadas foi Coleoptera. A Ordem Coleoptera tem geralmente alta diversidade de espécies e alta abundância de insetos em vários ambientes. O resultado observado no presente estudo já era previsto em razão do histórico existente com espécies deste grupo taxonômico, sobretudo em ambientes florestais ou associados à floresta, que dispõe de recursos geralmente bem mais diversificados que áreas estritamente agrícolas, além de

condições de umidade do solo favoráveis e estabilidade microclimática bastante satisfatória (Fagundes et al. 2011, Pompeo et al. 2017).

A segunda Ordem com maior abundância de insetos foi Hymenoptera para rebrota e mata, seguida por Diptera para o Cerrado. É bastante razoável que a Ordem Hymenoptera apresente alta abundância na rebrota, sobretudo por conta da alta abundância de saueiros, resultado apresentado em capítulos anteriores, o que certamente pode ter influenciado a diversidade de insetos capturados nas armadilhas. A Ordem também foi bem presente na mata e cabe lembrar que nela há insetos especializados em polinização e também famílias que são parasitoides. Portanto, a amplitude de guildas dispostos na Ordem (Archibald et al. 2018) certamente a torna capaz de habitar ambientes como a mata, caracterizados por alta heterogeneidade de recursos.

As três Ordens acima mencionadas, Coleoptera, Hymenoptera e Diptera, contém espécies consideradas importantes, com destaque para inimigos naturais de formigas cortadeiras, ou pelo menos potenciais agentes de controle (Araujo et al., 2015, Rodrigues et al 2015, Elizalde & Superina, 2019), fato esse que torna relevante estudos analisando a coocorrência de Ordens de insetos e formigas cortadeiras. Dentre os principais inimigos naturais poderiam ser citados os dípteros forídeos, família que contém parasitoides de formigas do gênero *Atta* (Bragança & Medeiros 2006), vespas parasitoides da família Diapriidae (Rodrigues et al. 2015) e besouros escarabeídeos do gênero *Canthon* (Araujo et al. 2015).

É certo que o nível taxonômico utilizado nas análises do presente estudo não permite pressuposições sobre a presença das espécies acima mencionadas. Contudo, os resultados permitem conjecturar que se as áreas tem potencial para garantir a sobrevivência e persistência de diversas Ordens de insetos pertencentes a guildas completamente diferentes, explorando diversos recursos segundo a habilidade dos grupos funcionais, seria bastante razoável presumir que também houvesse nichos capazes de acolher as espécies acima mencionadas, sobretudo pela afinidade com formigas evidenciada pelas citações apresentadas. Contudo, fica evidente a necessidade de estudos futuros, delineados para investigar níveis taxonômicos mais profundos, envolvendo identificação de famílias, gêneros e, na medida do possível também espécies.

Os valores obtidos para os índices de Shannon e Simpson foram maiores na rebrota de eucalipto do que no Cerrado e na mata. Essa foi exatamente a razão pela

qual os índices de Simpson e Berger-Parker também tem sido utilizados. Os valores encontrados para o índice Berger-Parker foram 0,22, 0,75 e 0,76 respectivamente para rebrota, Cerrado e mata e indicam maior consistência com as expectativas acerca do balanço entre abundância e diversidade (Magurran, 2013) para ambientes compatíveis com o perfil analisado neste estudo, razão pela qual optou-se por interpretá-lo como o índice mais adequado para o presente estudo.

Os valores de similaridade entre o Cerrado e a mata tendem muito mais à zero que nas outras combinações, sugerindo que entre Cerrado e mata ocorre a maior similaridade na diversidade de Ordens entre as áreas. Apesar do resultado obtido trazer clara evidência sobre a similaridade entre Cerrado e mata, não é comum verificar-se grandes similaridades entre essas áreas (Diniz et al. 2010). Contudo, a proximidade entre elas pode contribuir para a homogeneização na distribuição de Ordens, visto que a distância entre Cerrado e a mata na fazenda experimental é de apenas 952 m. Além disso, essas áreas não passam pela mesma rotina de manejo frequente como ocorre em áreas de rebrota, condição em que o ambiente está sujeito a sucessivas colheitas e oportunidade periódica para regeneração de árvores.

A maior similaridade entre Cerrado e mata foi observada quando apenas a Ordem Diptera foi considerada nas análises. Esse resultado foi obtido possivelmente em razão da similaridade na abundância entre insetos desta Ordem geralmente encontrada nessas condições. De maneira geral foram observadas muito mais dissimilaridades do que similaridades entre as combinações de áreas. A diversificação de nichos nas áreas investigadas neste estudo certamente contribui substancialmente com o aumento da diversidade de insetos, já que essa condição geralmente aumenta o potencial de coocorrência e coexistência de grande número de espécies (Becerra, 2015).

A correlação entre formigueiros velhos e abundância de Ordens foi negativa, mas relativamente baixa na rebrota e na mata. Na mata, a relação foi um pouco mais acentuada, porém em ambas as áreas foi inversamente proporcional, ou seja, maior abundância de formigueiros tende a estar associada à menor diversidade de Ordens. Esse resultado é compatível com a expectativa geral sobre a relação antagônica entre abundância de grupos específicos com diversidade de espécies (Altieri, 2009). Já para o Cerrado a correlação não foi significativa.

A correlação entre formigueiros incipientes e abundância de Ordens não foi significativa na rebrota, sendo negativa e fraca no Cerrado, mas positiva e moderada

na mata. O resultado indicando correlação moderada na mata é interessante e de certa forma contradiz a expectativa geral (Altieri, 2009); contudo, deve ser ressaltado que a correlação foi entre formigueiros incipientes e abundância de Ordens. A condição incipiente dos ninhos reflete abundância muito menor que ninhos velhos, o que por certo deve ter influenciado algebricamente a estimativa, visto que o número de indivíduos acaba sendo menos discrepante entre formigueiros incipientes e Ordens de insetos.

A correlação entre formigueiros velhos e a riqueza de Ordens foi significativa e negativa nas três áreas, com associação mais forte na mata. Esse resultado também corrobora a expectativa geral de relação inversamente proporcional entre abundância específica e diversidade (Altieri, 2009). A correlação entre formigueiros incipientes e riqueza não foi significativa na rebrota, foi negativa no Cerrado e positiva e moderada na mata. Esse caso é similar ao que foi discutido na combinação formigueiros incipientes x abundância de Ordens, ou seja, a baixa abundância característica de ninhos incipientes influencia as comparações algébricas tornando os números de insetos presentes, ou seja, formigas cortadeiras e insetos de diferente Ordens mais homogêneos, o que resultaria em correlação positiva.

A correlação entre formigueiros velhos e a abundância e riqueza foi significativa em quase todas as combinações, exceto para velhos x abundância de Ordens no Cerrado, ainda que as correlações sejam fracas na rebrota de eucalipto. A única área que exibiu correlações significativas para todas as combinações foi a mata nativa. É possível que a dinâmica de instalação de novas populações, sejam formigas cortadeiras ou insetos das mais variadas Ordens, não tenha sempre uma relação direta, mas talvez um ponto probabilístico de convergência, em função do aumento da chance de mútuas ocorrências, se comparada ao cenário de formigueiros velhos, que tendem a persistir por diversos anos nas respectivas áreas, sem alterações na localização. Nesse caso, o que também poderia explicar as correlações moderadas seria a dinâmica de movimentação de insetos de Ordens diferentes. Os resultados encontrados para Cerrado e mata são, em termos de correlação, muito mais similares entre si se comparados aos resultados da rebrota, por razões já mencionadas anteriormente.

Curvas de abundância confrontando riqueza com número de espécimes são formas geralmente utilizadas para lidar com este tipo de complexidade, já que assim é possível avaliar como diferentes comunidades são geralmente estruturadas. A

relação entre abundância e riqueza na rebrota de eucalipto (Fig. 5) sugere, por conta dos valores baixos de abundância e riqueza, que uma forte influência venha dos atributos da área, principalmente se comparado à mata e Cerrado. Os atributos seriam as características intrínsecas da prática da colheita, como a remoção das árvores seguidas pelos eventos de rebrota. Em casos dessa natureza, as previsões são de difícil interpretação, sobretudo por conta de uma série de fatores físico-químicos, como por exemplo, condições do solo, reciclagem de nutrientes, além é claro das variáveis meteorológicas (Amazonas et al. 2018), carecendo da adição de maior tamanho amostral para a confirmação do padrão caracterizado por alto grau de incerteza. As figuras 5 à 7 refletem então diferenças claras na abundância de Ordens. A figura 5, relação entre riqueza e abundância observada na rebrota de eucalipto, descreve tanto a baixa riqueza média como a baixa abundância. Esse cenário é completamente diferente no Cerrado e na mata (Figs. 6 e 7). A relação entre riqueza e abundância tende a um padrão não linear no Cerrado e linear na mata; contudo para ambos os casos a dispersão de valores é bastante grande, indicando que há significativas variações na abundância, associadas a diferentes níveis de riqueza de Ordens.

O presente estudo criou oportunidade para análises comparativas entre diferentes áreas associadas a plantios de eucalipto, levando em conta a abundância e a diversidade de insetos, na tentativa de compor um banco inicial de dados para investigar a dinâmica espacial de insetos florestais em áreas com vegetação diversificada e com predomínio de altas, médias e baixas densidades de saúveiros. Ficou claro dos resultados obtidos que as três áreas estudadas, rebrota de eucalipto, Cerrado e mata nativa exibem diferentes padrões de distribuição espacial no tocante às Ordens de insetos, contudo, com significativa similaridade entre Cerrado e mata, se comparada à rebrota de eucalipto.

As correlações encontradas emergem certamente das características de cada uma das áreas, associadas ao perfil de cada uma das Ordens de insetos presentes, dependendo fortemente da combinação fatorial. Ficou clara a necessidade de continuidade de estudos desta natureza atentando para amostragens mais amplas, incluindo por certo outros perfis de vegetação florestal, tais como diferentes clones de eucalipto em diferentes idades, diferentes espécies de plantas em florestas, áreas de transição florestal com cultivos agrícolas e variação geográfica.

Referências

- Altieri, M. A. 2009. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74: 19–31.
- Araujo, M. S., C. A. Rodrigues, M. Oliveira, F. G. Jesus. 2015. Controle biológico de formigas-cortadeiras: o caso da predação de fêmeas de *Atta* spp. por *Canthon virens*. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, 2: 8–12.
- Parte superior do formulário
- Archibald, S., A. Rasnitsyn, D. Brothers, and R. Mathewes. 2018. Modernisation of the Hymenoptera: ants, bees, wasps, and sawflies of the early Eocene Okanagan Highlands of western North America. *Canadian Entomologist* 150:205-257.
- Arenas, A., and F. Roces. 2017. Avoidance of plants unsuitable for the symbiotic fungus in leaf-cutting ants: Learning can take place entirely at the colony dump. *Plos One* 12:e0171388. doi: 10.1371/journal.pone.0171388.
- Becerra, J. 2015. On the factors that promote the diversity of herbivorous insects and plants in tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112:6098-6103.
- Borror, D. J. , N. F. Johnson, C. A. Triplehorn. 2004. Borror and Delongs Introduction To The Study Of Insects. Cengage.
- Braganca, M.A.L. and Z. C. S. Medeiros. 2006. Ocorrência e características biológicas de forídeos parasitóides (Diptera: Phoridae) da saúva *Atta laevigata* (Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em Porto Nacional, TO. *Neotropical Entomology*. 35: 408-411.
- Brener, A., and J. SILVA. 1995. Leaf-cutting ant nests and soil fertility in a well-drained Savana in western Venezuela. *Biotropica* 27:250-254.
- Brockhoff, E., H. Jactel, J. Parrotta, and S. Ferraz. 2013. Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services. *Forest Ecology and Management* 301:43-50.
- Canuto, D.M.F., S. F. dos Reis, and W. A. C. Godoy. 2019. Spatial Statistics and Age Structure of Leaf Cutting Ant Nests. *Open Journal of Statistics* 9: 196-217.
- de Moraes, P., D. Longue, J. Colodette, E. Moraes, and C. Jardim. 2017. Influence of clone harvesting age of *Eucalyptus grandis* and hybrids of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* in the wood chemical composition and in kraft pulpability. *Ciencia Florestal* 27:237-248.

- Diniz, S., P. I. Prado, T. M. Lewinsohn. 2019. Species richness in natural and disturbed habitats: Asteraceae and Flower-head insects (Tephritidae: Diptera). *Neotropical Entomology* 39:163-171.
- Eckehard G., A. Brockerhoff, H. Jactel, J. A. Parrotta, S. F.B. Ferraz. 2013. Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services. *Forest Ecology and Management* 301: 43–50.
- Elizalde, L., and M. Superina. 2019. Complementary effects of different predators of leaf-cutting ants: Implications for biological control. *Biological Control* 128:111-117.
- Fagundes, C. K., R. A., C. Wink, D. Manfio. 2011. Diversity of the families of Coleoptera captured with pitfall traps in five different environments in Santa Maria, RS, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 71: 381-390.
- Holldobler, B. and E. O. Wilson 2009. *The Super Organism: The Beauty, Elegance, and Strangeness of Insect Societies*. W. W. Norton & Company, New York.
- Leal, I., R. Wirth, and M. Tabarelli. 2014. The Multiple Impacts of Leaf-Cutting Ants and Their Novel Ecological Role in Human-Modified Neotropical Forests. *Biotropica* 46:516-528.
- Magurran, A. E. 2013. *Measuring biological diversity*. John Wiley & Sons.
- McCann, K. 2000. The diversity-stability debate. *Nature* 405:228-233.
- Morais, P., D., Longue, J. Colodette, E. Morais, and C. Jardim. 2017. Influence of clone harvesting age of *Eucalyptus grandis* and hybrids of *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* in the wood chemical composition and in kraft pulpability. *Ciencia Florestal*, 27: 237-248.
- Perin, M. A. A. and J. F. Guimaraes. 2012. Efeitos dos ninhos de *Atta laevigata* (Fr. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) sobre a vegetação do Cerrado. *Revista Arvore*: 36: 463-470.
- Pielou, E. C. 1975. *Ecological diversity*. New York: Wiley.
- Pompeo, P. N., L. C. I. Oliveira-Filho, M. A. B. Santos, A. L. Mafra, O. Klauberg-Filho, Baretta D. 2017. Morphological Diversity of Coleoptera (Arthropoda: Insecta) in Agriculture and Forest Systems, <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160433>
- Ramos, V., L. Forti, A. Andrade, N. Noronha, and R. Camargo. 2008. Density and spatial distribution of *Atta sexdens rubropilosa* and *Atta laevigata* colonies (Hym., Formicidae) in *Eucalyptus* spp. forests. *Sociobiology* 51:775-781.

- Rodrigues, M., M. Castellani, A. Moreira, M. D'Esquivel, E. Ribeiro, L. Forti, and S. Lacau. 2015. Natural Parasitism in *Acromyrmex landolti* Forel (Hymenoptera: Formicidae) in Pastures of Bahia, Brazil. *Sociobiology* 62:607-609.
- Rooney, N., McCann, K. S. 2012. *Trends in Ecology and Evolution* 27:40-46.
- Savilaakso, S., J. Koivisto, T. Veteli, J. Puseenius, and H. Roininen. 2009. Long lasting impact of forest harvesting on the diversity of herbivorous insects. *Biodiversity and Conservation* 18:3931-3948.
- Verberk, W. 2011. Explaining General Patterns in Species Abundance and Distributions. *Nature Education Knowledge* 3:38.
- Zanetti, R., J. Zanuncio, J. Santos, W. da Silva, G. Ribeiro, and P. Lemes. 2014. An Overview of Integrated Management of Leaf-Cutting Ants (Hymenoptera: Formicidae) in Brazilian Forest Plantations. *Forests* 5:439-454.