



OLINTO LASMAR

**AMOSTRAGEM DE SAUVEIROS
(HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM
EUCALIPTAIS, PELOS MÉTODOS
GEOESTATÍSTICO E DE FUNÇÃO DE
DENSIDADE DE PROBABILIDADE**

LAVRAS – MG

2010

OLINTO LASMAR

**AMOSTRAGEM DE SAUVEIROS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)
EM EUCALIPTAIS, PELOS MÉTODOS GEOESTATÍSTICO E DE
FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho

LAVRAS – MG

2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Lasmar, Olinto.

Amostragem de saueiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais, pelos métodos geoestatístico e de função de densidade de probabilidade / Olinto Lasmar. – Lavras: UFLA, 2010.

57 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Ronald Zanetti Bonetti Filho.

Bibliografia.

1. Plano de amostragem. 2. Geoestatística. 3. Transectos. 4. *Atta* spp. 5. Eucalipto. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 595.796045248

OLINTO LASMAR

**AMOSTRAGEM DE SAUVEIROS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)
EM EUCALIPTAIS, PELOS MÉTODOS GEOESTATÍSTICO E DE
FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 2 de agosto de 2010.

Dr. Natalino Calegario UFLA

Dr. Geraldo Andrade Carvalho UFLA

Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho
Orientador

LAVRAS – MG

2010

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Entomologia e à empresa V&M Florestal Ltda., pela ajuda indispensável na execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Ronald Zanetti, pela orientação, ensinamentos, apoio e amizade.

Aos professores Geraldo e Calegario, membros da banca, pela valiosa contribuição na finalização deste trabalho.

A todos os professores, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do mestrado em Entomologia.

Aos professores Calegario e Fausto do Departamento de Ciências Florestais da UFLA pelas dicas e análises.

Ao amigo Alexandre Santos, pela fraterna amizade e essencial colaboração na realização deste trabalho.

A todos os colegas de curso, pela amizade, companheirismo e inesquecíveis momentos de alegria.

A todos os amigos do Centro de Apoio à Pesquisa Florestal da V&M (Capef), pela ajuda incondicional no período de amostragens.

A Grazi, por toda força, carinho, respeito e lealdade.

Aos meus pais, irmãos e família, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

MUITO OBRIGADO.

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver planos de amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais pelos métodos geoestatístico e de função de densidade de probabilidade. Foi realizado censo populacional de ninhos de formigas cortadeiras em talhões cultivados com eucalipto, criando-se mapas georreferenciados com as posições exatas de cada formigueiro. O padrão espacial foi determinado com o número e a área de terra solta de ninhos dessas formigas. Todas as análises e mapas foram gerados empregando-se o programa estatístico R e o pacote geoR. A distribuição espacial de ninhos em um talhão foi ajustada pelo modelo gaussiano para número de formigueiros e pelo modelo exponencial para área de terra solta de ninhos, ambos pelo método dos quadrados mínimos ordinários (OLS). Em outro talhão, observou-se um ajuste pelo modelo exponencial, tanto para número quanto para área de ninhos de formigas cortadeiras, e semelhante ao primeiro, ambos também pelo método OLS. Com esses modelos foi possível gerar mapas de krigagem, indicando as áreas infestadas, onde é necessária a intervenção química, reduzindo-se o impacto causado por pesticidas ao homem e ao ambiente. Para o desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de função de densidade de probabilidade, os formigueiros foram divididos em 3 classes de tamanho e 21 classes de distância, em relação à transectos distanciados 100m um do outro. Em seguida, os dados obtidos foram modelados e os resultados foram comparados com o censo e com o método de transecto em faixa. O modelo cumulativo Generalizado de Pareto foi o melhor na estimativa das densidades de ninhos de formigas cortadeiras em relação à probabilidade de visualização deles em diferentes distâncias. A função de densidade de probabilidade por classe de tamanho é mais precisa que a independente do tamanho, porém ambos são melhores que o método do transecto em faixa. Transectos de 35 e 40m de largura são mais precisos que os de 30m, quando se utiliza uma intensidade amostral acima de 3 transectos por talhão.

Palavras-chave: Plano de amostragem. Geoestatística. Transectos. *Atta* spp. Eucalipto.

ABSTRACT

This study aimed to develop sampling plans of leaf-cutting ants in eucalyptus plantations through geostatistical and probability density function methods. A population census of nests of leaf-cutting ants was carried out in plots cultivated with eucalyptus. GIS maps containing the exact location of each nest were also made. The spatial pattern was determined considering the number and area of loose soil from the nests of the ants. Every analysis and maps were made using the statistical program R and the package geoR. In the first plots, the distribution of nests was set according to the Gaussian model for number of nests and the exponential model for area of loose soil of nests, both through ordinary least squares method (OLS). The second plot was adjusted to the exponential model for both, number and area of nests, through the OLS method. These models allow us to create kriging maps of areas infested by leaf-cutting ants, where chemical intervention is necessary in order to reduce the impact on humans and environment. The sampling plan of probability density function was developed with separation of nests into 3 size classes and 21 distance classes according to the transect. The data obtained were analyzed and compared with census and transect strip method. The Generalized Pareto cumulative model was the best to estimate of the density of nests of ants in relation to the probability of viewing at different distances. The probability density function of class size is more accurate than the independent of the size, but both are better than the transect strip method. Transects of 35 and 40m wide are more accurate than 30m when using a sampling intensity above 3 transects per plot.

Key words: Sampling plan. Geostatistics. Transects. *Atta* spp. Eucalyptus.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3	CONCLUSÃO	10
	REFERÊNCIAS	11
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	14
	ARTIGO 1 Uso da geoestatística na determinação da distribuição espacial e da infestação de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais.....	15
	ARTIGO 2 Amostragem de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) pelo método de função de densidade de probabilidade em plantios de <i>Eucalyptus</i> spp.....	43

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal responde por 3% do PIB nacional, perfazendo um total superior a US\$ 30 bilhões por ano, destacando-se três segmentos: celulose e papel, siderurgia e carvão vegetal, e madeira e móveis. As exportações desse setor representam cerca de 7% do valor total nacional, gerando nove bilhões de dólares por ano. Dado o saldo inexpressivo de importações do setor, a economia florestal tem sido, historicamente, responsável por um dos cinco maiores saldos comerciais positivos do país. Além disso, ele é responsável por empregar 9% da população economicamente ativa, ou seja, sete milhões de pessoas (TONELLO et al., 2008).

Uma das essências florestais mais empregadas nesse setor é o *Eucalyptus* spp., cujo cultivo, no Brasil, é um dos mais avançados, produtivos e competitivos do mundo. A madeira de eucalipto é utilizada, principalmente, na produção de chapas, painéis, carvão vegetal, celulose, papel e madeira (TORRES, 1996). Porém, os plantios extensos e homogêneos dessa cultura apresentam problemas com insetos-praga, dentre os quais destacam-se lagartas desfolhadoras (ZANUNCIO et al., 1998), cupins (MORAES et al., 2002) e formigas cortadeiras, estas últimas consideradas as principais pragas dos eucaliptais no Brasil (ZANETTI et al., 2000).

Os aspectos econômicos e ambientais envolvidos no controle dessas pragas têm levado os produtores a melhorar o rendimento operacional das técnicas de controle empregadas bem como possibilitar a experimentação de novas tecnologias, como as preconizadas pelos programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Nesses programas, o controle de uma praga deve ser feito somente quando o dano proveniente ocasionar prejuízos econômicos e isso requer o desenvolvimento de amostragem.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A amostragem de formigas cortadeiras pode ser realizada por meio de diferentes métodos, dos quais os principais são a técnica do pior foco (ANJOS; MOREIRA; DELLA LUCIA, 1993), o uso de parcelas de tamanho fixo (OLIVEIRA et al., 1993), o uso de transectos (LOPES, 2000), quadrantes (REIS et al., 2008) e o método sequencial (MENDONÇA, 2008).

Para o estabelecimento de planos de amostragem é importante a determinação prévia da distribuição espacial dos organismos. A distribuição espacial de indivíduos e de ninhos de *Atta* spp. e *Acromyrmex* spp. é característica de suas populações (FOWLER; FORTI; DI ROMAGNANO, 1985), tornando-se importante no estudo do comportamento dessas espécies (CLARK; EVANS, 1955).

Um dos métodos utilizados para o estudo desta distribuição espacial é a geoestatística. Para tanto, são necessários dados que constituam medidas de um ou mais parâmetros com determinada localização geográfica (HAINING, 1990).

Em procedimentos geoestatísticos utilizam-se informações da posição da amostra e do valor que a variável assume em cada ponto. Portanto, cada amostra contém o valor da variável observada e as coordenadas do ponto onde foi coletada. As coordenadas devem ser expressas em um sistema de unidades que permita o cálculo da distância entre as amostras (MENDONÇA, 2008).

A ferramenta básica da geoestatística é o semivariograma, que relaciona a distância entre pares de amostras com a semivariância estatística (variação entre os pares) para todos os pares possíveis a cada distância sugerida (ELLSBEURY et al., 1998).

Mendonça (2008) utilizou a ferramenta geoestatística e verificou que existe dependência espacial entre ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais numa região de Mata Atlântica. Essa dependência se ajustou a um modelo

Wave, indicando que a variância das áreas dos ninhos de formigas apresentou um comportamento oscilante em relação à distância entre eles. Porém, foram utilizadas apenas partes dos talhões para essa avaliação, o que não permitiu uma abordagem mais ampla dos resultados, ou seja, poderia haver outros ninhos nas outras partes, que influenciariam a relação espacial dos demais. Nesse caso, a abordagem mais correta seria o uso da posição real de cada ninho em todo o talhão, como foi feito nesse estudo.

Além da ferramenta geoestatística, existem outros métodos de amostragem, como os de transectos em faixa e em linha.

Reis (2005) avaliou a precisão desses métodos para amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais e verificou que o primeiro método, utilizando o estimador de área proporcional, produziu um erro médio de 1,17% em relação ao censo, não diferindo estatisticamente deste ($p > 0,05$), enquanto o segundo, utilizando o estimador de Cottam & Curtis (COTTAM; CURTIS, 1956), superestimou a população em 445,80%, diferindo do censo. Essa superestimativa ocorreu porque o autor limitou a distância máxima de observação a 6 m, o que reduziu a área de amostragem e não considerou a redução da probabilidade de encontrar os ninhos em função do aumento da distância do observador (estimador de densidade/probabilidade).

3 CONCLUSÃO

Dessa forma, novos trabalhos devem ser realizados com os objetivos de determinar a distribuição espacial e a infestação de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais, usando a ferramenta geoestatística, além de desenvolver um plano de amostragem dessas formigas pelo método de função de densidade de probabilidade em plantios de *Eucalyptus* spp, numa região de Cerrado de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

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, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 212-241.

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

COTTAM, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, Washington, v. 37, n. 4, p. 471-475, 1956.

ELLSBEURY, M. M. et al. Geostatistical characterization of special distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 910-917, Aug. 1998.

FOWLER, H. C.; FORTI, L. C.; DI ROMAGNANO, L. F. T. Methods for the evaluation of leaf-cutting ant harvest. In: VANDER MEER, R. K.; JAFFÉ, K.; CEDEÑO, A. (Ed.). **Applied Myrmecology: a world perspective**. Boulder: Westview, 1985. p. 228-241.

HAINING, R. **Spatial data analysis in the social and environmental sciences**. Cambridge: Cambridge University, 1990.

LOPES, E. T. **Distribuição e métodos de amostragem de saueiros em plantações de eucalipto**. 2000. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

MENDONÇA, L. A. **Geoestatística na amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica**. 2008. 52 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MORAES, J. C. et al. Effect of Eucalyptus species and soil type on infestation levels of heartwood termites (Insecta: Isoptera) in reforested areas in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 39, n.1, p. 145-153, Apr. 2002.

OLIVEIRA, A. C. et al. 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, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 242-255.

REIS, M. A. **Estudo de métodos aleatório e de distâncias para a amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais**. 2005. 53 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

REIS, M. A. et al. Sampling of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations using quadrant and Prodan methods. **Sociobiology**, Chicago, v. 51, n. 1, p. 21-29, Apr. 2008.

TONELLO, K. C. et al. O desenvolvimento do setor florestal brasileiro. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 19, n. 112, p. 14-16, abr. 2008. Disponível: <<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>>. Acesso em: 10 abr. 2008.

TORRES, G. Plantar para não devastar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 3, 1996.

ZANETTI, R. et al. Influência da espécie cultivada e da vegetação nativa circundante na densidade de saúveiros em eucaliptais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1911-1918, out. 2000.

ZANUNCIO, J. C. et al. Influence of strips of native vegetation on Lepidoptera associated with *Eucalyptus cloeziana* in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, n. 1/2, p. 85-90, Aug. 1998.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

(Os artigos 1 e 2 foram transcritos no formato do periódico Sociobiology e encaminhados para submissão)

ARTIGO 1

Uso da geoestatística na determinação da distribuição espacial e da infestação de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais

1 RESUMO

Um dos passos fundamentais da amostragem de pragas é conhecer a sua distribuição populacional no campo. No caso de formigas cortadeiras, diversos estudos foram desenvolvidos para se conhecer essa distribuição e como amostrá-las adequadamente, porém, é preciso ampliar esse conhecimento, podendo-se usar a geoestatística. Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a distribuição espacial e a infestação de ninhos de saúvas em eucaliptais, usando a ferramenta geoestatística. O trabalho foi desenvolvido, entre 2008 e 2009, em dois talhões de eucalipto, em Paraopeba, MG, Brasil. Foi realizado o censo populacional de todos os saúveiros nos talhões, gerando-se mapas georreferenciados com as posições exatas de cada ninho. O padrão espacial foi determinado com o número e a área de terra solta dos ninhos. Todas as análises e os mapas foram gerados empregando-se o programa estatístico R e o pacote geoR. Em um dos talhões, a distribuição de formigas cortadeiras foi ajustada segundo o modelo gaussiano para número de formigueiros e pelo modelo exponencial para área de terra solta de ninhos, ambos pelo método dos quadrados mínimos ordinários (OLS). Em outro talhão, observou-se um ajuste ao modelo exponencial, tanto para número quanto para área de ninhos de formigas cortadeiras e, semelhante ao primeiro, ambos também pelo método dos quadrados mínimos ordinários (OLS). Com esse método foi possível indicar pontualmente, em um mapa de krigagem, os locais com infestações por formigas cortadeiras, onde é necessária a intervenção química, reduzindo-se a área a ser controlada e o custo de controle.

Palavras-chave: Saúva. Eucalipto. Amostragem. Geoestatístico.

2 ABSTRACT

One of the fundamental steps in pest sampling is getting to know its population distribution in field. Several studies were carried out to know such distribution and the appropriate sampling method for leaf-cutting ants; however, this knowledge needs to be broadened, which can be done through geostatistics. Thus, the objective of this study was to determine the spatial distribution and infestation of nests of leaf-cutting ants in eucalyptus plantations through geostatistics. The study was carried out in 2008 in two Eucalyptus stands in Paraopeba, Minas Gerais, Brazil. Population census was done for all the nests in the stands, generating GIS maps with the exact location of each nest. The spatial pattern was determined considering the number and area of loose soil from the nests of the ants. Every analysis and map was made using the statistical program R and the package geoR. In the first plots, the distribution of nests was set according to the Gaussian model for number of nests and the exponential model for area of loose soil of nests, both through ordinary least squares method (OLS). The second plot was adjusted to the exponential model for both, number and area of nests, through the OLS method. These models allow us to create kriging maps of areas infested by leaf-cutting ants, where chemical intervention is necessary in order to reduce the impact on humans and environment, as well as the cost control.

Key words: Ants. Eucalyptus. Sampling. Geostatistics.

3 INTRODUÇÃO

Pesquisas relacionadas à distribuição espacial de insetos são importantes por possibilitar o entendimento da sua biologia em diferentes condições do ambiente e a mudança de comportamento que ocorre durante seus estágios de desenvolvimento. Além disso, o conhecimento da distribuição espacial de populações de insetos é essencial para o desenvolvimento de planos de amostragens (Giles et al., 2000), para a utilização de métodos de controle, a determinação de danos econômicos, a incorporação da dinâmica espacial dentro do modelo populacional e a otimização de técnicas de amostragens (Croft & Hoyt, 1983).

Para cada tipo de distribuição, há uma variação na metodologia de estabelecimento do plano, em função dos diferentes parâmetros envolvidos. A determinação da distribuição espacial dos insetos depende da unidade amostral, do comportamento da espécie e do tipo de avaliação populacional que é feita (Barbosa, 1992).

No caso de formigas cortadeiras, a distribuição espacial refere-se à forma como os seus ninhos se distribuem no campo. Segundo Doncaster (1981), diversos fatores determinam os locais favoráveis para o estabelecimento de colônias de formigas, controlando a sua distribuição, como, por exemplo, exposição ao sol, umidade, altitude, disponibilidade de alimento e de locais para nidificação.

Existem, basicamente, três tipos de distribuições espaciais, podendo ser aleatória, quando os organismos ocorrem de maneira inteiramente casualizada; agregada, quando os organismos tendem a se reunir em grupos e uniforme, quando os organismos estão uniformemente distribuídos em uma área (Taylor, 1984).

Os principais modelos probabilísticos que descrevem as distribuições espaciais são as distribuições de Poisson, binomial positiva e binomial negativa. A distribuição de Poisson, em que a variância e a média são iguais, descreve a distribuição espacial do tipo aleatória; a distribuição binomial positiva, na qual a variância é menor que a média, descreve a distribuição uniforme e a distribuição binomial negativa, em que a variância é maior que a média, descreve a distribuição espacial agregada (Barbosa, 1992).

Vários índices de agregação ou dispersão são utilizados para medir a disposição espacial de insetos. Entre os índices mais utilizados podem ser citados: razão variância/média ou índice de dispersão I ; índice de dispersão de Morisita ($I\delta$); coeficiente de Green (C_x); expoente k da distribuição binomial negativa e o expoente b da lei de Taylor (Taylor, 1984; Kuno, 1991). Rabinovich (1980) recomendou que mais de um índice seja utilizado antes de se emitir uma conclusão a respeito da distribuição espacial de uma determinada espécie de inseto.

O padrão de distribuição de uma praga pode variar ao longo do tempo e, no início da colonização na cultura, a tendência é se ajustar à série de Poisson, evoluindo para uma distribuição binomial negativa e raramente atingindo a distribuição binomial positiva (Young & Young, 1998). Dificilmente os insetos apresentam um padrão uniforme de distribuição, sendo mais comum a formação de agregações em determinados pontos, embora, para formigas, o modelo regular de distribuição espacial seja comum (Deslippe & Savolainen, 1995).

No caso de formigas cortadeiras, a distribuição espacial dos ninhos em áreas nativas ocorre, normalmente, ao acaso quando a densidade de ninhos é baixa, passando a regular em locais com altas densidades dos mesmos (Waloff & Blackwith, 1962).

Em áreas de florestas cultivadas, diversos estudos mostram que a distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras é casual em todas as

classes de tamanho, independentemente do método de amostragem empregado e da região estudada (Zanetti et al., 2003a; Caldeira et al., 2005; Reis, 2005). Tais estudos são imprescindíveis para o desenvolvimento de planos de amostragem, visando à aplicação em programas de manejo integrado de pragas (Giles et al., 2000).

Conhecendo-se a distribuição dos formigueiros, a próxima etapa é desenvolver métodos de amostragem dos mesmos. Alguns métodos de amostragem foram desenvolvidos, tais como a técnica do pior foco (Anjos et al., 1993), parcelas aleatórias (Oliveira et al., 1993), transectos (Lopes, 2000), quadrantes (Reis et al., 2008) e sequencial (Mendonça, 2008). Porém, é preciso ampliar esse conhecimento, podendo ser a geoestatística a mais indicada, pois leva em consideração se há ou não dependência espacial entre as observações.

A ferramenta básica da geoestatística é o semivariograma, que relaciona a distância entre pares de amostras com a semivariância estatística (variação entre os pares), para todos os pares possíveis, a cada distância sugerida (Ellsbeury et al., 1998).

A geoestatística é empregada para o estudo estatístico de um fenômeno natural, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas “variáveis regionalizadas”. A diferença básica entre a estatística clássica e a geoestatística é que a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente e a segunda, valores das amostras correlacionadas ou dependentes no espaço (Journel & Huijbregts, 1978).

Na entomologia, a avaliação do dano e a distribuição espacial utilizam a geoestatística como ferramenta útil e segura para análise dos dados de espécies de insetos (Mendonça, 2008). Schotzko & Knudsen (1992) verificaram que a espécie *Diuraphis noxia* (Homoptera: Aphididae) apresenta distribuição agregada em trigo e aleatória em aveia, o que foi demonstrado por meio de semivariogramas com modelos exponencial e linear, respectivamente.

Estudos geoestatísticos em amostras de massas de ovos de *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) foram utilizados para avaliar a agregação dessas massas com escalas espaciais e diferentes densidades populacionais. Os resultados obtidos demonstraram que um procedimento de krigagem pode ser utilizado para desenvolver mapas para avaliar a densidade da lagarta em grandes e pequenas áreas (Liebhold et al., 1991). Um modelo para estimar a desfolha por *L. dispar* foi estudado com krigagem e regressão logística (Gribko et al., 1995).

A utilização de estudos geoestatísticos para definir planos de amostragem também foi o objetivo de Wright et al. (2002), que trabalharam com *Ostrinia nubilalis* (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. Com base nesses dados, 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.

Em trabalho realizado por Stingel (2005), que estudou a distribuição espacial de *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae) em duas áreas de cana-de-açúcar, concluiu-se que a praga se distribuiu de forma agregada e que seriam necessários 18 pontos de amostragem por hectare para estimar adequadamente as populações em determinada área.

Mendonça (2008), utilizando métodos geoestatísticos para a determinação da distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras em região de Mata Atlântica, verificou que existe dependência espacial entre os mesmos, confirmando esse método como uma opção na estimativa de populações de organismos. Entretanto, foram utilizadas apenas partes dos talhões para essa avaliação, o que não permitiu uma abordagem mais ampla dos resultados, ou seja, poderia haver outros ninhos nas outras partes que

influenciariam a relação espacial dos demais. Nesse caso, a abordagem mais correta seria o uso da posição real de cada ninho em todo o talhão.

Dessa forma, esse trabalho foi realizado com o objetivo de determinar a distribuição espacial e a infestação de formigas cortadeiras com o uso da ferramenta geoestatística, em plantios de eucalipto numa região de cerrado de Minas Gerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido, no ano de 2008, em dois talhões (± 20 ha) de *Eucalyptus* spp. com 4 anos de idade e espaçamento de 3x2 m, localizados, no município de Paraopeba, estado de Minas Gerais. Entre os paralelos 19°25'S e 19°12'S e os meridianos 44°28'W e 44°36'W, sua altitude varia de 600 a 900 m e o relevo varia de suave a montanhoso, com solo predominantemente argiloso. Golfari (1975) descreve o clima da região como subtropical moderado úmido. A precipitação e a temperatura média para o ano de 2008 foram de 1.200 mm e 25°C, respectivamente.

Os talhões foram subdivididos em parcelas contíguas de 20 x 20 m (400m²) com o objetivo de associar os formigueiros a uma unidade de área. Todos os ninhos presentes em cada parcela foram localizados e georreferenciados com um GPS. Foi medida também a área de terra solta de cada formigueiro, de acordo com metodologia de área parcialmente estratificada, que consiste no produto do maior comprimento pela maior largura da área ocupada pelos montes de terra solta distantes até um metro do monte principal (Alves et al., 1996). O padrão espacial foi determinado para o número e a área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras do gênero *Atta* presentes em cada parcela.

A primeira etapa da análise geoestatística consistiu do estudo exploratório dos dados, possibilitando verificar a tendência das características avaliadas em função da longitude (OL) e da latitude (NS).

As características número e área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras foram consideradas variáveis regionalizadas Z , que podem variar continuamente num espaço geográfico. Cada valor observado $z(x_i)$ para número e área de terra de formigueiros, nos locais x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, em que x_i é a coordenada geográfica do ninho, é considerada uma realização da variável aleatória $Z(x)$.

O estudo da correlação espacial entre as variáveis mensuradas, em cada ponto $z(x_i)$, foi efetuado por meio do semivariograma, segundo descrito por Mello et al. (2009). Foram construídos os semivariogramas experimentais modelados por meio de ajuste de modelos teóricos de semivariogramas, avaliando-se a qualidade dos respectivos ajustes. Esse ajuste foi conduzido estimando-se os parâmetros do semivariograma: efeito-pepita, que diz respeito ao erro aleatório não captado pela amostragem (erro na pequena escala); patamar, que descreve a estrutura de dependência espacial e alcance, significando a distância na qual a dependência espacial existe e deve ser considerada.

Para se estudar o comportamento das variáveis aleatórias número e área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras e sua estruturação espacial, foram utilizados semivariogramas para avaliar a dependência espacial do fenômeno e krigagem para se fazer a interpolação dos valores das variáveis adotadas. O semivariograma experimental foi estimado por:

$$\hat{\gamma}(u) = \frac{1}{2N(u)} \sum_{a=1}^{N(u)} (z(x_a) - z(x_a + u))^2 \quad (1)$$

em que $\hat{\gamma}(u)$ é a semivariância estimada para cada distância u ; $N(u)$ é o número de pares de pontos separados por u e $z(x_a)$ e $z(x_a + u)$ são os valores das variáveis estudadas, sendo número ou área de saqueiros no ponto x_a e $x_a + u$, respectivamente (Journel & Huijbregts, 1978).

Visando à escolha do modelo teórico de semivariograma mais apropriado para descrição dos dados, foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial (Diggle & Ribeiro, 2007).

- Gaussiano

$$\rho(h) = \exp\left[\left(-\frac{h}{\phi}\right)^2\right] \quad (2)$$

- Esférico

$$\rho(h) = \begin{cases} 1 - 1,5\left(\frac{h}{\phi}\right) + 0,5\left(\frac{h}{\phi}\right)^3, & \text{se } h < 0 \\ 0 & \text{se } h > 0 \end{cases} \quad (3)$$

- Exponencial

$$\rho(h) = \exp\left(-\frac{h}{\phi}\right) \quad (4)$$

em que h – distância (m); ϕ – parâmetro alcance.

Para o ajuste com os dados do censo, a estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelos métodos de máxima verossimilhança e máxima

verossimilhança restrita (*Maximum Likelihood* - ML e *Restricted Maximum Likelihood* - REML), para que, a partir de uma amostra, obtenha-se o estimador “mais verossímil” dos parâmetros de certo modelo probabilístico (Mello et al., 2005).

Baseado no semivariograma experimental, os ajustes foram obtidos pelos métodos dos quadrados mínimos ordinários (*Ordinary Least Squares* - OLS) e dos quadrados mínimos ponderados (*Weight Least Squares* – WLS).

O primeiro método consiste em obter os valores dos parâmetros de um modelo que minimizam a soma do quadrado da diferença entre os valores observados e os estimados. O segundo método considera a divisão do erro quadrático médio pelo número de pares de pontos em cada distância no semivariograma (Mello et al., 2005).

Demais informações sobre as particularidades de cada método podem ser encontradas em Cressie (1985 e 1993) e Diggle e Ribeiro Jr. (2000).

A escolha do modelo mais adequado se deu por meio de dois critérios. No primeiro, empregou-se o teste de validação-cruzada, que considera maior significância para valores da média mais próximos a zero e valores da variância mais próximos a um. O segundo critério de comparação foi o de Akaike (1983) que aponta maior significância para os menores valores obtidos (Mello, 2005).

Posteriormente, foram realizadas interpolações por krigagem ordinária, sendo os valores estimados pela fórmula:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (5)$$

em que $\hat{z}(x_0)$ é a estimativa do ponto não amostrado (x_0); λ_i é o peso que cada valor avaliado recebe, conforme a estrutura de continuidade espacial e $z(x_i)$ é o valor do ponto amostrado (Vieira, 2000).

O grau de dependência espacial das variáveis número e área de terra solta dos ninhos foi determinado a partir dos percentuais das variações estruturadas (σ^2) em relação ao patamar ($\sigma^2 + \tau^2$), sendo que valores $< 25\%$ indicam baixa dependência espacial, entre 25% e 75% indicam moderada dependência e $> 75\%$ indicam alta dependência (Cambardella et al., 1994).

Foram criados mapas de krigagem da área a ser combatida, considerando os níveis de dano econômico (NDE) para a região, descritos por Zanetti et al. (2003b) para número e área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras.

As análises geoestatísticas foram realizadas com o programa R Development Core Team (2009) e com o uso do pacote geoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo ajuste dos semivariogramas (Figura 1), foi demonstrado que os parâmetros número e área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras apresentaram-se estruturados espacialmente, podendo ser modelados.

A distribuição espacial dos ninhos de formigas cortadeiras numa região de cerrado de Minas Gerais mostrou-se agregada até certo ponto.

Mendonça (2008), utilizando o mesmo método geoestatístico, verificou que o modelo Wave se ajustou melhor aos dados de área de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais na região de Mata Atlântica, ou seja, a variância das áreas dos ninhos de formigueiros apresenta um comportamento oscilante em relação à distância entre eles.

No primeiro talhão, a distribuição de formigas cortadeiras foi ajustada segundo o modelo gaussiano para número de formigueiros e pelo modelo exponencial para área de terra solta de ninhos, ambos pelo método OLS (Tabelas

1 e 2). Nas figuras 1a e 1b, verificam-se as representações dos modelos escolhidos.

Para o segundo talhão, observou-se um melhor ajuste ao modelo exponencial, tanto para número quanto para área de ninhos de formigas cortadeiras e semelhantes ao primeiro talhão. Ambos os parâmetros foram ajustados pelo método OLS (Tabelas 1 e 2). O modelo escolhido está representado nas Figuras 1c e 1d.

As relações entre o número de formigueiros e a área de terra solta de ninhos ao espaço foram classificadas como de moderada dependência espacial nos dois talhões estudados, com 58,39% e 57,32% (Tabelas 1 e 2) e 58,40% e 30,30% (Tabelas 1 e 2), respectivamente, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994). Esta moderada dependência espacial se deve ao alto valor do efeito pepita, que diz respeito ao erro aleatório não captado pelo censo. Dessa forma, os semivariogramas explicam parte da variância dos dados experimentais, porém, demonstram dependência espacial significativa, que deve ser incorporada aos planos de amostragem, repercutindo em um aumento de precisão em relação a outros planos que não consideram a relação entre as variáveis e o espaço.

Esses resultados, entretanto destoam dos de Caldeira et al. (2005) e Reis (2005), que encontraram distribuições casuais para sauveiros em florestas de *Eucalyptus* spp. A distribuição casual ocorre quando as condições ambientais são semelhantes em qualquer ponto no espaço e a presença de um organismo não interfere na de outro (Begon et al., 1996). Isso parece ocorrer em reflorestamentos equiâneos, que se caracterizam pela homogeneidade em tipo de solo, temperatura, tratos culturais, etc. Como as iças caem aleatoriamente nessas áreas e recebem combates periódicos do mesmo tipo e intensidade, a tendência é manter essa distribuição casual ao longo do tempo (Caldeira, 2002). Entretanto, de acordo com Pinto (2006), também utilizando a estatística clássica, concluiu

que as colônias de formigas cortadeiras têm tendência para distribuição agregada. Estes diferentes resultados demonstram que o manejo de cada área afeta diretamente os resultados de estudos da distribuição espacial de formigas cortadeiras, justificando a regionalização dos planos de amostragem.

Tabela 1 Estimativa dos parâmetros efeito pepita (τ^2), variação estruturada (σ^2), alcance, em metros (\emptyset^2), média (\bar{x}) e variância (s^2) da validação cruzada, critério de Akaike (AIC) e dependência espacial DE (%) do número de formigueiros por talhão (Tal), pelos métodos de máxima verossimilhança (ML), máxima verossimilhança restrita (REML), quadrados mínimos ordinários (OLS) e quadrados mínimos ponderados (WLS), considerando os modelos esféricos (Esf), exponencial (Exp) e gaussiano (Gau). Paraopeba, MG, 2008

Método	Modelo	Tal	Parâmetros estimados			Validação cruzada			
			τ^2	σ^2	\emptyset^2 (m)	\bar{x}	s^2	AIC	DE
ML	Esf	1	4,62	4,06	306,70	0,0019	1,0216	2795,00	46,77
ML	Esf	2	6,65	6,33	158,40	0,0024	1,0172	2809,00	48,80
ML	Exp	1	4,58	6,87	300,20	2,7995	1,0082	2801,00	60,00
ML	Exp	2	6,59	9,09	150,00	0,0011	1,0114	2801,00	58,00
OLS	Esf	1	3,96	7,77	274,28	0,0006	1,1374	1398,76	66,24
OLS	Esf	2	7,42	7,16	297,78	0,0012	0,9633	1397,00	49,10
OLS	Exp	1	3,58	9,68	153,40	0,0010	1,0757	1403,67	73,00
OLS	Exp	2	7,04	9,90	193,56	0,0013	0,9656	1397,00	58,40
OLS	Gau	1	4,91	6,89	134,90	0,0006	1,0337	1396,82	58,39
OLS	Gau	2	8,31	6,30	145,04	0,0010	0,9930	1402,00	43,10
REML	Esf	1	4,61	4,25	312,90	0,0019	1,0203	2788,00	47,97
REML	Esf	2	6,71	11,63	331,40	0,0008	1,0117	2794,00	63,40
REML	Exp	1	4,60	13,62	628,50	5,1190	1,0082	2791,00	74,75
REML	Exp	2	6,55	9,37	150,00	0,0009	1,0101	2793,00	58,90
WLS	Esf	1	3,43	8,28	262,60	0,0003	0,9952	1403,74	70,71
WLS	Esf	2	7,61	7,04	308,53	0,0011	0,9463	1398,00	48,10
WLS	Exp	1	2,26	10,44	118,33	0,0017	1,3903	1423,58	82,20
WLS	Exp	2	7,19	10,14	211,13	0,0013	0,9555	1397,00	58,50
WLS	Gau	1	4,79	7,01	133,34	0,0006	1,0583	1397,38	59,41
WLS	Gau	2	8,83	6,01	160,90	0,0009	0,9450	1404,00	40,50

Tabela 2 Estimativa dos parâmetros efeito pepita (τ^2), variação estruturada (σ^2), alcance, em metros (\emptyset^2), média (\bar{x}) e variância (s^2) da validação cruzada, critério de Akaike (AIC) e dependência espacial DE (%) da área de terra solta de formigueiros por talhão (Tal), pelos métodos de máxima verossimilhança (ML), máxima verossimilhança restrita (REML), quadrados mínimos ordinários (OLS) e quadrados mínimos ponderados (WLS), considerando os modelos esféricos (Esf), exponencial (Exp) e gaussiano (Gau). Paraopeba, MG, 2008

Método	Modelo	Tal	Parâmetros estimados			Validação cruzada			
			τ^2	σ^2	\emptyset^2 (m)	\bar{x}	s^2	AIC	DE
ML	Esf	1	101,20	28,38	312,20	0,0019	1,0216	4614,00	21,90
ML	Esf	2	47,43	11,68	259,60	0,0013	1,0169	3773,00	19,80
ML	Exp	1	101,00	44,54	279,10	0,0018	1,0205	4618,00	30,60
ML	Exp	2	46,60	13,06	123,90	0,0013	1,0178	3774,00	21,90
OLS	Esf	1	80,35	70,72	173,55	0,0006	1,1374	2316,22	46,81
OLS	Exp	1	66,04	88,68	63,03	0,0008	1,2008	2325,33	57,32
OLS	Exp	2	39,41	17,10	27,22	0,0005	1,0065	1888,00	30,30
OLS	Gau	1	87,63	61,74	76,97	0,0007	1,1740	2320,62	41,33
REML	Esf	1	101,40	35,93	405,60	0,0019	1,0203	4604,00	26,16
REML	Esf	2	47,31	12,69	264,90	0,0014	1,0173	3764,00	21,20
REML	Exp	1	101,40	107,00	742,20	0,0018	1,0204	4606,00	51,34
REML	Exp	2	46,88	16,82	183,00	0,0012	1,0165	3765,00	26,40
WLS	Esf	1	97,50	57,01	224,39	0,0003	0,9952	2309,30	36,90
WLS	Exp	1	91,79	79,90	134,70	0,0004	1,0172	2311,55	46,54
WLS	Exp	2	36,15	19,43	21,15	0,0004	1,0248	1891,00	35,00
WLS	Gau	1	107,51	48,17	115,92	0,0002	0,9648	2306,51	30,94

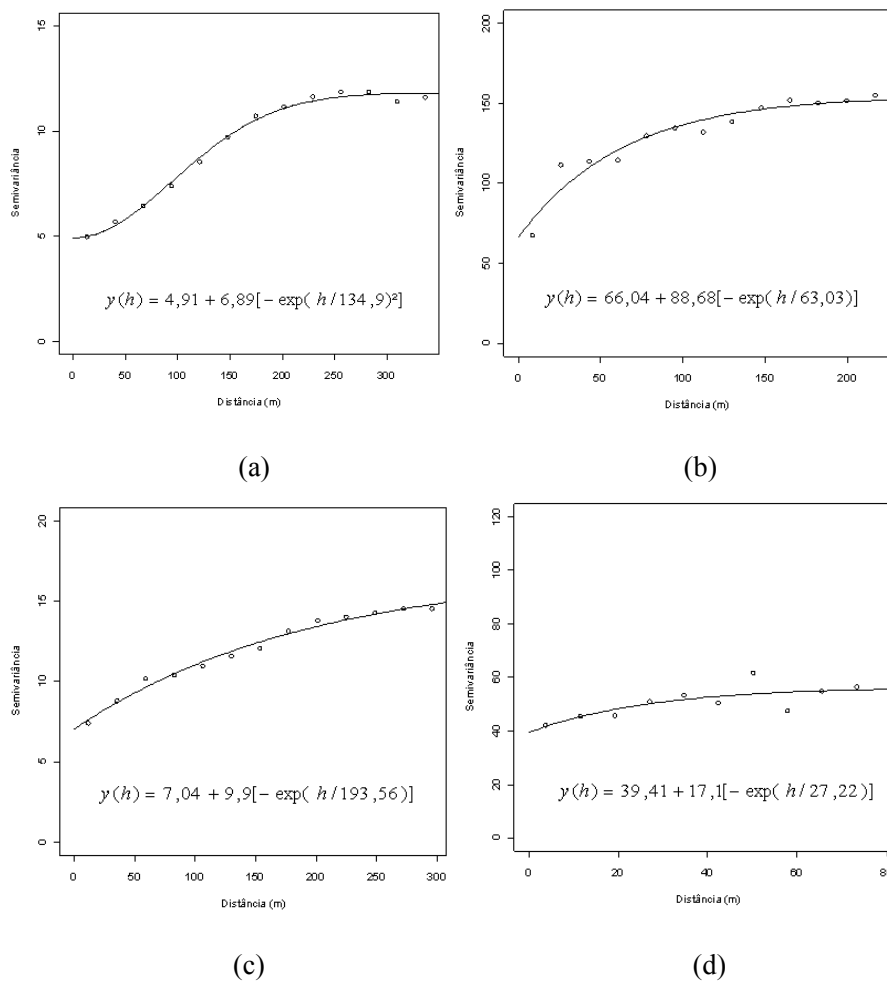
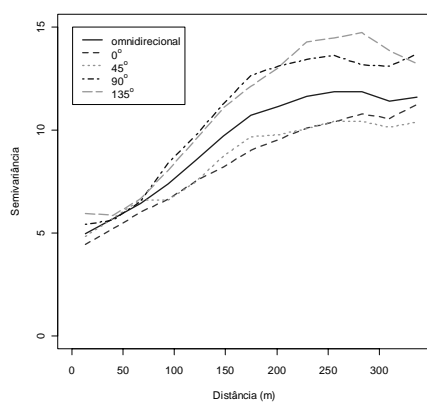
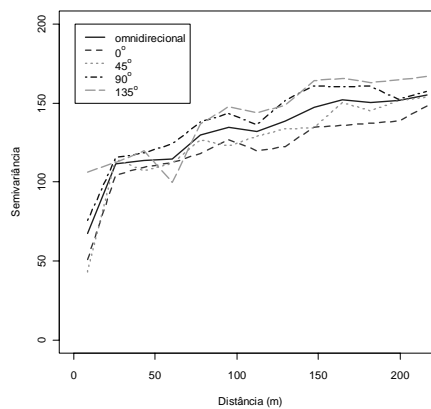


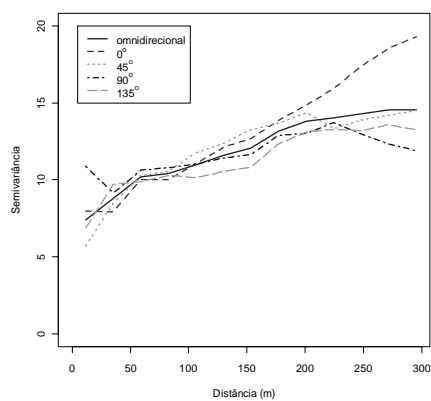
Figura 1 Semivariogramas ajustados pelo método de quadrados mínimos ordinários (OLS) para as variáveis número (a, c) e área de terra solta (b, d) de ninhos de formigas cortadeiras para os talhões 1 e 2, respectivamente. Paraopeba, MG, 2008



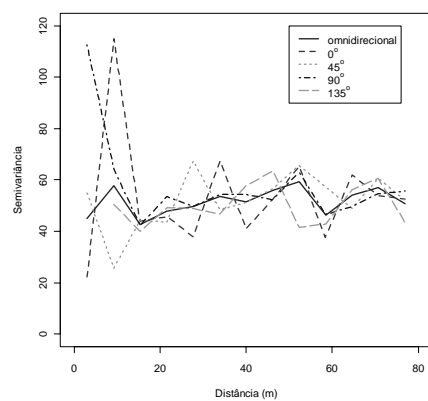
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 Avaliação da estrutura da dependência espacial nas direções 0° , 45° , 90° e 135° , para as características número (a, c) e área de terra solta (b, d) de formigueiros para os talhões 1 e 2, respectivamente. Paraopeba, MG, 2008

Entretanto, todos esses estudos utilizaram ferramentas da estatística clássica, ou seja, não consideraram as variáveis como regionalizadas, podendo também ser este um provável motivo para a diferença entre os resultados. Segundo Mendonça (2008), quando existe dependência espacial entre as observações, a geoestatística torna-se mais precisa, sendo o método mais indicado nos estudos para determinação da distribuição espacial de pragas.

O alcance médio da dependência espacial do número e da área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras foi de 164,25 m e 45,10 m, respectivamente, sendo de até 134,9 m para número e de 63,0 m para área de terra solta de ninhos, para o talhão 1 (Tabelas 1 e 2) e de até 193,6 m para número e 27,2 m para área de terra solta de ninhos, para o talhão 2 (Tabelas 1 e 2). De acordo com Mendonça (2008), utilizando a geoestatística, a distribuição dos ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais da região de Mata Atlântica só se mostrou aleatória, a partir da distância de 35 m.

Farias et al. (2003) desenvolveram trabalhos em citros e estimaram em 53 a 65 m o alcance das amostras para avaliar as infestações das cigarrinhas *Dilobopterus costalimai*, *Acrogonia* sp. e *Oncometopia facialis* (Hemiptera: Cicadellidae). Esses autores concluíram que pelo menos um ponto de amostragem deveria ser feito por hectare, a fim de obter uma estimativa confiável das populações das referidas cigarrinhas.

Em estudo geoestatístico com populações de *Mahanarva fimbriolata* observou-se um modelo de distribuição agregada, sendo que, a partir da segunda geração, os alcances obtidos variaram de 33 a 53 m, indicando ser necessários até 3 pontos de amostragem por hectare para uma estimativa confiável da população (Dinardo-Miranda et al., 2007).

Visando observar possíveis anisotropias nas variáveis estudadas, foram plotados semivariogramas correspondentes às quatro direções 0°, 45°, 90° e 135°, para os dois parâmetros estudados em cada talhão (Figura 2). Como houve

considerável semelhança entre os semivariogramas em todas as direções, optou-se por utilizar o semivariograma isotrópico para krigagem. Estes resultados revelaram que as características avaliadas têm a propriedade de possuir estrutura de dependência espacial, com relativa similaridade, em todas as direções, caracterizando-se as variáveis estudadas como isotrópicas.

Na Figura 3 são apresentados mapas oriundos de krigagem ordinária dos pontos fornecidos pelo censo dos talhões 37 e 38, representando-os de uma forma contínua no espaço e não de forma pontual. O atual estudo buscou entender como as variáveis analisadas se relacionam com o espaço, visando futuramente o seu emprego em planos de amostragem de forma que se possa representar em um mapa a probabilidade de ocorrência de um fenômeno em áreas não amostradas. Esse método, que indica exatamente em um mapa de krigagem as áreas com maiores infestações de formigas cortadeiras, pode ser utilizado como mais uma ferramenta no manejo florestal, para se adotar o controle químico, não sendo justificado, portanto, o emprego de inseticida em área total, diminuindo possíveis impactos ambientais.

A densidade de ninhos de formigas cortadeiras (n/ha) nos talhões 1 e 2 foi, em média, de 86,39 e 103,95, respectivamente e a área de terra solta (m²/ha) para os mesmos talhões foi de 239,29 e 162,58. Considerando o nível de controle de formigas cortadeiras para a região de 2,55 formigueiros/ha ou 7,03 m² de terra solta/ha, conclui-se que esses talhões deveriam receber controle, o que resultaria numa área total controlada de 41,10 ha. No entanto, ao se criar um mapa de krigagem, considerando infestadas apenas os locais dentro dos talhões com população de formigueiros acima do nível de controle (Figura 4), verificou-se que 62,6% e 45,9% da área dos talhões apresentaram número e áreas de ninhos de formigas cortadeiras acima do nível de dano econômico, respectivamente (Tabela 3), resultando em menor área a ser controlada.

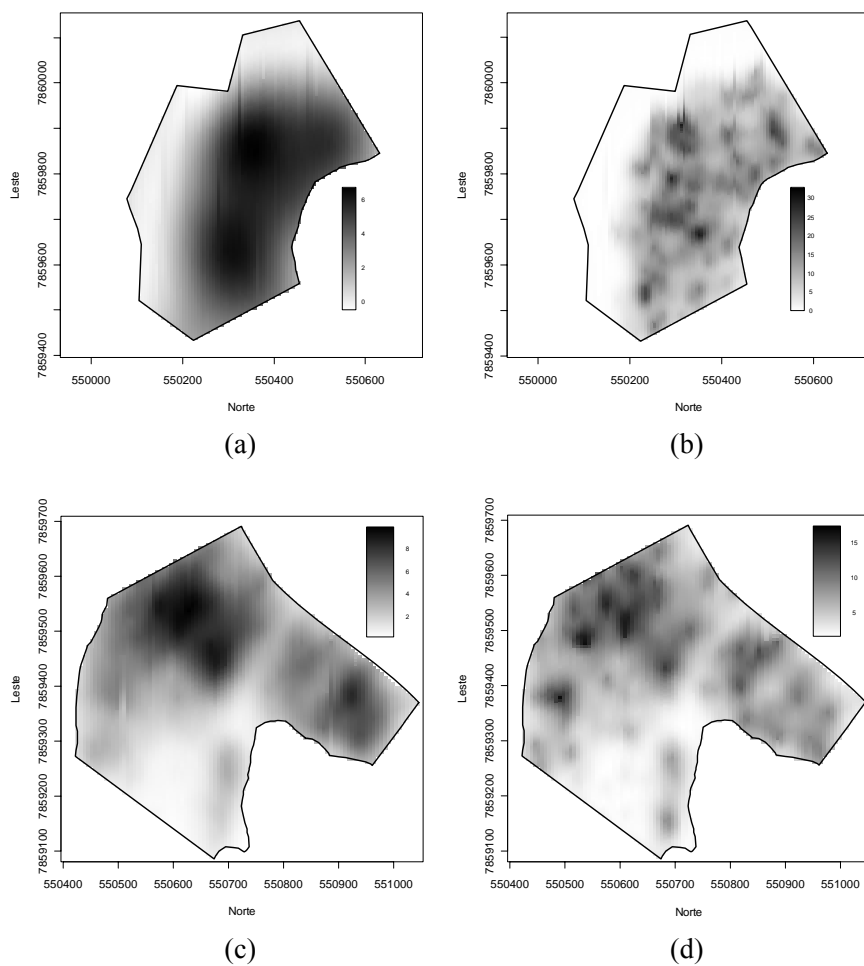


Figura 3 Mapas de krigagem do número (a,c) e da área de terra solta (b,d) de ninhos de formigas cortadeiras para os talhões 1 e 2. Paraopeba, MG, 2008

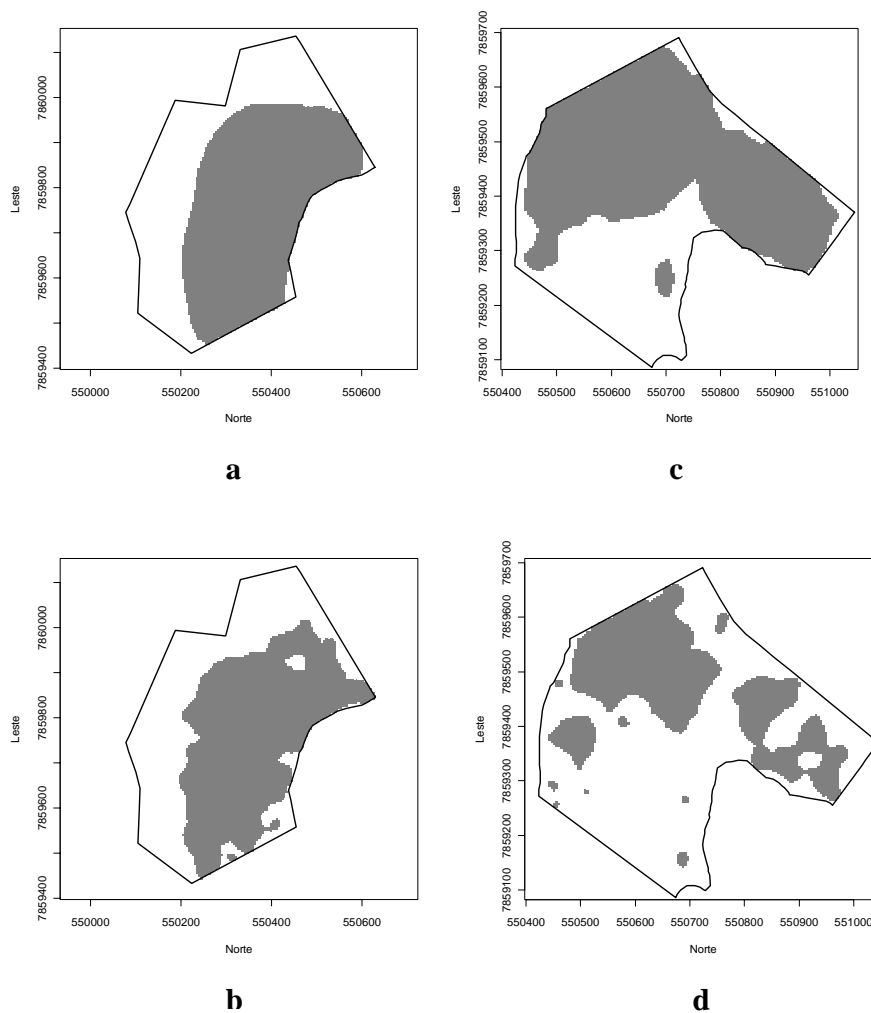


Figura 4 Mapas de krigagem da área a ser combatida baseado no nível de dano econômico (NDE) para número (a,c) e para área de terra solta (b,d) de ninhos de formigas cortadeiras para os talhões 1 e 2. Paraopeba, MG, 2008 (NDE = 2,55 formigueiros/ha ou NDE = 7,03 m² de terra solta de formigueiro/ha)

Tabela 3 Área de eucaliptal total (ha) e com necessidade de controle (ha; %), considerando os parâmetros número (N) e área de terra solta (AT) de ninhos de formigas cortadeiras acima do nível de controle. Paraopeba, MG, 2008

Talhão	Área total (ha)	Área com necessidade de controle			
		N		AT	
		ha	%	ha	%
1	21,38	12,68	59,3	11,7	54,7
2	19,72	13,04	66,1	7,16	36,3
Total	41,1	25,72	62,6	18,86	45,9

Dessa forma, por meio da análise geoestatística, foi possível detectar os locais exatos em que as medidas de controle devem ser adotadas, evitando-se o controle em área total.

De acordo com Balastreire & Baio (2001), a aplicação de defensivos em áreas localizadas gera uma redução nos custos, uma vez que o controle das pragas se dá de forma pontual, ou seja, apenas nas áreas onde foi detectado nível de dano econômico.

O presente estudo permitiu inferir até que distância ocorre a estruturação espacial do número de ninhos de formigas cortadeiras e da área de terra solta. Com isso, a elaboração de um plano de amostragem nesta região do cerrado mineiro deve considerar estas como distâncias limite entre pontos amostrais, dependendo da variável avaliada (número ou área de formigueiros).

A determinação da intensidade amostral, visando à elaboração de um plano de amostragem, poderia ser feita por meio da distribuição sistemática das amostras em diferentes distâncias, seguida da krigagem dos dados. Isso permitiria a estimação dos valores médios do número e da área dos ninhos de formigas cortadeiras em locais não-amostrados. A comparação desses dados ao valor médio do censo possibilitaria a escolha do modelo com a maior distância entre amostras e menor erro amostral.

6 CONCLUSÕES

Existe dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras do gênero *Atta* em plantios de *Eucalyptus* spp. numa região de cerrado em Minas Gerais.

A distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais da região de Paraopeba no cerrado de Minas Gerais é agregada até a distância de 164,25 m em relação ao parâmetro número e de 45,10 m para o parâmetro área de terra solta de saueiros.

Para as características consideradas neste trabalho, a estrutura de dependência espacial foi semelhante em todas as direções (isotropia), ou seja, pode-se usar o semivariograma onidirecional no processo de krigagem.

O método utilizado permite gerar mapas de krigagem, indicando os locais infestados por formigas cortadeiras.

REFERÊNCIAS

- Akaike, H. 1983. Information measures and model selection. **International Statistical Institute**, Voorburg, v. 44, n.1, p. 277-291.
- Alves, J.B., J.C. Zanuncio, J.B. Torres, M.V. Galo 1996. Métodos de distribuição de isca granulada em formigueiros de *Atta laevigata* (F. Smith). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 111-116.
- Anjos, N., D.D.O. Moreira, T.M.C. Della Lucia 1993. Manejo integrado de formigas cortadeiras em reflorestamentos. In: Della Lucia, T. M. C. (ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa: Folha de Viçosa, p. 212-241.
- Balastreire, L.A., F.H.R. Baio 2001. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 349-352.
- Barbosa, J.C. 1992. A amostragem seqüencial. In: Fernandes, O.A., Correia, A.C.B., De Bortoli, S.A. (Eds.). **Manejo integrado de pragas e nematóides**. Jaboticabal: FUNEP, p. 205-211.
- Begon, M., J.L. Harper, C.R. Townsend 1996. **Ecology: individuals, populations and communities**. Oxford: Blackwell Science, 1068p.
- Caldeira, M.A. 2002. **Planos de amostragem de saueiros em eucaliptais**. Lavras: UFLA. 39p. (Dissertação em Entomologia).
- Caldeira, M.A., R. Zanetti, J.C. Moraes, J.C. Zanuncio 2005. Distribuição espacial de saueiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. **Cerne**, Lavras, v.11, n.1, p.34-39.
- Cambardella, C.A., T.B. Moorman, J.M. Novak, T.B. Parkin, D.L. Karlen, R.F. Turco, A.E. Konopka 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Journal of Soil Science Society of America**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511.
- Cressie, A.G. 1985. Fiting variogram models using weighted least squares. **Journal of the International Association of Mathematical Geology**, Kingston, v. 17, n. 5, p. 563-586.
- Cressie, A.G. **Statistics for spatial data**. 1993. New York: Wiley, 900p.

- Croft, B.A., S.C. Hoyt 1983. **Integrated management of insect pest of pome and stone fruits**. New York: Wiley Interscience, 454p.
- Deslippe, R.J., R. Savolainen 1995. Mechanisms of competition in a guild of formicine ants. **Oikos**, Buenos Aires, v. 72, n. 1, p. 67-73.
- Diggle, P.J., P.J. Ribeiro Júnior 2000. Model-based geostatistics. In: Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística, 14, Caxambu. **Resumos...** 192p.
- Diggle, P.J., P.J. Ribeiro Jr. 2007. **Model Based Geostatistics**. New York: Springer, 230p.
- Dinardo-Miranda, L.L., A.C.M. Vasconcelos, S.R. Vieira, J.V. Fracasso, C.R. Grego 2007. Uso da geoestatística na avaliação da distribuição espacial de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-acúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 449-455.
- Doncaster, C.P. 1981. The spatial distribution of ant's nests on Ramsey Island, South Wales. **Journal of Animal Ecology**, Cambridge v. 50, p. 195-218.
- Ellsbeury, M.M., W.D. Woodson, S.A. Clay, D. Malo, J. Schumacher, D.E. Clay, C.G. Carlson 1998. Geostatistical characterization of special distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 910-917.
- Farias, P.R.S., L.A.S. Nociti, J.C. Barbosa, D. Perecin 2003. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241.
- Giles, K.L., T.A. Royer, N.C. Elliott, S.D. Kindler 2000. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greengug (Homoptera: Aphididae) infesting winter wheat in the southern plains. **J. Econ. Entomol.**, Lanham, v. 93, p. 1522-1530.
- Golfari, L. 1975. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. PNUD/FAO/IBDF – BRA/71/545, 65p. (Série Técnica 3).
- Gribko, L.S., A.M. Liebhold, M. Hohn 1995. Model to predict *Gypsy moth* (Lepidoptera: Lymantriidae) defoliation using kriging and logistic regression. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 24, n. 3, p. 529-537.

- Journel, A.G., C.J. Huijbregts 1978. **Mining geostatistics**. New York: Academic Press, 600p.
- Kuno, E. 1991. Sampling and Analysis of Insect Populations. **Annu. Rev. Entomol.**, Palo Alto, v. 36, p. 285-304.
- Liebhold, A.M., X. Zhang, M.E., Hohn, J.S. Elkinton, M. Ticehurst, G.L. Benzon, R.W. Campbell 1991. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populataions. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 20, n. 5.
- Lopes, E.T. 2000. **Distribuição e métodos de amostragem de saueiros em plantações de eucalitpto**. Viçosa: UFV. 53p. (Dissertação em Ciência Florestal).
- Mello, J.M., J.F.S. Batista, P.J. Ribeiro Jr., M.S. Oliveira 2005. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25-37.
- Mello, J.M., F.S. Diniz, A.D. Oliveira, C.R. Mello, J.R.S. Scolforo, F.W.A. Junior 2009. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.1, p.185-194.
- Mendonça, L.A. 2008. **Geoestatística na amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica**. Lavras: UFLA. 52p. (Tese em Agronomia/Entomologia).
- Oliveira, A.C., J.A.V. Barcelos, E.J. Moraes, G.D. Freitas 1993. 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, p. 242-255.
- Pinto, R. 2006. **Amostragem e distribuição espacial de colônias de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais**. Viçosa: UFV. 66p. (Tese em Entomologia).
- Rabinovich, J.E. 1980. **Introducción a la ecologia de poblaciones animales**. México: Comp. Ed. Continental, 1980. 313p.

- R Development Core Team. **R**: A language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 06/03/2008.
- Reis, M.A. 2005. **Estudo de métodos aleatório e de distâncias para a amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais**. Lavras: UFLA. 53p. (Dissertação em Agronomia/Entomologia).
- Reis, M.A., R. Zanetti, J.R.S. Scolforo, M.Z. Ferreira & J.C. Zanuncio 2008. Sampling of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations using quadrant and Prodan methods. **Sociobiology**, Chicago, v. 51, n. 1, p. 21-29.
- Ribeiro Jr., P.J., P.J. Diggle 2001. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R - News**, London, v. 1, n. 2, p. 15-18.
- Schotzko, D.J., G.R. Knudsen 1992. Use of geostatistics to evaluate a spatial simulation of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) movement behavior on preferred and nonpreferred host plants. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 21, p. 1271-82.
- Stingel, E. 2005. **Distribuição espacial e plano de amostragem para a cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stål., 1954), em cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ-USP. 75p. (Dissertação em Entomologia).
- Taylor, L.R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 29, p. 321-357.
- Vieira, S.R. 2000. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: Novais, R.F. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54.
- Young, L.J., J.H. Young 1998. **Statistical ecology: a population perspective**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 565p.
- Waloff, N., R.E. Blackith 1962. The growth and distribution of the mounds of *Lasius flavus* (Fabricius) (Hym: Formicidae) in Silwood Park, Berkshire. **Journal of Animal Ecology**, Cambridge, v. 31, n. 3, p. 421-437.
- Wright, R.J., T.A. Devries, L.J. Young, K.J. Jarvi, R.C. Seymour 2002. Geostatistical analysis of the small-scale distribution of european corn borer

(Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. **Environmental Entomology**, Lanham, v.31, n.1, p.160-167.

Zanetti, R., J.C. Zanuncio, A. Souza-Silva, L.G. Abreu 2003b. Eficiência de isca formicida aplicada sobre o monte de terra solta de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 407-410.

Zanetti, R., J.C. Zanuncio, E.F. Vilela, H.G. Leite, K. Jaffé, A.C. Oliveira 2003c. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 42, n. 2, p. 433-442.

ARTIGO 2

Amostragem de formigas cortadeiras pelo método de função de densidade de probabilidade em plantios de *Eucalyptus* spp.

1 RESUMO

Diversos planos de amostragem de formigas cortadeiras foram desenvolvidos nos últimos anos, porém, ainda é necessário obter planos mais precisos e baratos, para reduzir os erros de amostragem operacional. Com base nisso, objetivou-se desenvolver um plano de amostragem de formigas cortadeiras em plantios de eucalipto pelo método de função de densidade de probabilidade. Os dados foram coletados em talhões de eucalipto, utilizando-se transectos distanciados a cada 100 m um do outro. Em cada transecto, foram medidos o tamanho e a distância perpendicular de cada ninho até o transecto. Os formigueiros foram divididos em 3 classes de tamanho e 21 classes de distância e os dados foram modelados, tendo a probabilidade de encontrar os ninhos, como variável resposta, e a distância do observador, como variável explicativa. As classes de tamanho e total foram covariáveis do modelo. As equações geradas foram utilizadas para estimar a densidade populacional de ninhos nos talhões, para diferentes intensidades amostrais, representadas pelo número de transectos de diferentes larguras em cada talhão. Os mesmos talhões foram também amostrados pelo método de transecto em faixas e censoriados, para comparação dos modelos. Para o desenvolvimento do plano de amostragem pelo método de função de densidade de probabilidade, os formigueiros foram divididos em 3 classes de tamanho e 21 classes de distância, em relação à transectos distanciados 100m um do outro. Os resultados foram comparados com o censo e com o método de transecto em faixa. O modelo cumulativo Generalizado de Pareto foi o melhor na estimativa das densidades de ninhos de formigas cortadeiras em relação à probabilidade de visualização deles em diferentes distâncias. A função de densidade de probabilidade por classe de tamanho é mais precisa que a independente do tamanho, porém ambos são melhores que o método do transecto em faixa. Transectos de 35 e 40m de largura são mais precisos que os de 30m, quando se utiliza uma intensidade amostral acima de 3 transectos por talhão.

Palavras-chave: Eucaliptais. Pragas. Monitoramento. Transectos.

2 ABSTRACT

Several sampling plans of nests of leaf-cutting ants were carried out in recent years; however, it is still necessary to obtain cheaper and more accurate plans to reduce operational sampling errors. Based on that, we aimed to develop a sampling plan of nests of leaf-cutting ants in Eucalyptus plantations using the probability density function. Data were collected in Eucalyptus stands using transects 100m apart from each other. In each transect, size and perpendicular distance of each nest to the transect were measured. The nests were divided in 3 size classes and 21 distance classes. The data were tabulated and modeled through the program EasyFit 5.3, with the probability to find the nests as the response variable, and the distance to observer as explanatory variable. Size and total classes were covariates in the model. The generated equations were used to estimate the density of nests in the stands for different sampling intensities, represented by the number of transects of different width in each stand. The same stands were also sampled through the transect method in strips and censused to compare the models' accuracy. The Generalized Pareto cumulative model was the best to estimate of the density of nests of ants in relation to the probability of viewing at different distances. The probability density function of class size is more accurate than the independent of the size, but both are better than the transect strip method. Transects of 35 and 40m wide are more accurate than 30m when using a sampling intensity above 3 transects per plot.

Key words: Eucalyptus plantations. Pest. Monitoring. Transects.

3 INTRODUÇÃO

A área total de florestas plantadas no Brasil é de aproximadamente seis milhões de hectares, sendo 3,75 milhões de eucalipto; 1,80 milhão de pinus e 425,2 mil de outras espécies (SBS, 2008). Nessas florestas, as formigas cortadeiras são consideradas as principais pragas, destacando-se as espécies *Atta laevigata*, *Atta sexdens rubropilosa*, *Acromyrmex disciger*, *Acromyrmex niger* e *Acromyrmex crassipinus* (Boaretto & Forti, 1997).

O manejo adequado dessas formigas requer o desenvolvimento de programas de monitoramento de suas populações. Esses programas devem considerar a estimativa do número de ninhos e da área de terra solta deles, possibilitando reduzir a área a ser combatida, o custo da mão-de-obra e a quantidade de inseticida lançada no ambiente (Zanuncio et al., 2002).

O monitoramento de formigas cortadeiras pode ser executado com vários métodos de amostragem e a escolha adequada de cada um deles depende, fundamentalmente, de uma definição clara dos seus objetivos, entre os principais estão: indicação do momento ótimo para a intervenção contra as formigas, seleção do método ou métodos a serem adotados, otimização dos recursos em cada método, formação de uma base de dados para geração de uma programação de controle e, por último, avaliação da eficiência da operação (Laranjeiro, 1994).

Nos últimos anos, diversos métodos de amostragem de formigas cortadeiras em florestas cultivadas foram desenvolvidos, como pior foco, parcelas aleatórias, transectos em faixa, quadrantes, sequeencial e geoestatística.

A técnica do pior foco baseia-se na procura dos focos de desfolhamentos nos talhões, selecionando aquele em que o desfolhamento é mais intenso. Avalia-se, então, a quantidade de colônias e a área de cada uma delas, determinando a quantidade de árvores danificadas e o grau de desfolhamento que possuem e medindo a área do foco avaliado (Anjos et al., 1993).

A técnica de parcelas aleatórias consiste no lançamento ao acaso de parcelas que podem variar entre 720 m² e 1.080 m², com largura correspondente ao espaçamento de 2 a 3 entrelinhas de plantio. As parcelas são lançadas a cada 3 ou 5 hectares, para medir a quantidade de árvores desfolhadas, o grau de desfolhamento e a quantidade de formigueiros por classe de tamanho (Oliveira et al., 1993).

Os transectos em faixas são parcelas de comprimento variável, conforme a linha de plantio com largura de 2 a 3 entrelinhas, lançadas a partir da terceira ou quinta linha de plantio, com 96 ou 180 m de distância entre elas. O monitor deve localizar, medir e contar os formigueiros e o número de árvores da linha de plantio para calcular o comprimento do transecto (Zanuncio et al., 2002).

O método de quadrantes consiste no estabelecimento de pontos distribuídos sistematicamente na área, divididos em quatro quadrantes. Em cada quadrante é amostrado o formigueiro mais próximo ao ponto, registrando-se a espécie, o tamanho e a distância do ninho ao ponto. A distância entre os pontos deve ser estabelecida de modo que não permita que um mesmo formigueiro seja amostrado por pontos distintos. A estimativa da densidade de ninhos de formigas cortadeiras é calculada pelo estimador de Pollard (Reis et al., 2008).

A amostragem sequencial, diferentemente da convencional, requer um número variável de unidades amostrais em função do nível de infestação. Segundo Mendonça (2008), o método baseia-se no lançamento ao acaso de uma parcela de 720 m² próximo à borda do talhão e, a partir desta, caminha-se em espiral em direção ao centro, tomando outras parcelas ao acaso. Em cada parcela deve ser medida a área acumulada dos formigueiros. O valor de cada amostra deve ser somado de forma cumulativa e comparado com as linhas inferior e superior da curva característica de operação. Se este valor acumulado estiver abaixo da linha inferior, decide-se por não realizar o controle e o contrário

ocorre se estiver acima da linha superior. Permanecendo este valor entre as duas linhas, continua-se amostrando.

A geoestatística é empregada para o estudo de fenômenos naturais, caracterizados pela distribuição espacial de uma ou mais variáveis, em que os valores das amostras são correlacionados no espaço (Journel & Huijbregts, 1978). A ferramenta básica da geoestatística é o semivariograma, que relaciona a distância entre pares de amostras com a semivariância estatística, para todos os pares possíveis, a cada distância sugerida (Ellsbeury et al., 1998).

Embora existam diversos métodos de amostragem disponíveis, é necessário desenvolver novos, em busca de maior precisão e menor custo. Reis (2005) fez uma tentativa de desenvolver planos de amostragem em transectos em linha pelo método de função de densidade de probabilidade, porém, os resultados foram superestimados, pois o autor limitou a distância máxima de observação a 6 m, o que reduziu a área de amostragem (Cottam & Curtis, 1956), e não considerou a redução da probabilidade de encontrar os ninhos em função do aumento da distância do observador (função de densidade de probabilidade). Nesse sentido, este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver um plano de amostragem de formigas cortadeiras pelo método de função de densidade de probabilidade em plantios de *Eucalyptus* spp.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido, no ano de 2009, em quatro talhões de *Eucalyptus* spp. de aproximadamente, 15 hectares e quatro anos de idade (Tabela 1), localizados, no município de Paraopeba, MG. Entre os paralelos 19°25'S e 19°12'S e os meridianos 44°28'W e 44°36'W, sua altitude varia de 600 a 900 m e o relevo varia de suave a montanhoso com solo predominantemente argiloso. Golfari (1975) descreveu o clima da região como

subtropical moderado úmido. A precipitação e a temperatura média, para o ano de 2009, foram de 1.200 mm e 25°C, respectivamente.

Tabela 1 Características dos talhões de *Eucalyptus* spp. utilizados para a coleta dos dados de infestação de formigas cortadeiras. Paraopeba, MG, 2009

Talhão	Área (ha)	Espaçamento (m)	Latitude	Longitude
1	10,87	3 x 2	55°40'92''	78°55'35''
2	14,92	3 x 2	55°46'64''	78°55'21''
3	12,88	3 x 2	55°44'81''	78°55'56''
4	12,48	3 x 2	55°44'49''	78°69'13''

Os talhões foram divididos em faixas de 100 m de largura no sentido do alinhamento de plantio. No centro de cada faixa, foi selecionada uma linha de plantio (transecto em linha). Cada transecto foi percorrido por dois avaliadores. Um deles localizava os ninhos, sem se afastar do transecto, e o outro media a distância perpendicular do transecto ao ninho observado pelo outro avaliador, além de medir a área de terra solta do mesmo, de acordo com metodologia de área parcialmente estratificada, que consiste no produto do maior comprimento pela maior largura da área ocupada pelos montes de terra solta, distantes até um metro do monte principal (Alves et al., 1996) (Figura 1).

Em seguida, todos os ninhos presentes em cada faixa foram localizados por meio de censo. Foi medida a distância perpendicular de cada um até o transecto e a área de terra solta deles.

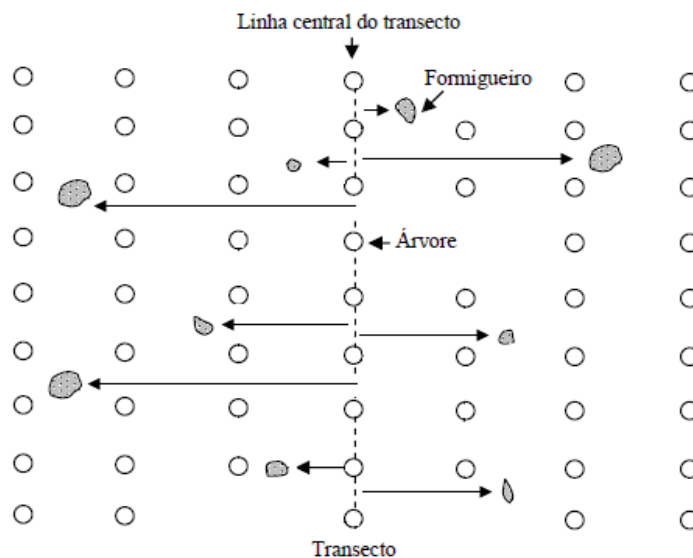


Figura 1 Esquema de coleta dos dados de infestação de formigas cortadeiras nos transectos lançados em talhões de *Eucalyptus* spp. Paraopeba, MG, 2009

Os formigueiros foram separados em três classes de tamanho, sendo: I ($\leq 1\text{m}^2$); II (1,1 a 2,9 m^2) e III ($>3\text{ m}^2$ de terra solta) e as distâncias perpendiculares dos ninhos até o transecto foram organizadas em 21 classes de 3 m.

Os dados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica e modelados a partir do programa EasyFit 5.3, tendo a probabilidade de encontrar os ninhos, como variável resposta, e a distância do observador, como variável explicativa. As classes de tamanho foram co-variáveis do modelo. Com o objetivo de escolher os modelos mais adequados, utilizou-se o teste de Komolgorov-Smirnov (K-S), que verifica a adequação da amostra às distribuições possíveis.

As equações geradas pelos modelos por classe de tamanho e total (independente da classe) foram utilizadas para estimar a densidade populacional de ninhos nos talhões por classe e total. Essa estimativa foi feita considerando-se

transectos de 30, 35 e 40 m de largura e diferentes intensidades amostrais, variando de 1 a 4 transectos de cada largura por talhão. Os transectos de cada talhão foram selecionados por sorteio.

Em seguida, os talhões foram monitorados pelo método de transectos em faixa, seguindo metodologia de Reis (2005). Transectos de 6 m de largura foram lançados a partir da quinta linha de plantio e distanciados a cada 96 m. Foram medidos o número e a área dos ninhos e o comprimento de cada transecto. A estimativa da densidade de ninhos de formigas cortadeiras por hectare foi obtida pelo estimador de área proporcional:

$$DP_{(\text{Área Proporcional})} = \left(10000 \times \sum_{i=1}^n Nf \right) / \left(\sum_{i=1}^n AT \right), \quad (1)$$

em que DP = número de formigueiros/ha; Nf = número de formigueiros por transecto; AT = área de cada transecto e n = número de transectos (i = 1, 2, ...n).

Nos talhões em estudo, as densidades estimadas pelo método de função de densidade de probabilidade para as classes de tamanho e total, para cada largura e intensidade amostral foram comparadas com as densidades do censo e do método de transectos em faixa (Reis, 2005), por meio do teste de X^2 ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Três distribuições apresentaram bons ajustes: Generalizada de Pareto, Exponencial e Weibull, cujos modelos estão apresentados a seguir:

- distribuição Generalizada de Pareto

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \left(1 + k \frac{(x - \mu)}{\sigma}\right)^{-1/k} & k \neq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(x - \mu)}{\sigma}\right) & k = 0 \end{cases} \quad (2)$$

em que x é a distância, k é o parâmetro de forma contínua, σ é o parâmetro de escala contínua e μ o parâmetro de localização permanente.

- distribuição Exponencial

$$F(x) = 1 - \exp(-\lambda(x - \gamma)) \quad (3)$$

em que x é a distância, λ é o parâmetro de escala contínua inverso e γ o parâmetro de localização contínua.

- distribuição de Weibull

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^\alpha\right) \quad (4)$$

em que x é a distância, α é o parâmetro de forma contínua, β é o parâmetro de escala contínua e γ o parâmetro de localização contínua.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), o qual enfatiza que quanto mais próximo de zero mais significativo é o valor, mostrou que os dados aderiram melhor ao modelo de distribuição Generalizada de Pareto, com os seguintes valores: 0,0847; 0,0889; 0,0812 e 0,0761, para as variáveis total e classes de tamanhos I, II e III, respectivamente (Tabela 2).

A partir dos valores obtidos, calculou-se a probabilidade em função das distâncias $f(x)$, por meio do modelo de distribuição generalizada de Pareto.

Tabela 2 Parâmetros das equações de função de densidade de probabilidade para cada co-variável analisada (total, classes de tamanho I, II e III) para ninhos de formigas cortadeiras em plantios de *Eucalyptus* spp, nas distribuições mais significativas pelo teste de Komolgorov-Smirnov (K-S). Paraopeba, MG, 2009

Co-Variáveis	Distribuições	Parâmetros das equações							K-S
		k	Σ	μ	λ	γ	α	β	
Total	Gen. Pareto	-0,05	8,80	-0,33	-	-	-	-	0,0847
	Exponencial	-	-	-	0,12	0,00	-	-	0,0919
	Weibull	-	-	-	-	0,00	0,78	7,62	0,1148
Classe I	Gen. Pareto	-0,04	6,22	-0,19	-	-	-	-	0,0889
	Exponencial	-	-	-	0,17	0,00	-	-	0,0884
	Weibull	-	-	-	-	0,00	0,80	5,39	0,1386
Classe II	Gen. Pareto	-0,13	9,54	-0,25	-	-	-	-	0,0812
	Exponencial	-	-	-	0,12	0,00	-	-	0,0769
	Weibull	-	-	-	-	0,00	0,83	8,00	0,101
Classe III	Gen. Pareto	-0,43	19,48	-0,28	-	-	-	-	0,0761
	Exponencial	-	-	-	0,08	0,00	-	-	0,149
	Weibull	-	-	-	-	0,00	0,89	14,50	0,1081

Nas Figuras 2 a 5 são apresentados as curvas geradas pelas funções de densidade de probabilidade para todas as co-variáveis avaliadas (total e classes de tamanho I, II, III), em conjunto com o modelo cumulativo Generalizado de Pareto.

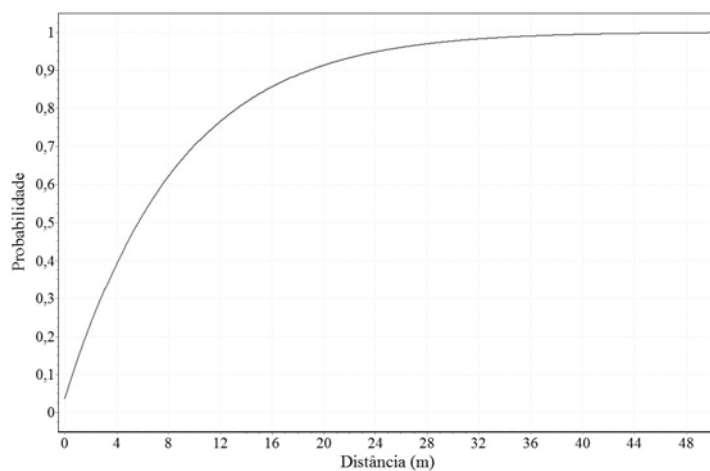


Figura 2 Probabilidade de visualização de saúveiros de qualquer tamanho em função da distância do transecto, em plantios de *Eucalypts* spp., considerando o modelo Generalizado de Pareto para a co-variável total de ninhos. Paraopeba, MG, 2009

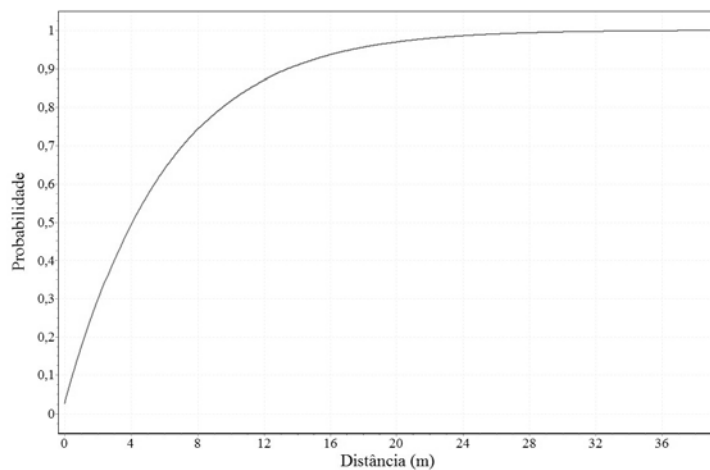


Figura 3 Probabilidade de visualização de saúveiros < 1m² de terra solta em função da distância do transecto em plantios de *Eucalypts* spp., considerando o modelo Generalizado de Pareto para a co-variável ninhos da classe I. Paraopeba, MG, 2009

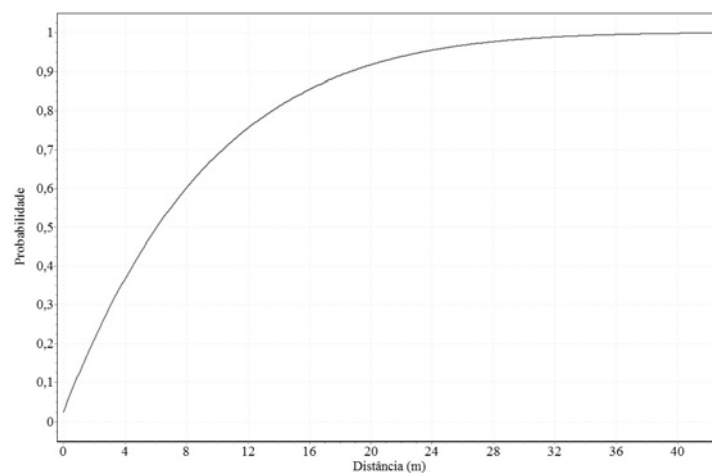


Figura 4 Probabilidade de visualização de saueiros entre 1 e 2,9m² de terra solta em função da distância do transecto em plantios de *Eucalypts* spp., considerando o modelo Generalizado de Pareto para a co-variável ninhos da classe II. Paraopeba, MG, 2009

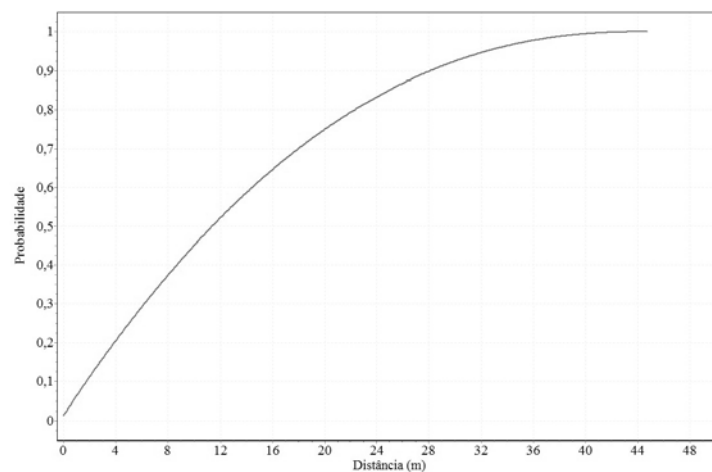


Figura 5 Probabilidade de visualização de saueiros >3m² de terra solta em função da distância do transecto em plantios de *Eucalypts* spp., considerando o modelo Generalizado de Pareto para a co-variável ninhos da classe III. Paraopeba, MG, 2009

Verificou-se que a estimativa da densidade de ninhos é mais precisa quando se utilizou os modelos por classe de tamanho do que o modelo total (independente do tamanho) (Tabela 3). Além disso, o método de função de densidade de probabilidade se mostrou mais preciso que o método de transectos em faixa.

Em estudo conduzido na cidade de Montes Claros, MG, constatou-se que o lançamento de um transecto em faixa de 9 m de largura a cada 120 m de distância pode ser recomendado para monitorar o número e a área de colônias de formigas-cortadeiras nos eucaliptais da região (Zanuncio et al., 2004).

A melhor distância entre os transectos em faixa foi definida como 96 m, lançados a partir da terceira linha de plantio, com intensidade amostral de 6,25%, em um plano de amostragem com transectos em faixa para eucaliptais da Celulose Nipo-Brasileira S.A. (Cenibra), no município de Belo Oriente, na região do Vale do Rio Doce, MG (Reis et al., 2005).

A maioria dos planos de amostragem por transectos em faixa utiliza o estimador de área proporcional para cálculo da densidade de ninhos de formigas-cortadeiras, enquanto nesse estudo foi usado o estimador de densidade de probabilidade. Reis et al. (2005) compararam esse estimador com outros e verificaram que a estimativa da densidade de ninhos de formigas-cortadeiras pelo estimador de área proporcional produziu um erro médio de 3,65% em relação ao censo, não diferindo estatisticamente deste ($p > 0,05$), enquanto o estimador de Cottam e Curtis (1956) superestimou a população em 448,52%, diferindo do censo.

Dentre as três larguras testadas (30, 35 e 40m), as que apresentaram melhores estimativas da densidade de ninhos de formigas cortadeiras (n/ha) em relação ao censo, foram as de 35 e 40m, principalmente para os modelos por classe de tamanho (Tabela 3). Essas larguras são maiores que dos planos de amostragem com transectos em faixa que utilizam largura de 9m (Zanuncio et

al., 2004; Reis et al., 2005), podendo amostrar mais ninhos. Por outro lado, o número de transectos em faixa por talhão é maior, resultando em uma intensidade amostral maior que o plano proposto.

A estimativa da densidade de saueiros em transectos de 30m de largura se diferenciou do censo populacional (X^2 ; $p>0,05$), independente do tamanho dos ninhos, apresentando com um erro amostral médio entre 3 e 22% (Tabela 3). Entretanto, os transectos com 35 e 40m de largura apresentaram densidade estimada de ninhos de formigas cortadeiras semelhante ao censo, quando se utilizou uma intensidade amostral de 3 e 4 transectos, equivalente a 5,16 e 5,88% da área amostrada, respectivamente, usando o modelo por classe. Essas larguras e intensidades apresentaram um erro amostral médio menor (11%), quando considerou a função de densidade de probabilidade por classe (Tabela 3).

A intensidade amostral de 2 transectos por talhão (2,95%, 3,44% e 3,92%, para as larguras de 30, 35 e 40m, respectivamente) não apresentou bons resultados em nenhuma das larguras e co-variáveis testadas, enquanto a intensidade de 1 transecto se mostrou semelhante ao censo em todas as larguras. Porém, isso parece ter ocorrido por acaso, uma vez que a intensidade imediatamente maior (2) não foi adequada e pelo fato da densidade estimada ter sido obtida por apenas 1 sorteio. Nesse caso, o local sorteado coincidiu com a parte do talhão que apresentava densidade em torno da média de ninhos do talhão.

TABELA 3 Densidade de saueiros (n/ha) real (censo) e estimada pelos métodos de transectos em faixa e pela função de densidade de probabilidade total e por classe de tamanho (somatório das classes de tamanho I, II e III), usando de 1 a 4 transectos de 30, 35 e 40m de largura por talhão de *Eucalyptus* spp. Paraopeba, MG, 2009

Talhão	Censo	Trans. faixa	Função de densidade de probabilidade total											
			Nº de transectos/talhão (30m de largura)				Nº de transectos/talhão (35m de largura)				Nº de transectos/talhão (40m de largura)			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	47	81	44	42	47	45	41	44	46	44	46	47	45	46
2	83	190	68	53	63	67	75	57	64	67	78	57	71	73
3	87	101	95	88	74	79	100	106	74	81	93	95	78	84
4	149	57	131	132	103	110	146	145	132	100	166	156	124	111
Média	92	107	85	79*	72*	75*	91	88*	79	73*	96	89*	80	79*
Erro (%)	-	16	8	14	22	18	1	4	14	21	4	3	13	14
I.A. (%)	100	6,1	1,47	2,95	4,43	5,91	1,72	3,44	5,16	6,88	1,96	3,92	5,88	7,84

Talhão	Censo	Trans. faixa	Função de densidade de probabilidade por classe de tamanho											
			Nº de transectos/talhão (30m de largura)				Nº de transectos/talhão (35m de largura)				Nº de transectos/talhão (40m de largura)			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	47	81	48	47	51	49	45	47	50	47	48	49	47	48
2	83	190	68	53	63	67	75	57	64	67	78	57	71	73
3	87	101	99	92	79	83	104	110	78	85	95	98	80	86
4	149	57	139	140	109	117	152	151	137	127	171	162	128	135
Média	92	107	89	83*	76*	79*	94	91*	82	82	98	92*	82	86
Erro (%)	-	16	3	10	17	14	2	3	11	11	7	0	11	7
I.A. (%)	100	6,1	1,47	2,95	4,43	5,91	1,72	3,44	5,16	6,88	1,96	3,92	5,88	7,84

* densidade média com valores de X² significativos (p<0,05).

6 CONCLUSÕES

Para eucaliptais numa região do cerrado de Minas Gerais, o modelo cumulativo Generalizado de Pareto foi o melhor na estimativa das densidades de ninhos de formigas cortadeiras em relação à probabilidade de visualização em diferentes distâncias.

A função de densidade de probabilidade por classe de tamanho é mais precisa que a independente do tamanho, porém ambos são melhores que o método do transecto em faixa.

Transectos de 35 e 40m de largura são mais precisos que os de 30m, quando se utiliza uma intensidade amostral acima de 3 transectos por talhão.

REFERÊNCIAS

- Alves, J.B., J.C. Zanuncio, J.B. Torres, M.V. Galo 1996. Métodos de distribuição de isca granulada em formigueiros de *Atta laevigata* (F. Smith). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 111-116.
- Anjos, N., D.D.O. Moreira, T.M.C. Della Lucia 1993. Manejo integrado de formigas cortadeiras em reflorestamentos. In: Della Lucia, T.M.C. (ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa. p. 212-241.
- Boaretto, M.A.C., L.C. Forti 1997. Perspectivas no controle de formigas cortadeiras. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.11, n. 30, p. 31-46, maio 1997. Disponível em: <<http://www.ipef.br>>. Acesso em: 02/07/2009.
- Cottam, G., J.T. Curtis 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, Washington, v.37, n.4, p.471-475.
- Ellsbeury, M.M., W.D. Woodson, S.A. Clay, D. Malo, J. Schumacher, D.E. Clay, C.G. Carlson 1998. Geostatistical characterization of special distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 27, n. 4, p. 910-917.
- Golfari, L. 1975. **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. PNUD/FAO/IBDF – BRA/71/545, 65p. (Série Técnica 3).
- Journel, A.G., C.J. Huijbregts 1978. **Mining geostatistics**. New York: Academic Press, 600p.
- Laranjeiro, A. J. **Controle de formigas cortadeiras em reflorestamentos: propagação, operação e monitoramento**. In: Curso de Atualização no Controle de Formigas Cortadeiras, 1988. v.2. 24 p.
- Mendonça, L.A. 2008. **Geoestatística na amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica**. Lavras: UFLA, 52p. (Tese em Agronomia/Entomologia).
- Oliveira, A.C., J.A.V. Barcelos, E.J. Moraes, G.D. Freitas 1993. 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, p. 242-255.

- Reis, M.A. 2005. Estudo de métodos aleatório e de distâncias para a amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais. Lavras: UFLA, 53p. (Dissertação em Agronomia/Entomologia).
- Reis, M.A., R. Zanetti, J.R.S. Scolforo, M.Z. Ferreira & J.C. Zanuncio 2008. Sampling of leaf-cutting ant nests (Hymenoptera: Formicidae) in eucalyptus plantations using quadrant and Prodan methods. **Sociobiology**, Chicago, v. 51, n. , p. 21-29.
- Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil Florestal**. 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 02/07/2009.
- Zanuncio, J.C., E.T. Lopes, H.G. Leite, R. Zanetti, C.S. Sedyama, M.C.Q. Fialho 2004. Sampling methods for monitoring the number area of colonies of leaf cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 44, n. 2, p. 337-344.
- Zanuncio, J.C., E.T. Lopes, R. Zanetti, D. Pratissoli, L. Couto 2002. Spatial distribution of nests of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: formicidae) in plantations of *Eucalyptus urophylla* in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v 39, n. 2, p.231-242.