

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA
MONITORAMENTO DE FORMIGAS CORTADEIRAS *Atta* spp.
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO**

MARIA FERNANDA SCHIAVETI SIMÕES

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP

Fevereiro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUIA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA
MONITORAMENTO DE FORMIGAS CORTADEIRAS *Atta* spp.
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO**

MARIA FERNANDA SCHIAVETI SIMÕES
Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. Carlos Frederico Wilcken

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP

Fevereiro- 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S593v Simões, Maria Fernanda Schiaveti, 1982-
Validação de sistema de amostragem para monitoramento de
formigas cortadeiras *Attas* pp. (Hymenoptera: Formicidae) em
plantações de eucalipto / Maria Fernanda Schiaveti Simões.
- Botucatu : [s.n.], 2014
v, 55 f. : tabs., ils. color., grafs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Carlos Frederico Wilcken
Inclui bibliografia

1. Eucalipto - Doenças e pragas. 2. Formiga-cortadeira -
Controle. 3. Geologia - Métodos estatísticos. I. Wilcken,
Carlos Frederico. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de
Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA
MONITORAMENTO DE FORMIGAS CORTADEIRAS *Atta* Spp.
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM PLANTAÇÕES DE EUCALÍPTO”

ALUNA: MARIA FERNANDA SCHIAVETI SIMÕES

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLOS FREDERICO WILCKEN

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CARLOS FREDERICO WILCKEN



PROF. DR. JOSÉ COLA ZANUNCIO



PROF. DR. EDSON LUIZ FURTADO

Data da Realização: 04 de fevereiro de 2014.

“Nas grandes batalhas da vida, o primeiro passo para a vitória é o desejo de vencer!”
Mahatma Gandhi

Dedico

*A minha família, em especial aos meus pais Maria Helena Schiaveti e José Fernando Simões pela
formação de meu caráter.*

AGRADECIMENTOS

Em especial, ao Luís Eugênio Pedro de Freitas e Maurício Romano por me concederem a oportunidade de realizar e concluir o Mestrado de modo conciliado a rotina do trabalho na empresa Dinagro Agropecuária Ltda. Melhores chefes do mundo!

Ao meu orientador Carlos Frederico Wilcken pela transferência de conhecimento em pragas florestais nos cursos de graduação e pós-graduação da UNESP/Botucatu.

Ao Denis Pretto da empresa Eficiente Soluções Florestais e também ao Mateus, Holdson e à Joice pelo profissionalismo, apoio na coleta e processamento dos dados e toda atenção dispensada.

A empresa Duratex, em especial ao colega Jonas Salvador por ter possibilitado a realização deste trabalho nos plantios de eucalipto da empresa e ao Roger por todo apoio logístico.

Ao Marcelino e Cabral da empresa Suzano Papel e Celulose pelo apoio e atenção durante a segunda fase do experimento.

Às minhas amigas de hoje e sempre Thaíse Dias, Livia Carribeiro e Marcela Menegale que gentilmente me cederam abrigo durante todas as idas e vindas a Botucatu, pela amizade, incentivo, alegrias e companheirismo.

A todos os professores da pós-graduação em Ciência Florestal e Proteção de Plantas e aos funcionários da Faculdade FCA – UNESP/Botucatu.

Aos funcionários da Biblioteca da FCA, em especial, à Ana Lúcia e à Solange.

Aos funcionários da Pós Graduação, em especial a Taynã.

A Cristina, secretária do professor Wilcken.

A todos os professores da banca de Qualificação e Defesa, Dra. Magali Ribeiro da Silva, Dr. Edson L. Furtado e Dr. José Cola Zanuncio.

Ao professor Dr. Ronald Zanetti (UFLA) pela ajuda na validação do plano de amostragem.

A professora Dra. Célia Zimback, ao colega Diego Moraes do Departamento de Solos (UNESP/Botucatu) e ao Professor Carlos Alberto Matos (UNESP/Itapeva-SP) por todo apoio em Geoestatística e na utilização do software GS⁺.

Ao Professor Dr. Wesley Godoy (ESALQ) e Professor Dr. José Silvio Govone (UNESP/Rio Claro-SP) pela grande ajuda nas análises de distribuição espacial de espécies e estatística.

Ao colega Kleber Ferreira, pela grande ajuda com os mapas e artifícios obscuros do Excel.

Ao professor Dr. Adilson Pacheco (UFMT - Sinop) pela ajuda na estatística.

A Thaís Lopes que formatou tudo. Grande ajuda!

A minha amiga Idania Peña Grass, pela orientação, ensinamentos e amizade.

To my friend and also my English teacher, Renata Castelar, for helping me with the Summary.

Muito obrigada a todos. Forte abraço!

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	1
SUMMARY	2
1-INTRODUÇÃO.....	4
2- REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1- O setor florestal brasileiro	6
2.2- Formigas cortadeiras como pragas para os reflorestamentos.....	8
2.3- Distribuição espacial de colônias de <i>Atta</i> spp.	10
2.4- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de <i>Atta</i> spp.....	13
2.5- Métodos de amostragem para estimativa da densidade populacional de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto	14
3- MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1- Caracterização da área experimental	18
3.2- Levantamento populacional de <i>Atta</i> spp.	20
3.3- Determinação da distribuição espacial de ninhos de <i>Atta</i> spp.....	21
3.3.1- Índice de Dispersão (ID) e Índice de Morisita (I_{δ})	22
3.3.2- Distribuição de Poisson.....	23
3.3.3- Distribuição Binomial Negativa	24
3.3.4- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de <i>Atta</i> spp.....	25
3.4- Desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de transectos em faixa ...	27
3.5- Validação do Plano de Amostragem.....	28
3.6- Custo Operacional da Amostragem (COA)	29
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1- Levantamento populacional de <i>Atta</i> spp.	30
4.2- Determinação da distribuição espacial de ninhos de <i>Atta</i> spp.....	33
4.3- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de <i>Atta</i> spp.....	35
4.4- Desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de transectos em faixa ...	37
4.5- Validação do Plano de Amostragem.....	40
4.6- Custo Operacional da Amostragem	42
5- CONCLUSÕES	45
6- REFERÊNCIAS	46

RESUMO

Os plantios florestais são importantes no cenário sócio- econômico- ambiental do Brasil, por fornecerem matéria-prima para diversos setores da indústria brasileira. O Estado de São Paulo concentra 20,4% do total de *Eucalyptus* plantado no Brasil. As formigas cortadeiras destacam-se como uma das principais pragas com ataques intensos e prejuízos consideráveis às plantas em todo seu ciclo de vida. Sistemas de amostragem para monitoramento de formigas-cortadeiras aumentam a eficiência do controle, diminuem os custos de combate e também reduzem o uso de inseticidas químicos. Os objetivos deste estudo foram: 1) estudar a distribuição espacial de colônias de *Atta* spp. em de plantios clonais de eucalipto; 2) validar um sistema de amostragem de formigas cortadeiras pelo método de transectos em faixas; 3) determinar os custos do sistema de amostragem proposto. Este trabalho foi realizado no município de Lençóis Paulista, São Paulo, em quatro talhões de plantio clonal de *Eucalyptus* spp., totalizando 128,56 hectares. O levantamento populacional dos ninhos de formigas cortadeiras do gênero *Atta* spp. nos talhões foi realizado utilizando o método de transectos em faixa. Os ninhos foram localizados, medidos, georreferenciados e mapeados. Com os dados do levantamento foram gerados os cálculos estatísticos e geoestatísticos. A densidade de ninhos foi de 5,73 ninhos e 72,26 m² de área de terra solta por hectare. Do total de ninhos, 89,3% foram identificados como *Atta sexdens rubropilosa* e 10,7% como *Atta laevigata*. O índice de dispersão (ID), índice de morisita (I_{δ}) e distribuição binomial negativa mostraram distribuição espacial agregada para *Atta* spp. em todos os talhões. Os variogramas, gerados pelo Software GS⁺ para determinação da estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp. pelo método geoestatístico, não resultaram em dependência espacial. A distância ótima entre os transectos em faixa foi de 108 metros. O uso operacional dos transectos em faixa, com estimador de área proporcional, lançados a cada 108 metros a partir da terceira linha é válido para estimar o número e a área total de formigueiros na região de estudo. O custo médio da amostragem de formigas cortadeiras em plantações de *Eucalyptus* foi de R\$ 0,36 por hectare.

Palavras-chave: *Atta* spp., *Eucalyptus*, monitoramento, amostragem.

VALIDATION OF SAMPLING PLANS FOR MONITORING NESTS OF THE LEAF-CUTTING ANT *Atta* spp. (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) IN EUCALYPTUS PLANTATIONS. Botucatu, 2014. 55p. Dissertation (Master Degree in Forestry Engineer/Forestry Science) – School of Agriculture Sciences – São Paulo State University (UNESP).

Author: Maria Fernanda Schiaveti Simões

Adviser: Prof. Dr. Carlos Frederico Wilcken

SUMMARY

The forest plantations in Brazil are important in the socio-economic-environment of the country by supplying raw materials for many sectors of Brazilian industry. The State of São Paulo concentrates 20.4% of the total planted Eucalyptus in Brazil. Leaf cutting ants are the major pest of *Eucalyptus* plantation, with intense attacks and severe damage to plants throughout their life cycle. Developing sampling plans for monitoring leaf cutting ants is important for increasing efficiency of control, reduce their costs and the use of chemical insecticides. The objectives were: 1) to study the spatial distribution of *Atta* spp. nests in areas of clonal *Eucalyptus*; 2) to validate sampling plans with transects for monitoring leaf cutting ants; and 3) to determine the costs of the sampling plan proposed. The present work was developed in eucalyptus plantations in Lençóis Paulista, State of São Paulo, Brazil, in four *Eucalyptus* spp. stands, totaling 128.56 ha. All nests of leaf cutting ants *Atta* spp. were located, identified, mapped (georeferenced) and measured using transects. Maps with the location of the nests were created, and through the survey data, statistical and geostatistical calculations were performed. The leaf cutting ant nest density per hectare was 5.73 and the loose soil area was 72.26 m² per hectare. Of total nests, 89.3% were identified as *Atta sexdens rubropilosa* and 10.7% were identified as *Atta laevigata*. The index dispersion (ID), Morisita index (I_{δ}) and negative binomial distribution showed aggregate distribution of *Atta* spp. for all the blocks studied. The spatial structure of *Atta* spp. nests did not result in spatial dependence. The transects should be used every 108 m to estimate the number and area of cutting ant nests. The operational use of using the Proportional Area estimator is valid to estimate the number and density of nests of these pests. The average cost of leaf cutting ants sampling plan in an *Eucalyptus* plantation was R\$ 0.36 per hectare.

Key words: *Atta* spp., *Eucalyptus*, monitoring, sampling plan.

1- INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* (saúvas) e *Acromyrmex* (quenquéns) são responsáveis por danos econômicos em áreas agrícolas e florestais, destacando-se como um dos principais insetos-praga das regiões tropicais e subtropicais das Américas. As saúvas acarretam prejuízos, dado ao tamanho do saúveiro que demanda enorme volume de folhas para o cultivo do fungo simbiote, responsável por atender a necessidade alimentar da elevada população que compõem a colônia (CHERRETT 1982; ABREU; DELABIE 1986; HOWARD et al., 1988).

Áreas de reflorestamento, especialmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, requerem controle periódico de formigas cortadeiras (ZANUNCIO et al., 1996), com gasto de mão-de-obra e produtos químicos (SOSSAI 2001), com diferentes métodos de aplicação e formulação. As iscas granuladas se destacam no controle de formigas cortadeiras pela facilidade de aplicação, por não requisitar mão-de-obra especializada e facilitar o combate de formigueiros em locais de difícil acesso (CAMARGO et al., 1997).

Formigas cortadeiras representam 75% dos custos e do tempo gasto no controle de pragas (VILELA, 1986). O monitoramento de formigas cortadeiras em florestas de eucalipto permite reduzir o custo de controle entre 30 e 40% (ZANETTI, 2011). Empresas do setor florestal brasileiro passaram a adotar sistemas de monitoramento de formigas cortadeiras para aumentar a eficiência, diminuir os custos de combate e reduzir o impacto ambiental decorrente de aplicações sucessivas de inseticidas (ZANETTI, et al., 1999).

A amostragem de formigas cortadeiras em florestas plantadas tem sido estudada por diversos autores, entre eles ANJOS et al., 1993; SOSSAI, 2001; CALDEIRA, 2002; ZANUNCIO et al., 2004; REIS et al., 2005; ZANETTI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 1993; REIS; ZANETTI, 2005, CANTARELLI et al., 2006; REIS et al., 2007; ZANETTI; MENDONÇA, 2005.

O conhecimento da distribuição espacial de populações de insetos é essencial para o desenvolvimento de metodologias de amostragem (GILES et al., 2000; ZANETTI, 2007), as quais constituem ferramenta para planos racionais de controle de pragas com redução de custos e danos ao meio ambiente (BARBOSA; PERECIN, 1982).

A determinação de métodos de amostragem que representem a infestação de formigas cortadeiras nos talhões de eucalipto com precisão adequada é um dos grandes desafios (SOSSAI et al., 2005). Os planos de amostragem utilizados em programas de monitoramento de formigas cortadeiras em florestas cultivadas diferem entre locais, devido às características ambientais e de manejo específicas de cada local.

Dessa forma é importante validar um sistema simples e eficaz de amostragem de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto que possa trazer benefícios como aumento na eficiência do controle, diminuição dos custos de combate, otimização do tempo das operações e benefícios ambientais (uso racional de formicidas e menor impacto ambiental) para a região de estudo. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivos:

- Estudar a distribuição espacial de colônias de *Atta* spp. em plantios clonais de eucalipto;
- Validar um sistema de amostragem de formigas cortadeiras pelo método de transectos em faixas;
- Determinar os custos do sistema de amostragem proposto.

2-REVISÃO DE LITERATURA

2.1- O setor florestal brasileiro

Em 2012, a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6,6 milhões de hectares, sendo 76,6% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% à área de plantios de *Pinus*. Em relação ao eucalipto, o segmento de papel e celulose concentra 72,5% da área plantada, seguido pelos segmentos de siderurgia a carvão vegetal (19,5%), painéis de madeira industrializada (7,3%) e produtores independentes (0,7%) (ABRAF, 2013).

Os plantios florestais no Brasil apresentam destaque importante no cenário sócio – econômico - ambiental do país, já que a cadeia produtiva do setor de florestas plantadas fornece matéria-prima para os fabricantes de celulose e papel, madeira serrada, painéis de madeira, carvão vegetal, indústria moveleira, construção civil, entre outros.

A maior concentração de plantios florestais (*Eucalyptus* e *Pinus*) está nas regiões sul e sudeste do país (72,3%), onde também estão localizadas as principais unidades industriais dos segmentos de celulose, papel, painéis de madeira industrializada e siderurgia a carvão vegetal. Da área plantada com *Eucalyptus* no Brasil (5.102.030 ha), 53,0% está concentrado na Região Sudeste. Em âmbito nacional, os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Bahia e Mato Grosso do Sul se destacaram como os estados detentores de 87,1% da área total de plantios florestais. O Estado de São Paulo concentra 20,4% do total de *Eucalyptus* plantado no Brasil (ABRAF, 2013).

Segundo a ABRAF (2013) a produção de celulose nacional totalizou 13,9 milhões de toneladas em 2012, crescimento de 4,5% em relação ao ano de 2009 e queda de 0,1% comparada ao ano de 2011.

O segmento de siderurgia a carvão vegetal compreende as grandes siderúrgicas integradas produtoras de aço que dispõem de sua própria base florestal de *Eucalyptus* com o qual produzem o carvão vegetal para a redução do minério de ferro e as siderúrgicas independentes, produtoras de ferro gusa. Observou-se o crescimento da ordem de 61,4% entre 2009 e 2012 no consumo de carvão vegetal oriundos de florestas plantadas (ABRAF, 2013).

As exportações brasileiras de produtos de florestas plantadas atingiram o montante de US\$ 7,5 bilhões (3,09% do total Brasil) e as importações totalizaram US\$ 2 bilhões. Estima-se que a contribuição tributária do setor florestal foi de R\$ 7,6 bilhões no ano, representando 0,5% do total arrecadado no país (ABRAF, 2013).

O setor florestal brasileiro promove a geração de empregos e renda, com 4,6 milhões de postos de empregos diretos e indiretos (ABRAF, 2013).

No contexto ambiental o setor contribui para a conservação da natureza e equilíbrio do ambiente, promovendo a manutenção da biodiversidade, da qualidade do ar e da água através de ações de recuperação de áreas degradadas e de proteção de áreas de florestas nativas. Os plantios florestais também apresentam importância no sequestro de carbono. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2012) o Brasil possuía, em 2010, 519,5 milhões de hectares de florestas nativas, das quais 3,9 milhões de hectares (0,8%) encontravam-se preservados pelas empresas do setor de florestas plantadas, sob a forma de áreas de preservação permanente (APP), de reserva legal (RL) e de reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs).

O setor florestal consolidou o Brasil como *cluster* internacional, principalmente pela competitividade do segmento de papel e celulose. Estima-se, para os próximos dez anos, investimentos de US\$ 20 bilhões, principalmente para ampliar a área de florestas plantadas (BRACELPA, 2010). Com os novos plantios, o setor terá condições de aumentar sua produção de celulose em 57% e a de papel em 30%, chegando, respectivamente, a 22 milhões de toneladas e a 12,7 milhões de toneladas (BRACELPA, 2010).

2.2- Formigas cortadeiras como pragas para os reflorestamentos

As formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* (saúva) e *Acromyrmex* (quenquém) são importantes insetos-praga de florestas cultivadas na maior parte da região neotropical (DELLA LUCIA et al., 1993). Elas estão entre os insetos herbívoros mais vorazes e de maior variedade alimentar, destruindo até 15% das folhas das plantações (WIRTH et al., 2003) e até 50% das espécies da flora florestal (VASCONCELOS; FOWLER 1990; WIRTH et al., 2003) nos territórios de suas colônias, a cada ano.

Entre as espécies de saúva, *Atta sexdens rubropilosa* (Forel, 1908) e *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) são as mais importantes sob o ponto de vista econômico, com ampla ocorrência no país, pelo tamanho do ninho e quantidade de formigas nele existentes e pela intensa desfolha que provocam em culturas florestais e agrícolas.

Atta sexdens rubropilosa encontra-se distribuída nos estados da Bahia (OLIVEIRA, 1996), Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo (ANJOS et al., 1998) e *Atta laevigata* é registrada nos estados do Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia, São Paulo, Sergipe e Tocantins (DELLA LUCIA et al., 2000).

As operárias de *Atta* e *Acromyrmex* utilizam material vegetal como substrato para o crescimento de seu fungo simbiote e complementam sua alimentação com líquidos extraídos das folhas, durante a coleta e processamento desse substrato (BASS; CHERRETT, 1995; ANDRADE, 2002; NAGAMOTO et al., 2004).

Em função do desfolhamento causado por formigas cortadeiras, há redução da área fotossinteticamente ativa promovendo um desarranjo fisiológico nas árvores e interferindo em seu crescimento à medida que fotoassimilados são alocados para a emissão de novas folhas, em detrimento do crescimento (FREITAS; BERTI FILHO, 1994). Quando o grau de desfolhamento é drástico, com desfolha total, a redução do incremento volumétrico pode ser elevada, já que o crescimento depende primariamente da fotossíntese corrente (KOZLOWSKI, 1963).

Um único saúveiro adulto pode matar 5% das plantas de *Eucalyptus* aos seis anos de idade, e 10% das plantas de *Pinus* aos oito anos de idade a cada ano

(AMANTE, 1967). A perda provocada por cinco formigueiros de *Atta sexdens*, em plantios de *Pinus* spp. foi de 14% no volume de madeira (NACCARATA, 1983), representando prejuízo de 2,1% na produção ou 470.000 m³ de madeira a cada ano, considerando uma área de 150.000 hectares de eucalipto (MORAES, 1983).

Árvores de *Eucalyptus grandis*, se completamente desfolhadas, aos 6 meses de idade, podem apresentar perdas de até 13% na produção volumétrica de madeira ao final de sete anos, o que representa uma redução de 11 mm no diâmetro e 0,7 m na altura (OLIVEIRA, 1996). Uma desfolha de 100% foi responsável pela redução de 45,5% na produção individual de madeira de *Eucalyptus grandis* (FREITAS; BERTI FILHO, 1994).

A remoção total das folhas de árvores de eucalipto por uma vez na fase inicial de desenvolvimento resultou em perdas de 18,9% no crescimento em diâmetro e 12,0% na altura com perdas significativas em volume total de 37,9%. No tratamento com três desfolhas, a redução em volume total chegou a 79,7% (MATRANGOLO et al., 2010).

O índice de produtividade das plantas de *Pinus taeda* atacadas por formigas cortadeiras reduziu em 34,4 e 28,7% para o ano 0 e ano 1, respectivamente (CANTARELLI, et al., 2008).

Densidades superiores a 30 saueiros de *Atta laevigata* por hectare, podem reduzir em mais de 50% a produção de madeira em plantios de *Pinus caribaea* nas savanas da Venezuela (HERNÁNDEZ & JAFFÉ, 1995). Em estudo do efeito do tamanho dos saueiros sobre a produção de madeira de eucalipto foi observado que, das classes de tamanho de saueiros analisadas, as duas menores (< 1 m² e de 1 a 2,9 m² de terra solta) apresentaram maior efeito sobre a produção de madeira de eucalipto (ZANETTI et al., 2000). Tal fato ocorre por representarem a maior parte dos saueiros (> 85% dos saueiros) e por encontrar-se em altas densidades nos reflorestamentos (BONETTI FILHO, 1998).

Densidade de saueiros com 2,76 m² de terra solta por hectare reduz o volume de madeira em 0.87% para todas as espécies de eucalipto estudadas. Além disso, a área total de colônias de formigas cortadeiras em plantações de *E. camaldulensis* com 24 e 84 meses de idade deve ser menor que 24,87 m²/ha e 7,02 m²/ha (nível de dano econômico), respectivamente (ZANETTI et al., 2003a).

O nível de dano econômico em função do índice de produtividade florestal de eucaliptais em região de Mata Atlântica mostrou que as formigas cortadeiras

reduzem a produtividade de madeira entre 0,04 a 0,13 m³/ha, para cada m² de área de terra solta de saúveiro, resultando em nível de dano econômico entre 13,4 a 39,2 m²/ha (SOUZA et al., 2011).

2.3-Distribuição espacial de colônias de *Atta* spp.

A análise da distribuição espacial de colônias de formigas cortadeiras é essencial para entender as interações entre este inseto o meio em que vivem (UNDERWOOD & CHAPMANN, 1996; ZANETTI et al., 2000; ZANUNCIO et al., 2002).

Os padrões espaciais de uma espécie podem ser estudados em escala macro (biogeográfica), meso (comunidades) ou micro, que considera a distribuição espacial dos indivíduos na comunidade. Dentro de uma escala micro, o padrão espacial dos indivíduos de uma população segue três tipos básicos: aleatório ou ao acaso, uniforme ou regular e agregado (HAY & BIZERRIL, 2000).

Os arranjos espaciais de distribuição ocupados pelos organismos na natureza podem ser: distribuição aleatória ou ao acaso, quando os organismos ocorrem de maneira inteiramente casual; agregada, quando os organismos tendem a se reunir em grupos e regular ou uniforme, quando os organismos estão uniformemente distribuídos em uma população (TAYLOR, 1984; BARBOSA, 1992).

Padrões aleatórios de distribuição em uma população de organismos implicam homogeneidade ambiental e comportamento não-seletivos. Por outro lado, padrões não aleatórios (agregado e uniforme) implicam que existem algumas restrições sobre a população (LUDWIG & REYNOLDS, 1988). Segundo os mesmos autores, agregação sugere que indivíduos estão agregados em partes mais favoráveis do habitat, isto pode ser devido à comportamento gregário, heterogeneidade ambiental, modo de reprodução, e assim por diante. Padrões uniformes resultam de interações negativas entre indivíduos, como competição por alimento ou espaço.

Os índices que descrevem as disposições espaciais de insetos pragas são obtidos a partir de dados de contagens para se estabelecer critérios adequados de amostragem, análises estatísticas e decisão sobre o controle de pragas agrícolas (RUESINK

1980; TAYLOR 1984). Fundamental para isso é que o ambiente em questão permita a realização de amostragens (YOUNG & YOUNG, 1998).

Os índices de agregação ou dispersão não descrevem matematicamente a distribuição da população estudada (ELLIOT, 1979), mas o modelo de distribuição espacial tem maior validade quando vários índices dão resultados semelhantes (MYERS, 1978).

Índices de agregação ou dispersão utilizados para medir a disposição espacial de insetos são aplicados em estudos ecológicos ou em métodos de amostragem. A razão variância/média ou índice de dispersão ID ; índice de dispersão de morisita (I_δ); coeficiente de Green (Cx); expoente k da distribuição binomial negativa e expoente b da lei de Taylor (TAYLOR, 1984; KUNO, 1991; LI & FITZPATRICK, 1997) são os índices mais utilizados. A disposição espacial de uma determinada espécie de inseto só deve ser definida com o uso de mais de um índice (RABINOVICH, 1980; MOLLET et al., 1984).

O índice de morisita é relativamente independente da média e do número de amostras, sendo que, quando $I = 1$, a distribuição é ao acaso; quando $I > 1$, a distribuição é do tipo agregada e quando $I < 1$, a distribuição é regular (SILVEIRA NETO et al., 1976).

Os padrões básicos de dispersão da população influenciam as relações entre a média (μ) e a variância (μ^2) do número de indivíduos por unidade amostral. Assim, três tipos básicos de padrões de distribuição e suas relações de variância e média podem ser definidos: 1. padrão casualizado: $\mu = x$; 2. padrão agregado: $\mu > x$; 3. padrão uniforme: $\mu < x$ (LUDWIG & REYNOLDS, 1988).

A exposição ao sol, umidade, altitude, disponibilidade de alimento e locais para nidificação estão incluídos entre os fatores que determinam os locais favoráveis para estabelecimento de colônias de formigas, controlando sua distribuição (DONCASTER, 1981). A alta densidade de invertebrados herbívoros pode também limitar a colonização do habitat após o vôo nupcial das rainhas recém-fecundadas (FOWLER & ROBINSON, 1977). *Atta sexdens rubropilosa* geralmente constrói ninhos em áreas limpas, porém não totalmente expostas ao sol (PEREIRA DA SILVA, 1975), enquanto *A. laevigata* prefere áreas com maior exposição solar (CLARK & EVANS, 1955).

A vegetação nativa circundante influencia na densidade de saúveiros em eucaliptais. A presença de faixas de vegetação nativa circundante aos talhões de eucalipto reduziu a densidade de saúveiros quando comparado aos talhões não margeados pelas faixas enquanto os fragmentos de floresta apresentaram efeito contrário ao das faixas (ZANETTI et al., 2000).

A distribuição espacial de saúveiros ocorre, normalmente, ao acaso em áreas com baixas densidades de ninhos e regular em locais com altas densidades dos mesmos (WALOFF & BLACKWITH, 1962).

A distribuição espacial do tipo agregada para formigas cortadeiras foi relatada por Pinto (2006), Ramos et al. (2008) e Lasmar et al. (2012). Já para Zanetti et al. (2003); Caldeira et al. (2005); Reis e Zanetti (2005); Zanetti e Mendonça (2005); Cantarelli et al. (2006); Nickele et al. (2010), a distribuição espacial para formigas cortadeiras foi aleatória.

Distribuição espacial do tipo aleatória ocorre quando as condições ambientais são semelhantes em qualquer ponto no espaço e a presença de um organismo não afeta outro, indicando a inexistência ou reduzida interação das formigas entre si e com o ambiente (BEGON et al., 1996). Este tipo de distribuição aparentemente ocorre em reflorestamentos equianos caracterizados pela homogeneidade em tipo de solo, idade da floresta, temperatura e tratamentos culturais, ou seja, em áreas homogêneas as rainhas caem aleatoriamente na área e constroem seus ninhos em qualquer ponto da floresta (CALDEIRA et al., 2005).

A tendência de formigas cortadeiras concentrarem seus ninhos nas faixas próximas das bordas dos talhões de eucalipto foi observada (RAMOS et al., 2008; ZANUNCIO et al., 2002; SOSSAI, 2001; WIRTH et al., 2007). Zanuncio et al. (2002) mostraram que 29,3% dos ninhos de saúvas estavam localizados nos primeiros 10 metros da borda dos talhões de eucalipto, enquanto Sossai (2001) mostrou que apenas 5,46% dos mesmos estavam localizados nas bordas.

Ninhos de *Atta sexdens* e *Atta cephalotes* ocorrem cinco vezes mais freqüentemente nos primeiros 50 metros de zona de borda quando comparados ao interior da Floresta Atlântica brasileira (WIRTH et al., 2007).

2.4- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp.

A estatística “clássica” difere da geoestatística na avaliação da variação dos dados. A primeira requer valores das amostras independentes espacialmente enquanto a segunda, considera existir uma dependência da variação com relação ao espaço de amostragem (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).

A variabilidade espacial das variáveis pode ser estudada por ferramentas da geoestatística, baseada na teoria das variáveis regionalizadas, segundo a qual os valores de uma variável estão de alguma forma, relacionada à sua disposição espacial e, portanto, observações tomadas a curta distância se assemelham mais que a distâncias maiores (VIEIRA et al., 1981).

As funções autocorrelação e variância são as mais utilizadas para gerar o variograma e determinar a dependência espacial na análise geoestatística. O variograma apresenta o grau de dependência espacial entre as amostras ao longo de um suporte específico elaborado com as diferenças ao quadrado dos valores obtidos, assumindo-se uma estacionaridade nos incrementos (LANDIM, 2003).

Os cálculos da geoestatística dependem do modelo de variograma ajustado e, conseqüentemente, se aquele ajuste não for apropriado, todos os cálculos seguintes terão erros que poderão afetar as inferências (GUIMARÃES, 2004).

O método geoestatístico utiliza outra ferramenta fundamental, a Krigagem, além do variograma. A krigagem usa informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. Nessa situação, o método fornece, além dos valores estimados, o erro associado a tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação (LANDIM; STURARO, 2002).

Quando os insetos se distribuem em campo de maneira não aleatória, há dependência espacial entre os pontos amostrados e, nesse caso, a geoestatística é a ferramenta mais adequada para estudar as populações, pois permite quantificar a dependência espacial entre amostras coletadas em campo e utilizar essa dependência para construção de mapas (LIEBHOLD et al., 1993).

A utilização de estudos geoestatísticos para definir planos de amostragem de insetos foi o objetivo de Wright et al. (2002) que trabalharam com *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Lepidoptera: Crambidae), na cultura do milho e concluíram que, para o estágio larval da praga, as amostras seriam espacialmente dependentes quando coletadas a distâncias de 0,2 a 3,05 m. Baseados nesta conclusão, os autores afirmaram que o esquema de amostragem feito em plantas consecutivas, recomendado até então, não representaria unidades amostrais independentes, violando portanto o princípio da casualidade das amostras.

Através de parâmetros geoestatísticos foi possível calcular a área de agregação das cigarrinhas *Dilobopterus costalimai* Young, *Acrogonia* sp. e *Oncometopia facialis* Signoret (Hemiptera: Cicadellidae) que variou de 11 m² a 15,7 m² indicando que para um levantamento seguro dessas espécies em citros é necessário dispor de uma armadilha por hectare (FARIAS et al., 2004).

A distribuição espacial e o nível de infestação de ninhos de formigas cortadeiras através da ferramenta geoestatística foi o objetivo de Lasmar et al. (2012) que concluíram que a distribuição espacial dos mesmos foi agregada até a distância de 164,25 m para número de ninhos e de 45,10 m para área de terra solta de saúvas em eucaliptais da região de Paraopeba, Minas Gerais.

2.5- Métodos de amostragem para estimativa da densidade populacional de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto

Algumas empresas do setor florestal brasileiro adotam sistemas de monitoramento de formigas cortadeiras para aumentar a eficiência, diminuir os custos de combate e reduzir o impacto ambiental decorrente de aplicações sucessivas de inseticidas (ZANETTI et al., 1999).

O monitoramento operacional de formigas cortadeiras surgiu em florestas na fase de “combate de manutenção”, período compreendido entre um a dois anos pós-plantio e a colheita, visando otimizar os métodos de combate empregados, principalmente, o de distribuição sistemática de iscas (LARANJEIRO, 1994).

A determinação do método de amostragem que represente com precisão a infestação de formigas cortadeiras nos talhões de eucalipto é um dos grandes

desafios para minimizar os problemas causados por essa praga nos eucaliptais (SOSSAI et al., 2005).

A estimativa da densidade populacional de formigas cortadeiras em florestas cultivadas pode ser feitas por diferentes métodos de amostragem: técnica do pior foco (ANJOS et al., 1993), lançamento de parcelas fixas (OLIVEIRA et al., 1993; REIS & ZANETTI, 2005, CANTARELLI et al., 2006), uso de quadrantes (REIS et al., 2007), amostragem sequencial (ZANETTI & MENDONÇA, 2005; MENDONÇA, 2008), transectos (CALDEIRA, 2002; ZANUNCIO et al., 2004; REIS et al., 2005; SOSSAI et al., 2005; PINTO, 2006; REIS et al., 2010), e geoestatístico (LASMAR et al., 2012). Esses métodos de amostragem apresentam variação no erro amostral operacional entre 10 e 30% (ZANETTI et al., 2008).

A técnica do pior foco consiste em identificar focos de desfolha nos talhões de eucalipto, selecionar aqueles em que a situação é mais grave e determinar o número e a área das colônias de formigas cortadeiras, a quantidade de árvores danificadas e o grau da desfolha. Por meio de um parâmetro considerado em nível de dano econômico, determina-se ou não a intervenção na área (ANJOS et al., 1993). Esse sistema de amostragem eliminou o combate em 30% da área monitorada e nos 70% restantes foi necessário apenas um combate.

O método de amostragem com parcelas fixas consiste na marcação de parcelas de tamanho fixo, distribuídas ao acaso ou sistematicamente na área e na contagem do número de formigueiros presentes, o que permitirá estimar a densidade da praga (ZANETTI, 1998). O tamanho das parcelas varia entre 720 e 1.080 m² e largura igual ao espaçamento de duas a três entrelinhas de plantio, com lançamento de parcelas a cada três a cinco hectares, no centro ou na borda da unidade de manejo (ZANETTI et al., 2008).

Parcelas de 720 m² (80 x 9 m) lançadas na área, a cada 5 ha foram utilizadas para monitoramento e controle de formigas cortadeiras na Mannesmann Florestal em Paraopeba, Minas Gerais (OLIVEIRA et al., 1993). Em Bocaiúva, Minas Gerais, Caldeira (2002) utilizou parcelas de 840 m² a cada três ou seis hectares, para um erro esperado de 5% ou 10%, respectivamente. Já para a região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, o tamanho ótimo de parcelas aleatórias foi estimado em 420 m² com intensidade amostral variando entre 5,18 e 9,21 % e erro esperado entre 20 e 15 %, respectivamente (REIS & ZANETTI, 2005).

No método de amostragem por quadrante, pontos são distribuídos de modo sistemático na área a ser amostrada, divididos em quatro quadrantes. Em cada quadrante o indivíduo mais próximo ao ponto é amostrado e registrando a distância do mesmo em relação ao ponto. Desta forma, são amostrados quatro indivíduos por unidade e a distância entre os pontos deve ser estabelecida para permitir que o mesmo indivíduo seja amostrado por pontos distintos. A distância deve ser calculada a partir de levantamento piloto de 50 medições e deve ser igual ao dobro da máxima entre indivíduos mais próximos. Após as medições das 50 distâncias, a maior delas é multiplicada por dois, com um acréscimo de 20% para maior segurança, sendo que as distâncias entre os transectos podem ou não ser as mesmas que entre os pontos quadrantes (MARTINS, 1993).

A amostragem de formigas cortadeiras em plantações de eucalipto pelo método de quadrantes com estimador de Prodan é adequada para ser utilizada em programas de monitoramento em Belo Oriente, Minas Gerais (REIS et al., 2007).

Na amostragem sequencial, utiliza-se um número variável de unidades amostrais em função do nível da infestação. Quando a densidade da praga está muito abaixo ou muito acima do nível de controle, a decisão de se controlar ou não é tomada com menor número de unidades amostrais avaliadas (ZANETTI & MENDONÇA, 2005). Estes mesmos autores desenvolveram um plano de amostragem sequencial para formigas cortadeiras em reflorestamentos de eucalipto em Belo Oriente, Minas Gerais, no qual adotaram um nível de controle de 9 m² de terra solta por hectare (ZANETTI, et al., 2003), um número mínimo de 6 unidades amostrais (valor que representou o menor erro) e tamanho destas unidades de 720 m² (valor que apresentou a menor variância intraclasse). A dificuldade deste plano de amostragem descrita pelos autores é a tomada de decisão quando a infestação está próxima ao nível de controle.

Na amostragem sequencial, o número de unidades amostrais varia de acordo com o nível de infestação e permitindo a redução do tempo de amostragem em torno de 50%, diminuindo assim seu custo (ESTEFANEL, 1977).

Mendonça (2008) desenvolveu um plano de amostragem sequencial em plantios de eucalipto para a região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais baseado na metodologia de Iwao e utilizando o NDE (Nível de dano econômico) de 9m² de formigueiros por hectare, conforme descrito por Zanetti et al. (2003a).

Os transectos em faixas são parcelas de comprimento igual ao da linha de plantio e largura variando de duas a três entrelinhas, os quais têm sido lançados a partir da terceira ou quinta linha de plantio, entre 96 e 180 m de distância entre eles. Os valores exatos devem ser previamente calculados por um plano de amostragem (ZANETTI, 2007).

A amostragem de formigas cortadeiras pelos métodos de transectos em faixa e em linha com o estimador de área proporcional lançados a cada 96 m a partir da terceira linha de plantio é válida para ser utilizada em programas de monitoramento de formigas-cortadeiras na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais (REIS et al., 2005).

A melhor correlação com o censo dos formigueiros na região de Montes Claros, Minas Gerais foi obtida com lançamento de transectos em faixa de 9 m de largura a partir da sétima linha de plantio (SOSSAI, 2001). Para esta mesma região, o lançamento de um transecto de 9 m de largura a cada 120 m distância pode ser recomendado para monitorar o número e área de colônias de formigas cortadeiras nos eucaliptais estudados (ZANUNCIO et al., 2004). As melhores distâncias entre os transectos para monitoramento de colônias de formigas cortadeiras em eucaliptais das regiões de Abaeté, Bom Despacho, Ibitira e Martinho Campos, Minas Gerais foram de 192, 120, 120 e 168m, respectivamente (PINTO, 2006).

O maior número de formigueiros foi encontrado a 100 e 130 m da borda do talhão (ZANUNCIO et al., 2002). Isto mostra que a amostragem por transectos em faixa seria mais indicada para amostrar colônias de formigas cortadeiras, pois, a amostra de uma borda a outra do talhão pode representar melhor o padrão de distribuição espacial de formigueiros (PINTO, 2006).

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Caracterização da área experimental

O experimento foi dividido em duas fases: 1. Levantamento populacional e 2. Custo operacional da amostragem (COA). Cada fase foi realizada em áreas distintas por questões práticas.

Na primeira fase, o experimento foi desenvolvido na Fazenda Piracema da empresa Duratex S.A no município de Lençóis Paulista, São Paulo, com as coordenadas planas:

Talhão	41	42	45	69
Coordenadas	22°44'17" S	22°44'22" S	22°44'18" S	22°44'27" S
Geográficas	48°57'03" W	48°57'22" W	48°57'04" W	48°57'40" W

A Fazenda Piracema apresenta área reflorestada de 4.498,56 ha. Quatro talhões de plantios clonais de *Eucalyptus* spp. com idade entre quatro e seis anos e espaçamento de 3x2 m foram utilizados para esta primeira fase do trabalho. Os talhões, nomeados 41, 42, 45 e 69 totalizam área amostrada de 128,56 hectares (Figura 1).

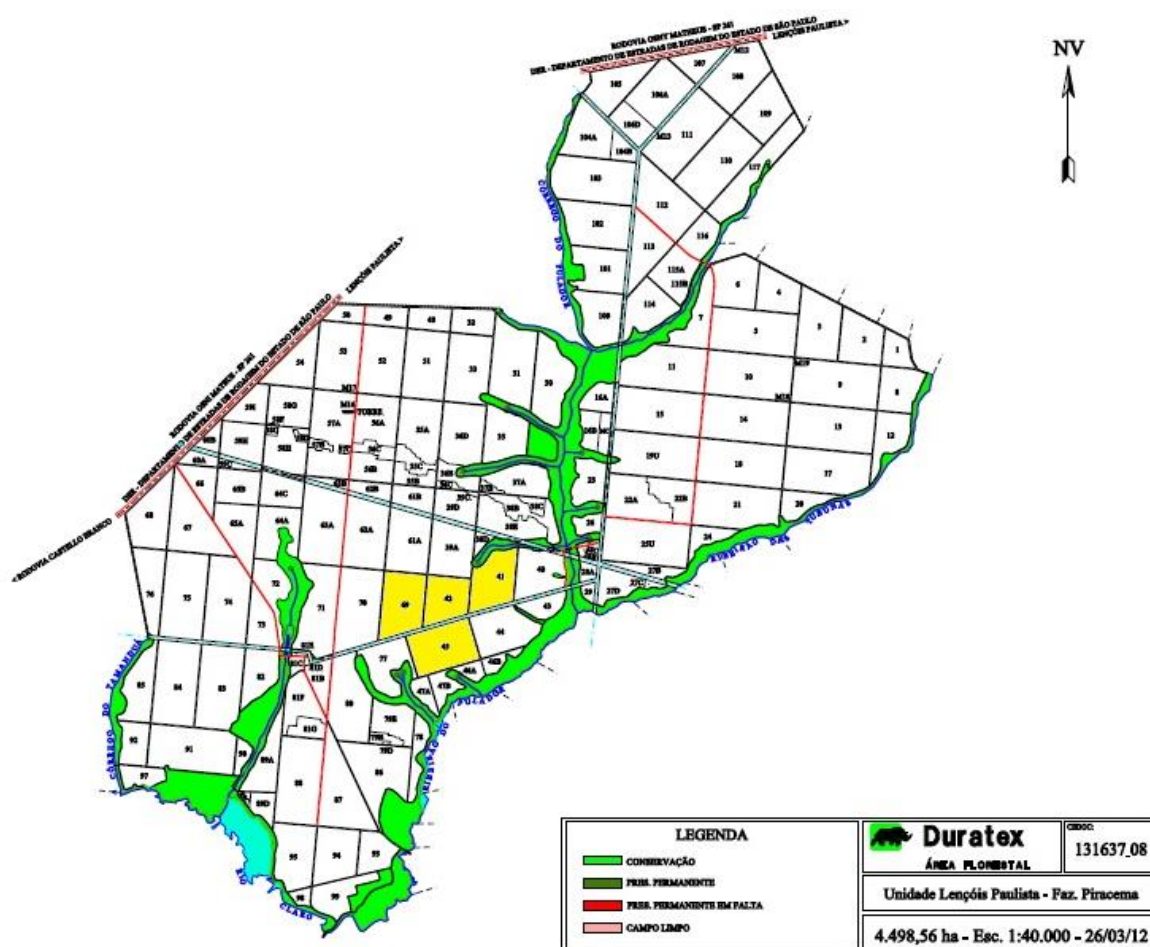


Figura1. Localização dos talhões (em amarelo) com plantio de *Eucalyptus* spp. utilizados para o levantamento populacional de *Atta* spp. na Fazenda Piracema, Lençóis Paulista, São Paulo. 2012.

Na segunda fase, o experimento foi desenvolvido na Fazenda Santa Ângela da empresa Suzano Papel e Celulose no município de Botucatu, São Paulo, com as coordenadas planas:

Coordenadas	22° 76' S
Geográficas	48° 30' W

A Fazenda Santa Ângela apresenta área total reflorestada de 1.120,75 ha onde nove talhões de plantios clonais de *Eucalyptus* spp. com idade de seis anos e espaçamento de 3,30 x 2,20 m foram utilizados. Os talhões, nomeados 1, 3, 5, 12, 13, 15A, 15B, 16 e 17 totalizam área amostrada de 344,20 hectares (Figura 2).

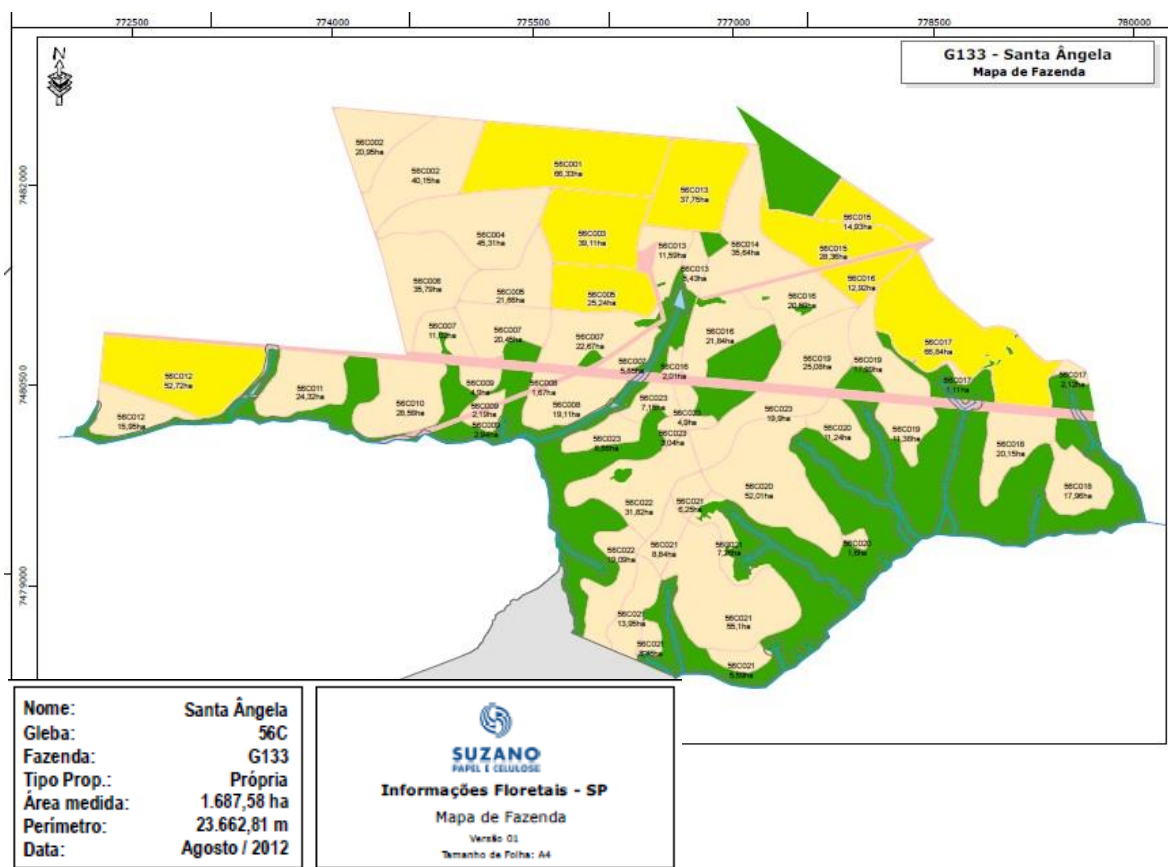


Figura 2. Localização dos talhões (em amarelo) com plantio de *Eucalyptus* spp. utilizados para a determinação do Custo da Amostragem de *Atta* spp. na Fazenda Santa Ângela, Botucatu, São Paulo. 2013.

3.2- Levantamento populacional de *Atta* spp.

O levantamento populacional dos ninhos de *Atta* spp. (sauveiros) na área total dos talhões (censo populacional) foi realizado com transectos em faixa. Cada transecto em faixa é considerado uma parcela com largura correspondente a três (3)

entrelinhas de plantio e comprimento igual ao da linha do talhão. Todos os ninhos de *Atta* spp. ativos nos transectos foram medidos, considerando-se as maiores largura e comprimento da área de terra solta (ALVES et al., 1996) sendo identificados como *Atta laevigatta* ou *Atta sexdens* e georreferenciados (Figura 2) com coletor de dados HP 1000C com GPS de 32 canais.

Os ninhos (sauveiros) foram classificados em cinco classes de tamanho de acordo com a área total de terra solta: I ($< 1,0 \text{ m}^2$), II (1,0 a $2,9 \text{ m}^2$), III (3,0 a $8,9 \text{ m}^2$), IV (9,0 a $25,0 \text{ m}^2$) e V ($> 25,0 \text{ m}^2$ de terra solta) (CALDEIRA et al., 2005).



Figura 3. Imagem do talhão 41 com ninhos de *Atta* spp. georreferenciados. Fazenda Piracema, Lençóis Paulista, São Paulo. Imagem capturada em abril de 2013 (GOOGLE EARTH, 2013).

3.3- Determinação da distribuição espacial de ninhos de *Atta* spp.

O padrão de distribuição espacial dos ninhos de *Atta* spp. foi obtido considerando-se dados do levantamento populacional. A distribuição espacial dos ninhos de formigas-cortadeiras nos talhões de eucalipto foi determinada com os índices de dispersão

(ID) e índice de morisita (I_δ). A partir dos resultados desses dois índices e de seus respectivos testes estatísticos teste d e teste qui-quadrado (χ^2 (n-1gl)), as distribuições de Poisson e Binomial negativa foram obtidas para ajustar o padrão de dispersão dos ninhos de formigas cortadeiras nos diferentes talhões.

3.3.1- Índice de Dispersão (ID) e Índice de Morisita (I_δ)

Os dados do número total de transecto/talhão, número total de ninhos/transecto, média e variância do número total de ninhos foram utilizados para se calcular a distribuição espacial dos ninhos de *Atta* spp. por talhão através do índice de dispersão (ID), índice de morisita (I_δ) e seus respectivos testes estatísticos (Tabela 1). As distribuições de Poisson e Binomial negativa foram utilizadas a partir do índice de dispersão para se ajustar ao padrão de dispersão dos ninhos de formigas cortadeiras nos diferentes talhões.

Índice de Dispersão (ID):

$$ID = \frac{S^2}{\bar{x}}; \text{ em que:}$$

S^2 = variância;

$\bar{x}$ = média do número de ninhos/transecto.

Os resultados obtidos pelo ID serão confirmados pelo teste estatístico “d” (LUDWIG & REYNOLDS, 1988), através da fórmula:

$$d = \sqrt{ID \cdot (N - 1)} - \sqrt{2(N - 1) - 1}; \text{ em que:}$$

ID = valor de ID;

N = número de unidades amostrais (transectos).

Índice de Morisita (I_δ) é calculado através da expressão:

$$I\delta = N \times \frac{[(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n})]}{[(\sum_{i=1}^n x_i)^2 - \sum_{i=1}^n x_i]}, \text{ em que:}$$

N = número de unidades amostrais (transectos/talhão);

x_i = número de ninhos na i-ésima unidade amostral.

O índice de morisita ($I\delta$) tem como critério de distribuição espacial, $I\delta = 1$, distribuição aleatória; $I\delta > 1$, distribuição agregada; $I\delta < 1$, distribuição regular (DAVIS, 1993). O afastamento da aleatoriedade foi testado através da expressão: $\chi^2 = Id (\sum x - 1) + n - \sum x$, onde: Id = valor do índice de dispersão de Morisita; n = número total de unidades amostrais (transectos); $\sum x$ = somatório do número de ninhos de formigas cortadeiras nas amostras. O teste de afastamento da aleatoriedade consiste em rejeitar a aleatoriedade se: $\chi^2 > \chi^2(n-1gl)$, $p < 0,05\%$.

Tabela 1. Limites do índice de dispersão (ID) e índice de morisita ($I\delta$) para a distribuição espacial dos ninhos de formigas cortadeiras e os respectivos limites para cada classe.

Índice	Regular	Aleatória	Agregada
ID	< 1	1	> 1
$\underline{d}$	< 1,96	- 1,96 A 1,96	> 1,96
$I\delta$	< 1	1	> 1

3.3.2- Distribuição de Poisson

O padrão de distribuição espacial dos ninhos de formigas cortadeiras foi determinado pelo ajuste do modelo de distribuição de Poisson, comparando-se a frequência observada (F_{obs}) do número de ninhos por transecto com a esperada (F_{esp}), através da aplicação do teste Qui-quadrado (χ^2 ; $p < 0,05$). A hipótese testada para Poisson foi: $H_0: F_{obs} = F_{esp}$. Os procedimentos estatísticos foram adotados conforme Ludwig e Reynolds (1988), com modificações. Para os cálculos, utilizaram-se as fórmulas:

$$F_{obs} = \sum_{x=1}^r nx; \text{ em que:}$$

F_{obs} = frequência observada;

nx = número de transectos contendo x formigueiros, sendo $x = 0, 1, 2, 3 \dots r$ ninhos.

$$F_{esp} = (N)P(x); P(x) = (\mu^x e^{-\mu})/x!; \text{ em que:}$$

F_{esp} = frequência esperada;

N = número de transectos;

$P(x)$ = distribuição de Poisson;

$r = 0, 1, 2, 3 \dots$, r ninhos/transecto;

μ = média do número de ninhos/transecto;

$e = 2,7183$.

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(F_{obs} - F_{esp})^2}{F_{esp}} \right]; \text{ em que:}$$

χ^2 = qui-quadrado, calculado;

F_{obs} = frequência observada;

F_{esp} = frequência esperada.

3.3.3- Distribuição Binomial Negativa

O padrão de distribuição espacial dos ninhos de formigas cortadeiras foi determinado pelo ajuste do modelo de distribuição Binomial Negativa, comparando-se a frequência observada (F_{obs}) do número de ninhos por transecto com a frequência esperada (F_{esp}), através da aplicação do teste Qui-quadrado (χ^2 ; $p < 0,05$). A hipótese testada para Binomial Negativa foi: $H_1: F_{obs} \neq F_{esp}$. Os procedimentos estatísticos foram adotados conforme Ludwig e Reynolds (1988), com modificações. Para os cálculos, utilizaram-se as fórmulas:

$$F_{obs} = \sum_{x=1}^r nx; \text{ em que:}$$

F_{obs} = frequência observada;

nx = número de transectos contendo x ninhos, sendo $x = 0, 1, 2, 3 \dots r$ ninhos.

$$F_{esp} = (N)P(x); P(x) = [\mu/(\mu + k)]^x \left\{ \frac{(k+x-1)!}{[x!(k-1)!]} \right\} [1 + (\mu/k)]^{-k}; \text{ em que:}$$

F_{esp} = frequência esperada;

N = número de transectos;

$P(x)$ = distribuição binomial negativa;

μ = média do número de ninhos/transecto;

$x=0,1,2,3,...,r$ ninhos/transecto;

k = parâmetro que estima o grau de agregação.

$$k = \mu^2 / (S^2 - \mu); \text{ em que:}$$

μ^2 = média do número de ninhos/transecto;

S^2 = Variância.

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(F_{obs} - F_{esp})^2}{F_{esp}} \right]; \text{ em que:}$$

χ^2 = qui-quadrado, calculado;

F_{obs} = frequência observada;

F_{esp} = frequência esperada.

3.3.4- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp.

A variabilidade espacial dos dados foi analisada pela geoestatística, considerando a dependência espacial no intervalo de amostragem. A geoestatística é um tipo de análise espacial que determina o grau de associação entre amostras baseadas na direção e distância entre elas (OTTATI, 2004).

Todos os ninhos de formigas cortadeiras nos quatro talhões foram georreferenciados obtendo suas coordenadas geográficas em UTM para o estudo da dependência espacial. Os dados de área de terra solta dos ninhos (m²) e classes de tamanho (I (< 1,0 m²), II (1,0 a 2,9 m²), III (3,0 a 8,9 m²), IV (9,0 a 25,0 m²) e V (> 25,0 m² de terra solta)) foram utilizados na análise de dependência espacial dos ninhos de formigas cortadeiras.

A análise e ajuste do variograma para a determinação da variabilidade espacial dos dados foi efetuada com o programa geoestatístico GS⁺ 7, executando-se os seguintes métodos: análise descritiva dos dados, elaboração e ajuste do variograma. O variograma, ferramenta básica utilizada no processo de interpolação por Krigagem, analisa o grau de dependência espacial das amostras e define os parâmetros necessários para a estimativa de valores em locais não amostrados.

O programa GS+7 executou a Equação de $\gamma(h)$ para a elaboração e ajuste do variograma, estimando valores do alcance (A), efeito pepita (C0), componente estrutural (C) e patamar (C+C0). O ajuste do variograma foi realizado pela escolha de um modelo teórico com melhor ajuste em relação aos pontos estimados. Vieira et al. (1983) apresentaram na equação do variograma a estimativa do grau de dependência espacial entre as amostras, com base na pressuposição da estacionaridade da hipótese intrínseca.

$$\gamma(h) = 1/2N(h)\sum[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2; \text{ em que:}$$

$\gamma(h)$: é o valor do variograma estimado para a distância h ;

N : é o número de pares de pontos de amostragem separados pela distância h ;

$Z(x_i)$: valores de área de terra solta ou classes de tamanho, com localização x_i ;

$Z(x_i + h)$: são valores de área de terra solta ou classes de tamanho à h unidades de distância a partir de x_i .

O Índice de Dependência espacial (IDE) foi utilizado para mensurar o grau de dependência espacial (ZIMBACK, 2001):

$$IDE = \frac{C}{C_0 + C} \times 100; \text{ em que:}$$

C = componente estrutural;

$C_0 + C$ = patamar.

Sendo que:

- i) Variável independente espacialmente, se a relação for igual a 0%;
- ii) Variável com fraca dependência espacial, se a relação for $\leq 25\%$;

- iii) Variável com moderada dependência espacial, se a relação estiver entre 25% e 75%;
- iv) Variável com forte dependência espacial, se a relação estiver entre 75% e 100%;

A krigagem ordinária bidimensional, técnica geoestatística que modela estimativas interpoladas através de médias ponderadas dos valores localizados próximos (LIEBHOLD et al., 1993) e o inverso da distância, que estima valores para locais não amostrados através da média ponderada pelo inverso da distância foram as duas metodologias de interpolação de dados espaciais utilizadas para a estimativa de ninhos de formigas cortadeiras em locais não amostrados. Ambas as metodologias foram executadas através do programa geoestatístico GS⁺ 7. A validação cruzada foi realizada antes do processo de interpolação por Krigagem para verificar os valores obtidos da amostragem com os estimados no variograma (*cross-validation*).

3.4-Desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de transectos em faixa

O transecto em faixa (parcela com largura correspondente a três entrelinhas de plantio, nove metros e comprimento igual ao da linha do talhão foi simulado a cada distância múltipla de nove metros, de 9 a 270 metros. Os valores da densidade de ninhos (n.ha⁻¹) e área de terra solta (m².ha⁻¹) foram estimados, para cada uma das simulações de lançamento de transectos nas diferentes distâncias, pelo estimador de área proporcional (REIS, 2005; REIS et al., 2010), com adaptações:

$$DP(n/ha) = \frac{10000 \times \sum_{i=1}^n NF}{(\sum_{i=1}^n AT)}; \text{ em que:}$$

DP (n/ ha⁻¹) = número de ninhos/ha;

NF = número de ninhos/transecto;

AT = área de cada transecto;

n = número de transectos (i =1, 2,..., n).

$$DP (m^2/ha) = \frac{10000 \times \sum_{i=1}^n AF}{(\sum_{i=1}^n AT)}; \text{ em que:}$$

DP (m^2/ha^{-1}) = área de terra solta/ha;

AF = área de terra solta de ninhos/transecto;

AT = área de cada transecto;

n = número de transectos (i =1, 2,..., n).

Os valores estimados na amostragem com os lançamentos dos transectos foram correlacionados com o censo populacional de cada talhão. A intensidade amostral correspondeu à porcentagem da área amostrada em relação ao total de área do talhão. A melhor distância entre transectos para estimar a população de *Atta* spp. foi aquela com correlação significativa (r-Pearson; $p < 0,05\%$) com o censo acima de 85% e intensidade amostral abaixo de 10% (limite de viabilidade econômica) (ZANETTI et al. 2005). O lançamento do primeiro transecto foi iniciado na linha três (ZANUNCIO et al., 2000; CALDEIRA, 2002, REIS et al., 2010).

3.5- Validação do Plano de Amostragem

Os valores observados (do censo) dos quatro talhões anteriormente analisados (41, 42, 45 e 69) foram utilizados para a validação do plano de amostragem. O conjunto de dados de cada talhão foi aleatorizado trinta vezes e para cada novo rearranjo foi simulado o lançamento da melhor distância entre transectos obtendo-se novos valores estimados para número de ninhos e área de terra solta. Os valores da densidade de ninhos ($n.ha^{-1}$) e área de terra solta ($m^2.ha^{-1}$) foram calculados para cada uma das simulações de lançamento do melhor transecto pelo estimador de área proporcional (DP).

Os valores observados e estimados de cada variável (densidade de ninhos e área de terra solta) foram submetidos ao teste t de Student com 5% de probabilidade de erro. A hipótese testada foi: $H_0: média_{estimada} = média_{observada}$. Os procedimentos estatísticos foram adotados conforme ZAR (1999). O erro amostral (%) foi calculado com a fórmula:

$$\text{Erro amostral (\%)} = \frac{\left(\frac{Z^{\alpha}}{2}\right) \times DP}{\sqrt{n}}; \text{ em que:}$$

$Z (\alpha)/2 = 1,96$ (Valor crítico para grau de confiança de 5%);

DP = Desvio Padrão;

n = número de amostras utilizadas na estimativa.

3.6-Custo Operacional da Amostragem (COA)

Nove talhões de eucaliptos diferentes dos utilizados para a elaboração do plano de amostragem foram selecionados para a estimativa do Custo Operacional da Amostragem, totalizando 344,20 hectares.

A melhor distância entre transectos para amostragem de *Atta* spp. foi utilizada nos talhões e em cada um deles os ninhos de formigas cortadeiras foram numerados, medidos (área de terra solta (m²)) e os dados anotados em prancheta.

O início e fim do caminhamento foram anotados para se obter o tempo para percorrer os transectos e levantar os dados. Isto permitiu a estimativa do tempo gasto por transecto (Tm), tempo total do levantamento por talhão (Tt) e tempo por hectare (Th) em horas (h). A determinação do custo operacional da amostragem (COA) foi calculada com a fórmula:

$$\text{COA} = Th \times A \times Vt; \text{ em que:}$$

Th = tempo (médio) em horas/hectare;

A = área total amostrada (ha);

Vt = valor da tarifa paga por hora na região de estudo (R\$/h. homem, considerando os gastos com EPI, transporte, alimentação, salário e encargos).

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Levantamento populacional de *Atta* spp.

Os 128,56 hectares de plantios de *Eucalyptus* spp. apresentaram 793 ninhos de *Atta* spp. com área total de 9.278,25 m² de terra solta. Do total de ninhos, 659 foram identificados como *Atta sexdens*, perfazendo 89,3% do total de ninhos e 79 como *Atta laevigata*, perfazendo 10,7% do total. A média geral nos talhões 41, 42, 45 e 69 foi de 5,73 ninhos e 72,26 m² de área de terra solta por hectare (Tabela 1).

O número médio de ninhos de formigas cortadeiras e a área de terra solta foram menores que os encontrados em regiões de Cerrado e Mata Atlântica de Minas Gerais. Na região de Paraopeba, Minas Gerais, o número de ninhos *Atta* spp. encontrado em eucaliptais foi de 190,3/ha e a área de terra solta foi de 401 m²/ha (LASMAR, 2012). Na região de Bocaiúva, Minas Gerais foram encontrados 29,3 ninhos de *Atta* spp. por hectare e área de terra solta de 172,3 m²/ha (CALDEIRA et al., 2005) e na região de Belo Oriente, Minas Gerais foram encontrados 78,6 ninhos de *Atta* spp. e 230,5 m² de área de terra solta por hectare (REIS E ZANETTI, 2005).

As variáveis precipitação anual, percentual de argila no solo, temperatura mínima anual e percentual de obstrução do sub-bosque apresentaram correlação negativa com a incidência e como desenvolvimento dos ninhos de *Atta* spp. em áreas

reflorestadas (LIMA, 1991). Além desses fatores, o histórico de combate das áreas amostradas influencia na densidade de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais.

Tabela 1- Número (N) e área de terra solta (m²) totais e por hectare (ha) de ninhos de *Atta* spp. nos talhões de *Eucalyptus* spp. Lençóis Paulista, São Paulo. 2012.

Talhão	Área (ha)	Número de ninhos (N)		Área de terra solta (m ²)	
		Total	N.ha ⁻¹	Total	m ² .ha ⁻¹
41	30,76	249	8,09	4298,75	139,75
42	25,70	99	3,85	793,25	30,87
45	37,00	75	2,03	573,00	15,49
69	35,10	315	8,97	3613,25	102,94
Média	32,14	184,50	5,74	2319,56	72,26
Erro padrão	0,16	0,63	0,58	0,82	0,82
Total	128,56	738,00		9278,25	

Dos 738 ninhos, 51,08% são da classe I (<1m² de terra solta), 24,39% da classe II (1,0 a 2,9 m²), 8,13% da classe III (3,0 a 8,9 m²), 4,20% da classe IV (9,0 a 25,0 m²) e 12,20% da classe V (> 25,0 m²) (Figura 1).

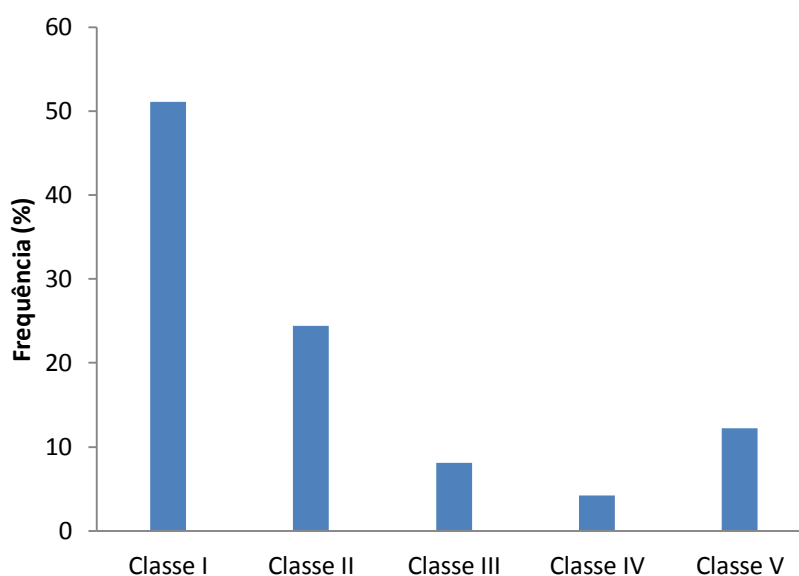


Figura 4. Frequência dos ninhos (%) por classe de tamanho: I (< 1,0 m²), II (1,0 a 2,9 m²), III (3,0 a 8,9 m²), IV (9,0 a 25,0 m²) e V (> 25,0 m² de terra solta), nos talhões de *Eucalyptus* spp. Lençóis Paulista, São Paulo. 2012.

A classe V apresentou baixo percentual de ninhos (12,20%) se comparado à classe I (51,08%), porém esta última classe respondeu com o maior percentual de área de terra solta (84,71%) e a classe I, com apenas 2,03% do total (Tabela 3). Os valores de 88,9% para a classe I e 2,58% para a V foram encontrados em eucaliptais da região de Belo Oriente, Minas Gerais (REIS E ZANETTI, 2005). Na região de João Pinheiro, Minas Gerais, os valores encontrados foram de 75,4% para a classe I e 2,9% para a classe V (ZANETTI et al., 2000).

Esse comportamento de distribuição de tamanho de ninhos de formigas cortadeiras parece ser o padrão normal do gênero, em que um grande número de alados é gerado e disperso a grandes distâncias pelo vento, até locais vagos para a colonização (CALDEIRA et. al, 2005). À medida que os saúveiros crescem e envelhecem a sua densidade diminui pela competição intra-específica, ação de inimigos naturais e condições edafoclimáticas dos locais de nidificação (ZANETTI, 1998).

Verifica-se que os talhões 41 e 69 apresentaram os maiores valores de área de terra solta na classe V se comparado aos talhões 42 e 45 (Tabela 3). Isto pode estar

relacionado com a qualidade dos combates já que todos eles foram combatidos na mesma época (informação pessoal)¹.

Tabela 3- Área total acumulada de terra solta de ninhos de *Atta* spp. (m²) por classe de tamanho, encontrada nos talhões de *Eucalyptus* spp.. Lençóis Paulista, São Paulo. 2012.

Talhão		Área de terra solta (m ²) por classe de tamanho				
Número	Área (ha)	<1 m ²	1 a 2,9 m ²	3 a 8,9 m ²	9 a 25 m ²	>25 m ²
41	30,76	52,25	85,50	110,00	168,00	3883,00
42	25,70	26,25	30,00	41,00	12,00	684,00
45	37,00	19,50	21,50	25,00	102,00	405,00
69	35,10	90,25	95,00	86,00	454,00	2888,00
Total	128,56	188,25	232,00	262,00	736,00	7860,00
%		2,03	2,50	2,82	7,93	84,71

4.2- Determinação da distribuição espacial de ninhos de *Atta* spp.

O índice de dispersão e de Morisita mostraram distribuição do tipo agregada para todos os talhões, o que foi confirmado pelo teste estatístico d e o teste qui-quadrado (χ^2 (n-1gl)) (Tabela 4). Além disso, a hipótese testada para a distribuição de poisson ($H_0: F_{obs} = F_{esp}$) foi rejeitada pelo teste do qui-quadrado, confirmando que os ninhos de formigas-cortadeiras têm tendência para distribuição agregada (Tabela 5).

Tabela 4- Número de ninhos (N), número de transectos/talhão (Nt), média (μ), variância (S²), índice de dispersão (ID), teste d e índice de morisita (I_d) para ninhos de *Atta* spp. em plantios de *Eucalyptus* spp.. Lençóis Paulista, São Paulo.

Talhão	N	Nt	μ	S ²	ID	d	(I _d)
41	249	90	2,77	12,54	4,53 ^{AG}	26,86 ^{AG}	2,27 ^{AG}
42	99	55	1,80	5,68	3,16 ^{AG}	12,15 ^{AG}	2,15 ^{AG}
45	75	62	1,21	4,33	3,58 ^{AG}	18,56 ^{AG}	3,08 ^{AG}
69	315	88	3,58	18,79	5,25 ^{AG}	29,59 ^{AG}	2,15 ^{AG}

Tipo de distribuição: (AG) agregada.

¹Informação pessoal cedida pelo professor Dr. Carlos Frederico Wilcken.

Tabela 5- Teste qui-quadrado (χ^2) de aderência das frequências observadas às frequências esperadas pelas distribuições de Poisson e binomial negativa para ninhos de *Atta* spp. em plantios de *Eucalyptus* spp.. Lençóis Paulista, São Paulo.

Talhão	Nº ninhos	Nt	Poisson		Binomial Negativa	
			χ^2	GL	χ^2	GL
41	249	90	227,64 *	6	10,95	8
42	99	55	69,00 *	5	15,18	6
45	75	62	41,64 *	4	7,78	5
69	315	88	582,61*	7	179,08	10

G.L.: número de graus de liberdade do qui-quadrado; (*): hipótese rejeitada a 5% de probabilidade.

Os modelos matemáticos utilizados para a determinação da distribuição espacial de *Atta* spp. (Poisson, Binomial negativa, Índice de dispersão e Morisita) mostraram distribuição espacial do tipo agregada para os quatro talhões de eucalipto, ou seja, qualquer um pode ser utilizado para esta finalidade.

A distribuição agregada para formigas cortadeiras já foi relatada anteriormente nos municípios de Abaeté, Bom Despacho, Ibitira e Martinho Campos, Minas Gerais (PINTO, 2006), Paraopeba, Minas Gerais (LASMAR et al., 2012) e Botucatu, São Paulo (RAMOS et al., 2008), resultados corroborados pelo presente estudo. A distribuição agregada é a mais comum devido a variações de características do meio ou ao comportamento de seres vivos que tendem a agrupar-se (AUBRY & DEBOUZIE, 2000). Populações de insetos tendem a apresentar uma distribuição fragmentada e, mesmo quando a densidade média da população é baixa, pode haver fragmentos com altas densidades (OTTATI, 2004).

O modelo de distribuição espacial das colônias de formigas está associado a fatores bióticos e abióticos como verificado para a dispersão agregada de espécies da tribo Attini (WARBURG E STEINMERGER, 1997), o que pode estar relacionado a recursos para nidificação (ALBUQUERQUE et al., 2005).

A distribuição do tipo aleatória para formigas cortadeiras foi relatada nos municípios de Bocaiúva, MG (CALDEIRA et al., 2005), Belo Oriente, Minas Gerais (REIS & ZANETTI, 2005; ZANETTI & MENDONÇA, 2005), Rio Negrinho e Três Barras, Santa Catarina (NICKELE et al., 2010), sendo esse tipo de distribuição observado quando as condições ambientais são semelhantes em qualquer ponto no espaço e a presença de um

organismo não interfere com a do outro, indicando a inexistência ou reduzida interação das formigas entre si e com o ambiente (BEGON et al., 1996).

Este tipo de distribuição espacial (aleatória) parece ocorrer em reflorestamentos equianos, caracterizados pela homogeneidade de tipo de solo, idade da floresta, temperatura, tratos culturais, etc. (CALDEIRA et al., 2005). Os talhões de eucalipto utilizados neste estudo estão próximos uns dos outros, na mesma fazenda, apresentam a mesma idade, receberam o mesmo manejo (tratos culturais) e tiveram suas áreas controladas com inseticidas na mesma época, ou seja, apresentam condições semelhantes. No entanto, a distribuição espacial do tipo agregada mostrou que esses fatores podem afetar ou não o processo de infestação dos talhões de eucalipto e fazer com que áreas diferentes apresentem crescimento diferenciado de colônias de formigas cortadeiras (SOSSAI, 2001).

O conhecimento da distribuição espacial de populações de insetos é essencial para metodologias de amostragem (GILES et al., 2000; ZANETTI, 2007) pois, quanto maior a densidade dos ninhos, mais uniforme será sua distribuição (NICHOLAS & VILELA, 1995; SOSSAI, 2001) enquanto a distribuição pode ser ao acaso e/ou agregada em locais com baixa densidade (WALOFF & BLACKWITH 1962, CALDEIRA et al., 2005).

Amostras pequenas de uma população com distribuição agregada tendem a apresentar densidade alta ou baixa demais, quando o número amostrado é extrapolado para se obter a população total (ODUM, 1988). Assim, a amostragem de insetos com distribuição espacial do tipo agregada necessita de um maior número de amostras para garantir confiabilidade da estimativa da população total e de planejamento cuidadoso se comparado com as distribuições do tipo aleatória ou uniforme.

4.3- Análise Geoestatística da estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp.

Os variogramas gerados para área de terra solta e classes de tamanho de ninhos de formigas cortadeiras não mostraram dependência espacial para nenhum dos talhões estudados e, portanto, o método de Krigagem não pôde ser utilizado para se determinar a estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp.

Os variogramas apresentaram efeito pepita puro para as variáveis estudadas (área de terra solta e classe de tamanho). Se o variograma for constante e igual ao

patamar para qualquer valor de h e não apresentar valor de alcance tem-se um gráfico mostrando “efeito pepita puro” e, neste caso, há ausência total de dependência espacial ou, a dependência espacial se manifestará à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras (SILVA et al., 2013).

O efeito pepita reflete o erro analítico, variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para outro, que pode ser devido a erros de medidas ou a microvariação não detectada em função da distância de amostragem utilizada (CAMBARDELLA, et al., 1994; VIEIRA, 1997), sendo impossível quantificar a contribuição individual dos erros de medições ou da variabilidade.

Observou-se durante o ajuste do variograma que, quando os ninhos maiores que 100 m^2 eram excluídos, existia a dependência espacial, já que restavam os ninhos menores que 100 m^2 , que eram em maior quantidade. Porém, o intuito era determinar se existia dependência espacial considerando todos os tamanhos de ninhos de formigas cortadeiras.

Em discordância a este estudo, Lasmar et al (2012) encontraram o valor médio do alcance da dependência espacial para área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras de 45,10 m em Paraopeba, MG. Nesse trabalho, a densidade (ninhos/ha) foi de 95,15, valor bem acima do encontrado no presente estudo (5,73 ninhos/ha). Isto poderia afetar a determinação do variograma já que, segundo Landim (2000), pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável utilizada.

A determinação do variograma é o início do procedimento da estimativa geoestatística quando o ajuste do modelo influenciará o processo de interpolação de dados e dos resultados e conclusões. O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e, apesar disto, obter resultados (LANDIM, 2000). O ajuste do modelo do variograma no software GS^+ é automático, baseado na soma dos quadrados dos resíduos e do r^2 da validação cruzada. Este ajuste é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas e pode, se as devidas cautelas não forem tomadas, tornar-se uma das maiores fontes de ambiguidade e polêmica nessa aplicação (SILVA et al., 2013).

4.4- Desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de transectos em faixa

A matriz de correlação entre a densidade de ninhos de *Atta* spp. ($n.ha^{-1}$) pelo estimador de área proporcional e censo acima de 85% mostrou correlação significativa (Pearson; $p < 0,05$) para transectos em faixa a cada 9, 18, 27, 36, 90, 108 e 126 metros (Tabela 6). A matriz de correlação entre a área de terra solta ($m^2.ha^{-1}$), pelo estimador de área proporcional e censo acima de 85% mostrou correlação significativa (Pearson; $p > 0,05$) para transectos em faixa a cada 9, 18, 27, 36, 81, 108 e 234 metros (Tabela 6).

O conjunto de resultados da correlação para as variáveis densidade e área de terra solta mostrou melhores distâncias para 9, 18, 27, 36 e 108 metros. No entanto, transectos a cada 9, 18, 27 e 36 metros de distância apresentaram intensidade amostral acima de 10% (Tabela 6), o que inviabiliza economicamente seu uso (REIS et al., 2005). Portanto, a distância de 108 metros foi utilizada para a validação do plano de amostragem, com intensidade amostral de 7,72%.

A intensidade amostral utilizada na amostragem de formigas cortadeiras pelo método de transectos em faixa no município de Belo Oriente, MG foi de 6,3% (REIS et al., 2010), valor próximo ao encontrado neste estudo.

Tabela 6- Distância entre transectos (Dist (m)), Correlação entre o censo e a simulação dos transectos nas diferentes distâncias para as variáveis densidade (Densi (n.ha⁻¹)) e área de terra solta (Área (m².ha⁻¹)) de ninhos de *Atta* spp.; intensidade amostral (IA (%)) nos quatro talhões de *Eucalyptus* spp. Lençóis Paulista, SP.

Dist (m)	Correlação		
	Densi (n.ha ⁻¹)	Área (m ² .ha ⁻¹)	IA (%)
9	0,963 *	0,966 *	47,97
18	0,943 *	0,994 *	31,94
27	0,986 *	0,922*	24,27
36	0,947 *	0,996 *	19,62
45	0,805	0,903	15,91
54	0,623	0,759	14,02
63	0,820	0,429	12,11
72	0,751	0,761	10,70
81	0,596	0,976 *	9,69
90	0,935 *	0,887	8,80
99	0,803	0,838	8,63
108	0,993 *	0,970 *	7,72
117	-0,243	0,721	7,35
126	0,978 *	0,809	6,74
135	0,245	0,167	6,34
144	-0,373	0,212	6,29
153	0,362	0,402	5,43
162	0,506	0,183	5,43
171	0,636	0,757	5,32
180	0,666	0,752	4,99
189	0,718	0,887	4,46
198	0,632	0,893	4,41
207	0,662	0,416	4,39
216	0,677	0,762	4,36
225	0,716	0,773	4,34
234	0,664	0,996 *	3,99
243	0,634	0,493	3,98
252	0,730	0,660	3,54
261	0,635	0,786	3,38
270	0,613	-0,477	3,06

* Correlação significativa (Pearson; p<0,05).

O lançamento de transectos em faixas a cada 96 metros de distância obteve a melhor correlação com o censo para amostragem de formigas cortadeiras nas regiões de Belo Oriente e Bocaiúva, MG (REIS et al., 2010, REIS et al., 2005 e CALDEIRA, 2002). Para as regiões de Abaeté, Bom Despacho, Ibitira e Martinho Campos, MG, as melhores distâncias entre transectos para amostrar colônias de formigas cortadeiras em eucaliptais foram de 192, 120, 120 e 168 metros, respectivamente (PINTO, 2006).

Já, para a região de Montes Claros, MG, a distância entre transectos recomendada para monitorar o número e área de colônias de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto foi de 120 metros (ZANUNCIO et al., 2004) e de 150 metros (SOSSAI et al., 2005).

A distância entre transectos varia bastante dentro de uma mesma região devido às dificuldades na amostragem (formato dos talhões geralmente irregulares e curvas de nível) que podem afetar a distância entre transectos e influenciar a variabilidade e a eficiência desses métodos (SOSSAI, 2001).

A distância entre transectos também pode variar com a densidade de formigueiros por hectare. Na região de Montes Claros, MG a distância ótima entre transectos mostrou 150 metros para densidade de três ninhos por hectare ($n.ha^{-1}$) (SOSSAI et al., 2005). No entanto, para esta mesma região, a distância ótima entre transectos mostrou 120 metros para densidade de 4,44 ($n.ha^{-1}$) (ZANUNCIO et al., 2004). Para a região de Belo Oriente, MG a distância ótima entre transectos mostrou 96 m para densidade de 78,1 ninhos por hectare ($n.ha^{-1}$) (REIS et al., 2010).

A distribuição dos formigueiros também afeta a amostragem (PINTO, 2006), pois, em locais de alta densidade, mais uniforme sua distribuição e em locais de baixa infestação (baixa densidade) a distribuição pode ser ao acaso e/ou agregada (CALDEIRA et al., 2005).

A distribuição não uniforme de colônias de formigas cortadeiras faz com que a amostragem com transectos em distâncias predefinidas seja mais adequada, pois ao amostrar uma borda a outra do talhão, os transectos podem representar melhor o padrão de distribuição de colônias de formigas cortadeiras (ZANUNCIO et al., 2004). Além disso, o maior número de formigueiros localizados a 100 e 130 m da borda mostra que transectos em faixa seriam mais indicados para amostrar colônias de formigas cortadeiras (SOSSAI, 2001, ZANUNCIO et al., 2002).

4.5- Validação do Plano de Amostragem

O erro amostral médio das 120 simulações em conjunto (30 simulações por talhão) para estimar a área de terra solta ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) foi de 23,34% em relação ao censo, porém com alto coeficiente de variação (104,06%) (Tabela 7). A estimativa do número de ninhos ($\text{N}.\text{ha}^{-1}$) mostrou erro amostral de 1,16% e coeficiente de variação (55,77%), também elevado (Tabela 8).

A estimativa da densidade de ninhos de formigas cortadeiras pelo estimador de área proporcional (DP) foi semelhante ao censo populacional de ninhos mostrando erro amostral de 1,16% (Tabela 8). O estimador de área proporcional produziu um erro médio de 1,17% quando comparado ao estimador Cottam e Curtis (1956) que superestimou a população em 445,80% para estimativa da densidade de ninhos de formigas cortadeiras (REIS et al., 2010).

O erro amostral operacional dos planos de amostragem varia entre 10 e 30%, com 95% de confiabilidade (ZANETTI, 2007), o que mantém os resultados desse estudo dentro desta variação, porém altos valores de erro amostral podem significar baixa intensidade amostral (ZANETTI, 2010).

A confiabilidade e a precisão dos resultados podem ser aumentados para outras áreas através da incorporação do erro amostral nos cálculos da estimativa de área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras para obter os valores de consumo e a previsão de combate nos talhões amostrados (REIS et al., 2005).

A estimativa média das variáveis área de terra solta ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) e número de ninhos ($\text{N}.\text{ha}^{-1}$) de formigas cortadeiras não apresentaram diferença em relação ao censo populacional (t Student; $p>0,05$) (Tabelas 7 e 8) em todos os talhões em estudo. Por isto, pode-se considerar que o uso operacional dos transectos em faixa distanciados de 108m com o estimador de área proporcional (DP) é válido para programas de monitoramento de formigas cortadeiras na região de estudo.

Tabela 7- Área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$) observada/ estimada pelo estimador de área proporcional das simulações de lançamento de transectos em faixa a cada 108 metros, desvio padrão (DP), erro amostral (EA), coeficiente de variação (CV) e p (t de Student; $p>0,05$), nos quatro talhões estudados. Lençóis Paulista, SP. 2013.

Talhões	Área ($\text{m}^2.\text{ha}^{-1}$)		DP	EA (%)	CV (%)	p
	Observado	Estimado				
41	136,36	133,24	2,20	37,49	78,64	0,87ns
42	30,87	36,55	4,01	18,07	138,15	0,54ns
45	15,49	14,10	0,98	5,75	113,99	0,64ns
69	94,17	104,73	7,46	32,03	85,48	0,52ns
Média	69,22	72,15	3,67	23,34	104,06	

(ns) Diferença não significativa entre dados observados e estimados (t Student; $p>0,05$).

Tabela 8. Número de ninhos de formigas cortadeiras ($\text{N}.\text{ha}^{-1}$) observado/estimado pelo estimador de área proporcional das simulações de lançamento de transectos a cada 108 metros, desvio padrão (DP), erro amostral (EA), coeficiente de variação (CV) e p (t Student; $p>0,05$), nos quatro talhões estudados. Lençóis Paulista, SP. 2013.

Talhões	(N. ha^{-1})		DP	EA (%)	CV (%)	p
	Observado	Estimado				
41	8,09	7,65	3,71	1,33	48,55	0,52ns
42	3,85	4,15	2,43	0,87	58,62	0,51ns
45	2,03	2,04	1,30	0,47	63,83	0,97ns
69	8,95	10,65	5,55	1,98	52,08	0,10ns
Média	5,73	6,12	3,25	1,16	55,77	

(ns) Diferença não significativa entre dados observados e estimados (t Student; $p>0,05$).

O monitoramento de formigas cortadeiras em florestas de eucalipto permite reduzir o custo de controle entre 30 e 40% comparado com sistemas não monitorados. No entanto, é necessário que se utilizem planos de amostragem e níveis de dano econômico desenvolvidos para a região em que serão aplicados (ZANETTI, 2011).

4.6- Custo Operacional da Amostragem

As áreas dos nove talhões amostrados (1, 3, 5, 12, 13, 15A, 15B, 16 e 17) somaram 344,20 hectares, porém com o lançamento dos transectos em faixa a cada 108 metros de distância obteve-se uma intensidade amostral média de 7,42% resultando em 17,32 hectares de área realmente amostrada.

O número de transectos por talhão não tem relação com o tamanho do mesmo, pois as linhas de plantio podem estar direcionadas ao maior comprimento e à maior largura (Tabela 9).

Tabela 9- Área total dos talhões (At (ha)), área amostrada (Aa (ha)), intensidade amostral (IA%) e número de transectos por talhão (Nt) distanciados a cada 108 metros, em nove talhões de *Eucalyptus* spp. Botucatu, SP. 2013.

Talhão	At (ha)	Aa (ha)	IA (%)	Nt
1	66,33	4,66	7,03	13
3	39,11	3,23	8,25	5
5	25,24	2,17	8,59	7
12	52,72	4,15	7,88	10
13	37,75	3,1	8,22	6
15A	28,36	1,45	5,11	7
15B	14,93	1,03	6,89	3
16	12,92	0,97	7,5	6
17	66,84	4,91	7,34	11
Total	344,2	17,32	----	68
Média	38,24	3,46	7,42	7,56
Erro padrão	0,53	0,53	0,14	0,42

O tempo total de amostragem nos 344,20 hectares foi de 9,92 horas, considerando a soma dos tempos de caminhamento em cada transecto. O tempo médio de caminhamento por transecto foi de 0,15 horas e o tempo médio em horas por hectare total de 0,03 (Tabela 10). Esta última variável (tempo em horas por hectare) foi possível estimar o custo da amostragem e calcular o rendimento operacional (hectares/dia). Um acréscimo médio

de 20% deve ser incluído no valor do tempo/hectare, relacionado aos deslocamentos entre transectos e talhões.

Tabela 10- Área total dos talhões (At (ha)), área amostrada (Aa (ha)), tempo total da amostragem por talhão (Tt (horas)), intensidade amostral (IA%), tempo médio gasto por transecto (Tm (horas)) e tempo em horas por hectare total (Th), obtidos na amostragem de ninhos de *Atta* spp. em nove talhões de *Eucalyptus* spp com transectos em faixa, distanciados a cada 108 m. Botucatu, SP. 2013.

Talhão	At (ha)	Aa (ha)	IA (%)	Tempo		
				Tt (h)	Tm (h)	Th (h/ha total)
1	66,33	4,66	7,03	1,75	0,15	0,03
3	39,11	3,23	8,25	1,07	0,21	0,03
5	25,24	2,17	8,59	0,80	0,12	0,03
12	52,72	4,15	7,88	1,48	0,15	0,03
13	37,75	3,10	8,22	1,18	0,20	0,03
15 ^a	28,36	1,45	5,11	0,73	0,10	0,03
15B	14,93	1,03	6,89	0,35	0,12	0,02
16	12,92	0,97	7,50	0,48	0,08	0,04
17	66,84	4,91	7,34	2,07	0,19	0,03
Total	344,20	17,32	----	9,92	1,31	0,26
Média	38,24	3,46	7,42	1,10	0,15	0,03
Erro padrão	0,53	0,44	0,14	0,53	0,31	0,14

O custo da amostragem nos 344,20 ha⁻¹ foi de R\$ 123,90 e o custo por hectare foi de R\$ 0,36, considerando-se o valor médio da tarifa na região de estudo de R\$ 12,00/hora. O valor do tempo médio em horas por hectare (0,03), acrescido dos 20% pode ser utilizado para calcular o rendimento operacional (hectares/dia) e o custo estimado da amostragem em qualquer tamanho de área a ser amostrada.

O custo para controle de formigas cortadeiras em florestas de Pínus em fase de implantação, na Zona da Mata Mineira foi estimado em US\$ 25,00/ha⁻¹ (REZENDE; SILVA, 1997) e na região de João Pinheiro, Minas Gerais, o controle manual com iscas formicidas em eucaliptais em fase de manutenção (mais de 6 meses de idade) variou de US\$ 11,13 a US\$ 13,17.ha⁻¹ (ZANETTI et al. 1999).

Com base nestes valores e considerando que o custo da amostragem não deve ultrapassar 10% do custo do controle (REIS, et al., 2010), o valor encontrado neste estudo (R\$ 0,36.ha⁻¹ ou US\$ 0,15.ha⁻¹) está dentro dos limites de viabilidade econômica.

5- CONCLUSÕES

- O índice de dispersão (ID), índice de Morisita (I_δ) e distribuição binomial negativa mostraram distribuição espacial de *Atta* spp. do tipo agregada para todos os talhões.
- Os variogramas gerados pelo Software GS^+ para determinação da estrutura espacial de ninhos de *Atta* spp. pelo método geoestatístico não resultaram em dependência espacial.
- A distância ótima entre os transectos em faixa foi de 108 metros.
- O uso operacional dos transectos em faixa de três entrelinhas, com estimador de área proporcional (DP), lançados a cada 108 m a partir da terceira linha é válido para estimar o número e a área total de formigueiros na região de estudo.
- O custo médio da amostragem de formigas cortadeiras (*Atta* spp.) em talhões de eucalipto foi de R\$ 0,36.ha⁻¹.

6- REFERÊNCIAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas -. **Anuário Estatístico – Ano Base 2012**. ABRAF - 2012. – Brasília: 2012. 142p. Disponível em: http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf. Acesso em 06 ago. de 2013.

ABREU, J.M.; DELABIE, J.H.C. Controle de formigas cortadeiras em plantio de cacau. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 16, n. 4, p. 199-211, 1986.

ALBUQUERQUE, E.Z., DIEHL-FLEIG, E.; DIEHL, E. Density and distribution of nests of *Mycetophylax simplex* (Emery) (Hymenoptera: Formicidae) in areas with mobile dunes on the northern coast of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 49, n. 1, p. 123-126, 2005.

ALVES, J.B.; ZANUNCIO, J.C.; TORRES, J.B.; GALO, M.V. Métodos de distribuição de isca granulada em formigueiros de *Atta laevigata* (F. Smith). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 111-116, 1996.

AMANTE, E. Prejuízos causados pela formiga saúva em plantio de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, p. 355-363, 1967.

ANDRADE, A.P.P. **Biologia e taxonomia comparada das subespécies de *Acromyrmex subterraneus* Forel, 1893 (Hymenoptera: Formicidae) e contaminação das operárias por iscas tóxicas**. 2002. 168f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/Zoologia), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

ANJOS, N.; DELLA LUCIA, T.M.C.; MAY-NUNES, A.J. **Guia prático sobre formigas cortadeiras em reflorestamentos**. Ponte Nova: Graff Cor. 1998. 100 p.

ANJOS, N.; MOREIRA, D.D.O.; DELLA LUCIA, T.M.C. Manejo integrado de formigas cortadeiras em reflorestamentos. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa: UFV, 1993. p. 212-241.

AUBRY, P.; DEBOUZI, D. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two dimensional systematic sampling. **Ecology**, Tempe, v. 81, n. 2, p. 543-553, 2000.

BARBOSA, J.C. Amostragem seqüencial. In: FERNANDES, O.A.; CORREIA A. C.B.; BORTOLI, S. A. (Eds). **Manejo integrado de pragas e nematóides**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. p. 205-211.

BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Modelos probabilísticos para distribuição de lagartas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) na cultura do milho. **Científica**, Jaboticabal, v. 10, n. 2, p. 181-191, 1982.

BASS, M.; CHERRETT, J.M. Fungal hyphae as a source of nutrients for the leaf-cutting Ant *Atta sexdens*. **Physiological Entomology**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 1-6, 1995.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology: individuals, populations and communities**. Oxford, Blackwell Scientific. 1996. 357p.

BERTULIO, V.G. **Efeitos da desfolha artificial no crescimento de plantas de *Eucalyptus* spp. em reflorestamento, município de Campo Verde, Estado de Mato Grosso**. 2008. 30f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais), Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

BONETTI FILHO, R.Z. **Estimativa do nível de dano econômico causado por formigas cortadeiras em eucaliptais**. 1998. 85f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa-MG, 1998.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel –. **Relatório Florestal (2010-2011)**. Disponível em:
<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/RA02RelatorioFlorestal_2010.pdf>
. Acesso em 09 jan. 2012.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.montaEidEstrutura=5EidMenu=1194>>. Acesso em: 09 jan. 2012.

CALDEIRA, M.A.; ZANETTI, R.; MORAIS, J.C.; ZANUNCIO, J.C. Distribuição espacial de saúveiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 34-39, 2005.

CALDEIRA, M.A. **Planos de amostragem de saúveiros em eucaliptais**. 2002. 39p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CAMARGO, F.R.A.; ZANUNCIO, J.C.; ZANETTI, R.; BORENSTAIN, S. Controle de *Acromyrmex crassipinus* (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de rebrote de *Eucalyptus grandis* com cebo a base de sulfluramida. **Yvyrareta**, Buenos Aires, v. 8, n. 8, p. 71-74, 1997.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; NOVAK, J.M.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501–1511, 1994.

CANTARELLI, E.B.; COSTA, E.C.; ZANETTI, R.; PEZZUTTI, R. Plano de amostragem de *Acromyrmex* spp. (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de pré-plantio de *Pinus* spp. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 385-390, 2006.

CANTARELLI, E.B.; COSTA, E.C.; PEZZUTTI, R.; OLIVEIRA, L.S. Quantificação das perdas no desenvolvimento de *Pinus taeda* após o ataque de formigas cortadeiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 39-45, 2008.

CHERRET, J.M. The economic importance of leaf-cutting ants. In: BREED, M.D.; MICHENER, C.D.; EVANS, H.C. (Ed.). **The Biology of Social Insect**. Boulder: Westview Press, 1982. 420p.

CLARK, P.J.; EVANS, F.C. On some aspects of spatial pattern in biological populations. **Science**, Londres, v. 121, n. 3142, p. 397-398, 1955.

DAVIS, P.M. Statistics for describing populations, In: PEDIGO, L. BUNTIN, G.D. (Eds). **Handbook of sampling methods for arthropods in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 33-54.

DELLA LÚCIA, T.M.C.; MOREIRA, D.D.O. Caracterização dos ninhos. In: DELLALÚCIA, T.M.C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa-MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 32-42.

DELLA LUCIA, T.M.C.; ANJOS, N.; ZANUNCIO, J.C. **Controle de Formigas Cortadeiras**. Viçosa: CTP, 2000, 52 p.

DONCASTER, C.P. The spatial distribution of ant' nests on Ramsey Island, South Wales. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 50, p. 195-218, 1981.

ELLIOT, J.M. Some methods for the statistical analysis of sample of benthic invertebrates. Scientific Publication. **Freshwater Biological Association**, Ambleside, v. 25, p. 148, 1979.

ESTEFANEL, V. **A amostragem sequencial baseada no teste sequencial da razão de probabilidades e seu uso no controle de lagartas da soja no estado do Rio Grande do Sul**. 1977. 117f. Dissertação (Mestrado em Experimentação e Estatística) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1977.

FARIAS, P.R.S.; ROBERTO, S.R.; LOPES, J.R.S.; PERECIN, D. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.33, n. 1, p. 13-20, 2004.

FOWLER, H.G.; ROBINSON, S.W. Foraging and grass selection by the grass-cutting ant *Acromyrmex landolti fracticornis* (Forel) (Hymenoptera: Formicidae) in habitats of introduced forage grasses in Paraguay. **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 67, n. 4, p. 659-666, 1977.

FREITAS, S. **Efeito do desfolhamento na produção de *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden (Myrtaceae) visando avaliar os danos causados por insetos desfolhadores.** 1988. 99f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade do Estado de São Paulo Piracicaba, 1988.

FREITAS, S. de; BERTI FILHO, E. Efeito do desfolhamento no crescimento de *Eucalyptus grandis* Hillex Maiden (Myrtaceae). **IPEF**, Piracicaba, v. 47, p. 36-43, 1994.

GILES, K.L.; ROYER, T.A.; ELLIOTT, N.C. KINDLER, S. D. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greenbug (Homoptera: Aphididae) infesting winter wheat in the southern plains. **Journal of Economic Entomology**, Lamham, v. 93, n. 5, p. 1522-1530, 2000.

GRIBKO, L.S.; LIEBHOLD, A.M.; HOHN, M.E. Model to predict gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) defoliation using kriging and logistic regression. **Environmental Entomology**, College Park, v. 24, n. 3, p. 529-537, 1995.

GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada.** UFU/FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e biométricos. 2004. 48p. Disponível em: <www.famat.ufu.br/geoest/apgeo1.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

HAY, J.; BIZERRIL M.X. Comparação do padrão da distribuição espacial em escalas diferentes de espécies nativas do cerrado, em Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 341-347, 2000.

HERNÁNDEZ, J.V.; JAFFÉ, K. Dano econômico causado por populações de formigas *Atta laevigata* (F. Smith) em plantações de *Pinus caribaea* Mor. e elementos para o manejo da praga. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 287-298, 1995.

HOWARD, J.J.; CAZIN JÚNIOR., J.; WIEMER, D.F. Toxicity of terpenoid deterrents to the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* ant its mutualistic fungus. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 14, n. 1, p. 59-68, 1988.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics.** New York:Academic, 1978. 600p.

KOZLOWSKI, T.T. Growth characteristics of forest trees. **Journal of Forestry**, Washington, v. 61, n. 9, p. 655-662, 1963.

KUNO, E. Sampling and analysis of insects populations. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 36, p. 285-304, 1991.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. Ed. São Paulo: Unesp, 2003, 243p.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: Unesp, 2002. 19p. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/kindicativa.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. Texto Didático 02**. Departamento de Geologia Aplicada - IGCE, 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em: 15 fev. 2012.

LARANJEIRO, A.J. Controle de formigas cortadeiras em reflorestamentos: propagação, operação e monitoramento. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO NO CONTROLE DE FORMIGAS CORTADEIRAS, 2, 1994, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba, 1994, 24p.

LASMAR, O.; ZANETTI, R.; DOS SANTOS, A.; FERNANDES, B. V. Use of Geostatistics to determine the spatial distribution and infestation rate of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 41, n. 4, p. 324-332, 2012.

LI, S.Y.; FITZPATRICK, S.M. Monitoring obliquebanded leafroller (Lepidoptera: Tortricidae) larvae and adults on raspberries. **Environmental Entomology**, College Park, v. 26, n. 2, p. 170-177, 1997.

LIEBHOLD, A.M.; ROSSI, R.E.; KEMP, W.P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 38, n. 1, p. 303- 327, 1993.

LUDWING, J.A.; REINOLDS, J.F. **Statistical Ecology: a primer on methods and computing**. New York: John Wiley, 1988.337p.

MARTINS, F.R. **Estrutura de uma Floresta Mesófila**.Campinas: UNICAMP, 1993. 246p.

MATRANGOLO, C.A.R.; CASTRO, R.V.O.; DELLA LUCIA, T.MC.; DELLA LUCIA, R.M.; MENDES, A.F.M.; COSTA, J.M.F.N.; LEITE, H.G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 952-957, 2010.

MENDES FILHO, J.M.A. Técnicas de combate as formigas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 7, p. 9-19, 1981. (Série Técnica, 2)

MOLLET, N.; TRUMBLE, J.T.; SEVACHERIAN, V. Comparison of dispersion and regression indices for *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae) populations in cotton. **Environmental Entomology**, College Park, v. 13, n. 6, p. 1511-1514, 1984.

MORAES, J.S.A. **Conhecimentos básicos para o combate às formigas cortadeiras**. Belo Horizonte: Cia Agrícola e Florestal Santa Bárbara, 1983. 25p. (Boletim Técnico da CAF).

MORISITA, M. Is index a measure of dispersion of individuals? **Researches on Population Ecology**, Tokyo, v. 4, n. 1, p. 1-7, 1962.

MYERS, J.H. Selecting a measure of dispersion. **Environmental Entomology**, College Park, v. 7, n. 5, p. 619-621, 1978.

NACCARATA, V. **Evaluacion de daños por bachacos (*Atta* spp.) en plantaciones juvenis de pino caribe**. Caracas, Programa Charamas. Campaña Nacional de Reforestacion, 1983, 16p.

NAGAMOTO, N.S. FORTI, L.C.; ANDRADE, A.P.P.; BOARETTO, M.A.C.; WILCKEN, C.F. Method for the evaluation of insecticidal activity over time in *Atta sexdens rubropilosa* workers (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, Chico, v. 44, n. 2, p. 413-432, 2004.

NICHOLAS, J.T.; E.F. VILELA. Territorial mechanisms in post-nuptial flight gynes of the leaf-cutting ant *Atta laevigata* (F. Smith). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 389-400, 1996.

NICKELE, M. A.; OLIVEIRA, E. B.; FILHO, W. R.; IEDE, E. T.; RIBEIRO, R. D. Distribuição Espacial de Formigueiros de *Acromyrmex crassispinus* (Forel) (Hymenoptera: Formicidae) em Plantios de *Pinus taeda*. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.39, n. 6, p. 862-872, 2010.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.

OLIVEIRA, M.A. **Identificação de formigas cortadeiras e efeito do desfolhamento simulado em plantios de *Eucalyptus grandis***. 1996. 61 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

OLIVEIRA, A.C.; BARCELOS, J.A.V.; MORAES, E.J.; FREITAS, G.D. Um estudo de caso: o sistema de monitoramento e controle de formigas cortadeiras na Mannesmann Fi- El Florestal Ltda. In: DELLA LUCIA, T.M.C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1993. p. 242-255.

OTTATI, A.L. **Aspectos bioecológicos do pulgão-gigante-do-pinus, *Cinara atlantica***

(Wilson, 1919) (Hemiptera: Aphididae), em *Pinus* spp. (Pinaceae). 2004. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PEREIRA-DA-SILVA, V. Contribuição do estudo das populações de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) no estado de São Paulo. **StudiaEntomologica**, Petrópolis, v. 18, n. 1, p. 201-250, 1975.

PINTO, R. **Amostragem e distribuição espacial de colônias de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais**. 2006. 77f. Tese (Doutorado em Entomologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RABINOVICH, J.E. **Introducción a la ecología de poblaciones animales**. México: Continental, 1980. 313p.

RAMOS, V.M.; FORTI, L.C.; ANDRADE, A.P.P.; NORONHA, N.C.; CAMARGO, R.S. Density and spatial distribution of *Atta sexdens rubropilosa* and *Atta laevigata* colonies (Hym., Formicidae) in *Eucalyptus* spp. Forests. **Sociobiology**, Chico, v. 51, n. 3, p. 775-781, 2008.

REIS, M.A.; ZANETTI, R.; SCOLFORO, J. R. S. FERREIRA, M. Z. Amostragem de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais pelos métodos de transectos em faixa e linha. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1101-1108, 2010.

REIS, M.A. ZANETTI, R.; SCOLFORO, J.R.S; FERREIRA, M.Z.; ZANUNCIO, J.C. Sampling of leaf-cutting ant (Hymenoptera: Formicidae) nests in eucalyptus plantations using quadrant and prodan methods. **Sociobiology**, Chico, v. 50, p. 1-7. 2007.

REIS, M.A.; ZANETTI, R. Distribuição espacial e tamanho ótimo de parcelas para amostragem de formigueiros em eucaliptais da Cenibra. In: Simpósio de Mirmecologia, 17, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2005. p. 271-273.

REIS, M.A.; ZANETTI, R.; SCOLFORO, J.R.S; FERREIRA, M.Z.; RIZENTAL, M.S. Desenvolvimento e validação de um plano de amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais pelo método de transectos em faixa In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 17, 2005, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2005. p. 428-430.

REZENDE, J.P.; PEREIRA, A.R.; OLIVEIRA, A.D. Espaçamento ótimo para a produção de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 30-43. 1983.

RUESINK, W.G. Introduction to sampling theory. In: KOGAN, M., HERZOG, D.G. **Samplig methods on soybean entomology**. New York: Springs, 1980. p. 60-78.

SILVA, A.F.; ZIMBACK, C.R.; LANDIM, P.M.B. **Aplicação da Geoestatística em Ciências Agrárias.– Parte I**. Botucatu: GEPAG, 2013. 109 p.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D. **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Editora Ceres, 1976. 419p.

SOSSAI, M.F. **Avaliação de métodos de amostragem de formigas cortadeiras em plantios de *Eucalyptus* spp.** 2001.56f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOSSAI, M.F.; ZANUNCIO, J.C.; LEITE, H.G.; ZANETTI, R.; SERRÃO, E. Transects to estimate the number of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus urophylla* plantations. **Sociobiology**, Chico, v. 46, n. 3, p. 667-676, 2005.

SOUZA, A.; ZANETTI, R.; CALEGARIO, N. Nível de dano econômico para formigas-cortadeiras em função do índice de produtividade florestal de eucaliptais em uma região de Mata Atlântica. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 40, n. 4, p. 483-488, 2011.

TAYLOR, L.R. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect population. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 29, p. 321-357, 1984.

UNDERWOOD, A.J.; CHAPMAN, M.G. Scales of spatial patterns of distribution of intertidal invertebrates. **Oecologia**, Berlin, v. 107, n. 2, p. 212-224, 1996.

VASCONCELOS, H.L.; FOWLER, H.G. Foraging and fungal substrate selection by leaf-cutting ants. In: VANDER MEER, R.K.; CEDENO, A. (Eds.). **Applied Myrmecology -a World Perspective**. Boulder: Westview Press, 1990. p. 411-419.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 6, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p.181-190, 1997.

VILELA, E.F. Status of leaf-cutting ant control in forest plantations in Brazil. In: C.S.; R.K. Vander Meer. (Eds.) **Fire ants and leaf-cutting ants: biology and management**. Boulder: Westview Press, 1986. 399-408p.

WALOFF, N.; BLACKWITH, R.E. The growth and distribution of the mounds of *Lasius flavus* (Fabricius) (Hymenoptera, Formicidae) in Silkwood Park, Berkshire. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 421-437, 1962.

WARBURG, I.; STEINBERGER, Y. On the spatial distribution of nests of the ants *Messor arenarius* and *Messor ebeninus*. **Journal of Arid Environments**, London, v. 36, n. 4, p. 671-673, 1997.

WIRTH, R.; MEYER, S.T.; ALMEIDA, W.R.; ARAÚJO JR, M.V.; BARBOSA V.S.; LEAL, I.R. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 23, n. 4, p. 501–505, 2007.

WIRTH, R.; HERZ, H.; RYEL, R.J.; BEYSCHLAG, W.; HÖLLDOBLER, B. **The herbivory of leaf-cutter ants: a case study of *Atta colombica* in the tropical rainforest of Panama.** Ecological Studies 164. Heidelberg: Springer Verlag, 2003. p. 231-233.

YOUNG, L.J.; YOUNG, J.H. **Statistical Ecology: a Population Perspective.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. 565p.

ZANETTI, R. **Amostragem e determinação do nível de dano econômico de formigas cortadeiras em florestas cultivadas.** In: DELLA LUCIA, T.M.C. Formigas-cortadeiras: da bioecologia ao manejo. Viçosa: UFV, 2011, p. 391-392. v. 1.

ZANETTI, R.; REIS, M.A.; MENDONÇA, L.A. Métodos de amostragem de formigas-cortadeiras em florestas cultivadas. In: VILELA, E.F. SANTOS, I.A.; SCHOEREDER, J.H.; SERRÃO, J.E.; CAMPOS, L.A.O.; LINO NETO, J. (Orgs.) **Insetos sociais: da biologia à aplicação.** 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. p. 397-412.

ZANETTI, R. Monitoramento de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em florestas cultivadas. **Biológico**, São Paulo, v. 69, suplemento 2, p. 129-131, 2007.

ZANETTI, R.; MENDONÇA, L.A. Plano de amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em reflorestamentos da Cenibra em Belo Oriente, MG. In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 17, 2005, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2005. p. 408-410. 2005.

ZANETTI, R.; AMARAL-CASTRO, N.R.; MORAES, J.C.; ZANUNCIO, J.C.; OLIVEIRA, A.C.; DIAS, N. Estimation of wood volume losses by heart wood termites (Insecta: Isoptera) in eucalyptus plantations in the State of Minas Gerais, Brazil. **Sociobiology**, Chico, v. 45, n. 3, p. 619-630, 2005.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J.C.; VILELA, E.F.; LEITE, H.G.; JAFFÉ, K.; OLIVEIRA, A.C. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chico, v. 42, n. 2, p. 433-442, 2003a.

ZANETTI, R.; CALDEIRA, M.A.; MORAES, J.C.; ZANÚNCIO, J.C.; REIS, M.M.A.; GOMIDE, M.L. Distribuição espacial de saúveiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. Simpósio de Mirmecologia, 16, 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003b. p. 353-354.

ZANETTI, R.; JAFFE, K.; VILELA, E. F.; ZANUNCIO, J. C.; LEITE, H. G. Efeito da densidade e do tamanho de saueiros sobre a produção de madeira em eucaliptais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 29, n.1, p. 105, 2000.

ZANETTI, R.; VILELA, E. F.; ZANUNCIO, J. C.; LEITE, H. G.; FREITAS, G. D. **Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saueiros em eucaliptais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1911-1918, 2000.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; VILELA, E. F.; LEITE, H. G.; DELLA LUCIA, T. M. C.; COLTO, L. Efeito de espécie de eucalipto e da vegetação nativa circundante sobre o custo de combate a saueiros em eucaliptais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 321-325, 1999.

ZANETTI, R. **Estimativa do nível de dano econômico causado por formigas cortadeiras em Eucaliptais**. 1998.85f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

ZANUNCIO, J.C.; LOPES, E.T.; LEITE, H.G.; ZANETTI, R.; SEDIYAMA, C.S.; FIALHO, M.C.Q. Sampling methods for monitoring the number area of colonies of leaf cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chico, v. 44, n. 2, p. 337-344, 2004.

ZANUNCIO, J.C.; LOPES E.T.; ZANETTI, R.; PRATISSOLI, D.; COUTO, L. Spatial distribution of nests of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) in plantations of *Eucalyptus urophylla* in Brasil. **Sociobiology**, Chico, v. 39, n. 2, p. 231-242, 2002.

ZANUNCIO, J.C.; LARANJEIRO, A.J.; SOUZA, O. Controle de *Acromyrmex subterraneus molestans* Santschi (Hymenoptera: Formicidae) com sulfluramida. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 25, n. 3, p. 383-388, 1996.

ZAR, J.H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey, 4. Ed., 1999. p. 91-96,

ZIMBACK, C.R.L. **Geoestatística**. Botucatu: UNESP/FCA, 2003. 25 p. (Apostila).

WIRTH, R.; MEYER, S.T.; ALMEIDA, W.R.; ARAUJO JR. M.V.; BARBOSA, V.S.; LEAL, I. R. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 23, p. 501-505, 2007.

WIRTH, R. HERZ, H.; RYEL, R.J.; BEYSCHLAG, W.; HÖLLDOBLER, B. **Herbivory of leaf-cutting ants: a case study on *Atta colombica* in the tropical rainforest of Panama**. Heidelberg: Springer Berlin, 2003. 233p.

WRIGHT, R.J.; DEVRIES, T.A.; YOUNG, L.J.; JARVI, K.J.; SEYMOUR R.C. Geostatistical analysis of the small-scale distribution of european corn borer (Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. **Environmental Entomology**, College Park, v. 31, n. 1, p. 160-167, 2002.