

Formigas (Hymenoptera: Formicidae) como indicadores da qualidade ambiental e da biodiversidade de outros invertebrados terrestres

Rogério Rosa da Silva¹
Carlos Roberto Ferreira Brandão²

¹Museu Entomológico Fritz Plaumann
Nova Teutônia, CEP 89775-000, Seara, SC

²Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 42694
CEP 04299-970, São Paulo, SP

Aceito para publicação em 26/10/98.

Resumo

Para embasar cientificamente programas de avaliação, conservação e manejo ambiental existe a necessidade de identificar espécies características de habitats ou formações vegetais e seus estados de sucessão, chamadas de indicadoras ou bioindicadoras.

Recentemente a atenção tem-se concentrado no teste do poder destes indicadores da biodiversidade terrestre, particularmente aqueles que possam melhorar as estimativas de riqueza de espécies dos grupos chamados de "hiperdiversos" (insetos, ácaros e outros aracnídeos, nematóides, fungos e microorganismos em geral). Isto se deve à dificuldade de se obter inventários completos sobre estes grupos e em virtude das urgentes demandas que envolvem as questões ambientais.

As formigas são, em termos comparativos, especialmente apropriadas para serem usadas como bioindicadores por apresentarem abundância local alta e riqueza de espécies local e global também altas, além de apresentarem muitos táxons especializados, distribuição geográfica ampla, de serem facilmente amostradas e separadas em morfo-espécies e serem sensíveis às mudanças nas condições do ambiente.

Como resultado, o estudo de comunidades locais de formigas tem se mostrado uma valiosa ferramenta de avaliação de condições ambientais em estudos de acompanhamento de áreas degradadas, monitoramento de regeneração de áreas florestais e savanas pós-fogo e dos diferentes padrões de uso do solo. Além disso, dados sugerem que a riqueza de espécies de formigas é potencialmente útil para avaliações da biodiversidade de invertebrados em geral.

Unitermos: Formigas, bioindicadores, biodiversidade, invertebrados terrestres.

Summary

There is a growing need for the identification of species characteristics of certain habitats and their vegetation formation or their successional states, in order to evaluate, monitor and preserve the environment. Invertebrates have often been targeted for such studies.

Recently, much attention has been given to the testing of the power of these bioindicators, especially those that can be used to estimate species richness of "hyperdiverse" terrestrial groups, such as insects, mites and other arachnids, nematodes, fungi and microorganisms in general. This is because it is very time-consuming to make full inventories of these groups and it is also due to the urgent demands regarding environmental questions.

Ants are particularly convenient for use as bioindicators because they present relatively high local abundance, high species richness locally and globally, and many specialized species. They are geographically widespread, easily sampled, usually easily separated in morphospecies and are sensitive to modifications in environmental conditions.

Thus, the study of ant communities has been used as a valuable bioindicator of environmental conditions in studying disturbance, forest and savanna monitoring after burning or different patterns of land use. Further, data has indicated that the species richness of ants is potentially useful for the evaluation of invertebrate biodiversity in general.

Key words: Ants, bio-indicators, biodiversity, terrestrial invertebrates.

Introdução

Existem fundamentações teóricas bem aceitas e crescente evidência empírica que suportam a importância da diversidade biológica na manutenção dos processos ecológicos em florestas tropicais (York, 1994).

É necessário então identificar espécies características ou indicadoras que possam ser utilizadas em programas de avaliação, conservação e manejo ambiental (Dufrêne e Legendre 1997), índices especialmente solicitados no contexto do monitoramento de mudanças ecológicas após perturbações de habitats. Levantamentos da fauna de invertebrados vêm sendo frequentemente utilizados para esta finalidade (Andersen, 1997a; McGeoch e Chown, 1998; Rodríguez et al., 1998).

A maioria das estimativas de biodiversidade de sítios terrestres foi baseada em listas de espécies ou estimativas de abundância de angiospermas e vertebrados (principalmente aves e

mamíferos e, em menor extensão, répteis e anfíbios). Ainda que conspícuos e relevantes em termos de valor afetivo para os humanos, esses táxons representam uma proporção relativamente pequena das espécies do mundo (Colwell e Coddington, 1994).

Mais recentemente a atenção tem se concentrado sobre o desenvolvimento de indicadores de biodiversidade, particularmente em relação a estimativas de riqueza de espécies em grupos altamente diversificados, na maioria invertebrados (Andersen, 1997a). Isso porque o nosso planeta não dispõe de recursos infinitos, nem tempo, para esperar a elaboração de inventários detalhados para a maior parte dos táxons antes que decisões sobre a escolha de áreas de proteção para a biodiversidade sejam tomadas (Prendergast et al., 1993; Colwell e Coddington, 1994).

Entretanto, o estado atual do conhecimento taxonômico e biogeográfico para a maioria dos grupos de organismos terrestres é muito incompleto, especialmente para os chamados “hiperdiversos” (insetos, ácaros e outros aracnídeos, nematóides, fungos e microorganismos em geral) (May, 1988, 1990; Wheeler, 1990; Ehrlich e Wilson, 1991; Colwell e Coddington, 1994; Wheeler, 1995; Stork, 1997).

As razões pelas quais os invertebrados podem ser úteis como indicadores do estado e condição do ambiente são a sua abundância relativamente alta e conseqüente importância funcional nos ecossistemas, além do fato de que certos grupos apresentam sensibilidade a modificações na estrutura dos sistemas naturais (York, 1994; Weaver 1995; Longino e Colwell, 1997).

Estes fatos também tem resultado no aumento da importância de estratégias de conservação de comunidades de invertebrados nas políticas ambientais de manejo. Isto tem levado à tentativa do equacionamento da função desempenhada pelos grupos de invertebrados na manutenção e produtividade dentro dos ecossistemas (York, 1994)

Estimativas locais de biodiversidade que não consideram invertebrados omitem a maior parte da biota que eles se propõem a medir, ignorando o segmento de fauna que mais contribui para os processos essenciais dos ecossistemas (New, 1993; Fisher, 1996; Giller, 1996; Whitford, 1996; Cranston e Trueman, 1997).

A procura por um estimador para a riqueza total de espécies tem trilhado dois caminhos, um que considera o número de táxons de nível superior (gêneros, famílias, etc.) e outro considerando a riqueza de espécies dentro de táxons alvos particulares, chamados de indicadores, grupos focais ou táxons-alvo (Oliver e Beattie, 1996; Andersen, 1997a).

Um táxon particular adequado para uma rápida avaliação da biodiversidade deve apresentar certas características, que em comparação com outros segmentos da biota incluem uma taxonomia bem estabelecida, distribuição geográfica ampla, abundância local alta, ser ecologicamente diverso (diversidade trófica), ser facilmente amostrado e separado em morfo-espécies e, mais importante, sua diversidade deve estar correlacionada com a de outros componentes bióticos da área estudada. Os táxons mais comumente estudados como "indicadores ecológicos" tem sido Lepidoptera, algumas famílias de Coleoptera, Araneae, Apidae e Formicidae (Cranston e Trueman, 1997).

Os estudos faunísticos envolvendo invertebrados como parte das agendas de agências de conservação vêm, em consequência do que foi discutido acima, crescendo. Tópicos para os quais a fauna de invertebrados vem sendo recentemente avaliados incluem impacto de práticas florestais (York, 1994), o sucesso de reabilitação de antigas áreas de mineração (Majer, 1983), a comparação de diferentes ferramentas de manejo agrícola, o impacto de perturbações em áreas de conservação e a avaliação da diversidade biológica dentro de regiões selecionadas (Majer, 1997).

Formigas como indicadores ecológicos

As formigas vêm recebendo considerável atenção como indicadores ecológicos, em particular na Austrália, tanto que linhas básicas de orientação foram desenvolvidas para usá-las como bioindicadores da condição do ambiente (Majer, 1983; Andersen, 1991b) em todos os estados e territórios da Austrália (Majer, 1997).

Na Austrália e provavelmente em muitas regiões do planeta, as formigas são um dos grupos de invertebrados com papel mais importante na pirâmide de fluxo de energia (Majer, 1983). Em regiões tropicais e subtropicais, comunidades de formigas podem conter tipicamente 300-500 espécies (Benson e Harada, 1988; Tobin, 1994) e são muitas vezes relativamente muito abundantes (Fittkau e Klinge, 1973; Erwin, 1983; Adis, 1988; Stork, 1988, 1991; May, 1989; Hölldobler e Wilson, 1990; Majer, 1990; Tobin, 1991, 1994, 1995; Wilson, 1992; Davidson, 1997; Erwin, 1997). Como consequência, as formigas podem desempenhar importantes funções nos processos dos ecossistemas, em especial na ciclagem de nutrientes e controle da população de outros invertebrados.

Além disso, vários estudos com formigas sugerem que alguns parâmetros das comunidades locais de formigas (diversidade, abundância e organização em grupos funcionais – guildas) refletem com razoável fidelidade a natureza da comunidade vegetal, do ambiente físico e possivelmente da diversidade de outros invertebrados presentes na área (Majer, 1992), embora este último ponto seja tema de discussão. Desta forma, formigas estão sendo cada vez mais usadas como bioindicadores em contextos de manejo.

As razões pelas quais as formigas são comparativamente mais indicadas como bioindicadores, segundo Majer (1983), são:

- i) abundância local alta;
- ii) riqueza de espécies local e global alta;
- iii) muitos táxons especializados;
- iv) facilmente amostradas;
- v) em geral facilmente separadas em morfo-espécies;
- vi) sensíveis a mudanças na condição do ambiente.

Na Austrália, grupos funcionais de formigas – guildas constituídas por espécies que respondem a padrões previsíveis quando expostas a diferentes condições ambientais, vêm sendo categorizados somando as propriedades ecológicas básicas dos principais gêneros de formigas (Read, 1996). O modelo divide as formigas australianas em grupos de gêneros, baseado na preferência por habitat e microclima, posição na escala de dominância competitiva interespecífica, estratégias de forrageamento adotada ou tolerância a perturbações (Andersen 1991a, 1995a; Jackson e Fox, 1996).

Os grupos funcionais nos ecossistemas australianos descritos por Andersen (1991a, 1991b, 1992, 1995a, 1997b) são:

- 1) Espécies dominantes (*Iridomyrmex* spp.): espécies altamente abundantes e agressivas tendo uma forte influência competitiva sobre as outras espécies. Especialmente comuns em áreas abertas.
- 2) Subordinadas associadas: espécies do gênero *Camponotus* que coexistem com as dominantes por apresentarem tamanho do corpo relativamente maior, período de atividade deslocado do das anteriores e comportamentos de submissão quando confrontadas com *Iridomyrmex*.
- 3) “Especialistas de clima”: espécies adaptadas a ambientes quentes ou frios. Especializações fisiológicas, morfológicas e comportamentais relacionadas à sua ecologia de forrageamento que reduzem a interação com *Iridomyrmex*.

- 4) Espécies crípticas: principalmente pequenas Myrmicinae e Ponerinae que forrageiam e nidificam predominantemente dentro do solo e serapilheira, não interagindo com outras formigas fora destes habitats.
- 5) Oportunistas: espécies não especializadas e pouco competitivas, freqüentemente abundantes em habitats perturbados.
- 6) Mirmicíneas generalistas: principalmente espécies dos gêneros cosmopolitas *Monomorium*, *Pheidole* e *Crematogaster*, não especialistas mas altamente competitivas.
- 7) Forrageadoras solitárias de tamanho relativamente grande: principalmente espécies de Ponerinae predadoras de artrópodes, de baixa densidade populacional sugerindo que não interagem fortemente com outras formigas.

A teoria dos grupos funcionais em comunidades de formigas australianas prevê que como resultado de perturbações, a dominância de Dolichoderinae (principalmente *Iridomyrmex* spp.) seja enfraquecida, permitindo que espécies oportunistas com menores requisitos ecológicos aumentem em abundância. Gêneros oportunistas colonizadores tipicamente caracterizam sítios altamente perturbados que antes eram dominados por espécies abundantes e agressivas de Dolichoderinae (Read, 1996).

A aplicação do modelo de grupos funcionais tem se mostrado valioso como bioindicador de condições ambientais, por comparação, em várias localidades da Austrália. Foram usados com sucesso em áreas perturbadas que estavam sendo recuperadas após mineração na Austrália (Majer, 1982, 1983, 1985, 1997; Andersen, 1993, 1997a; Jackson e Fox, 1996; Read, 1996) e também no Brasil (Oliveira e Della-Lucia, 1992; Majer, 1992; 1996). Outros estudos em diferentes regiões do mundo utilizaram formigas em programas de monitoramento de áreas florestais (Koen e Breytenbach, 1988; Bustos e Ulloa-Chacón, 1996-1997; Vanderwoude et al., 1997; Lawton et al., 1998), em rela-

ção ao fogo (Andersen e Yen, 1985; Sáiz e Carvajal, 1990; Andersen, 1991b; MacKay et al., 1991; York, 1994; Hosking e Turner, 1997), mudanças nas condições do ecossistema como resultado de gramíneas invasoras (Miller e New, 1997), efeito de perturbações causado por rodovias (Samways et al., 1997) e de diferentes métodos de uso do solo (Majer, 1977; Gadagkar, et al. 1993; Perfecto e Snelling, 1995; Bestelmeyer e Wiens, 1996).

A classificação das comunidades de formigas Australianas em grupos funcionais tem permitido a identificação de padrões continentais de estrutura das comunidades de formigas (Andersen, 1995a; Andersen e Clay, 1996; Andersen e Spain, 1996). Tal classificação também ajudou a identificar os três principais fatores que modulam a estrutura das comunidades de formigas em escala continental: stress – fator limitando a produtividade, perturbação – fator que resulta na redução da biomassa, e competição – integrando as funções de fatores bióticos e abióticos (Andersen, 1995a)

Formigas como táxon indicador da biodiversidade de outros invertebrados terrestres

Em relação ao uso de formigas como “indicadoras da biodiversidade” de outros táxons de invertebrados, os poucos resultados até o momento parecem contraditórios. Geralmente os estudos de indicadores envolvendo invertebrados falham na tentativa de selecionar objetivamente determinadas espécies (Oliver e Beattie, 1996; Crozier, 1997; McGeoch e Chown, 1998).

Cranston e Trueman (1997) e Trueman e Cranston (1997) avaliaram vários grupos de artrópodes (incluindo Formicidae) em estimativas de riqueza em 5 áreas florestadas e os dados indicam que o sítio apontado como mais diverso depende inteiramente do táxon escolhido e que nenhum dos táxons avaliados pode ser usado como indicador universal.

Lawton et al. (1998) também concluem em um estudo semelhante que nenhum dos grupos avaliados é um bom indicador da riqueza de espécies para outros grupos. Segundo estes autores, o monitoramento de mudanças na biodiversidade como resultado de modificações e destruição de florestas requer o estudo de uma ampla variedade de táxons que reúnam espécies com ecologias e modos de vida muito diferentes.

Weaver (1995) avaliou 8 grupos de artrópodes de scrapilheira e padrões consistentes de correlação foram raros. Além disso, a riqueza de espécies variou com a escala de observação para todos os táxons (exceto larvas de Diptera). Oliver e Beattie (1996) avaliando três táxons (Araneae, Coleoptera e Formicidae), também não encontraram correlações significantes. Os dados destes e de outros trabalhos têm levado alguns autores a sugerir que é necessário estimar ou monitorar a riqueza de vários táxons (Oliver e Beattie, 1996).

Para Prendergast et al. (1993) todos os trabalhos iniciais sobre esta questão sugerem que os padrões de diversidade variam amplamente entre os táxons e que portanto, depender simplesmente de estudos sobre alguns poucos grupos não assegura o conhecimento sobre os outros.

Entretanto, Majer (1983), estudando sucessão de comunidades de formigas em áreas que estavam sendo recuperadas após mineração, assume que variações na diversidade de formigas correlacionam-se intimamente com a diversidade de outros grupos de invertebrados. Os dados revelados demonstram que a riqueza de espécies de formigas é potencialmente útil como bioindicador da abundância e riqueza de outros táxons de invertebrados.

O trabalho de Oliver e Beattie (1996) também revelou um dado positivo. Os dados indicaram que comunidades de formigas podem ser usadas como indicadoras da beta diversidade de

Coleoptera e Araneae. Portanto, a conservação de amostras representativas de comunidades de formigas pode preservar uma amostra representativa desses dois outros grupos de artrópodes. Como conclusão geral, sugerem que a informação sobre a fauna de formigas somada à de determinadas famílias de Coleoptera pode ser útil em avaliações da biodiversidade de invertebrados em geral.

Segundo Crozier (1997) a escala do estudo é crucial e diferentes escalas podem explicar conclusões contraditórias encontradas nesses estudos.

Recentemente comunidades de formigas vêm sendo descritas como uma forma de avaliação rápida da biodiversidade (Oliver, 1993; Oliver e Beattie, 1996; Trueman e Cranston, 1997). Devido à relativa facilidade em separar formigas em morfo-espécies, tais estudos podem ser especialmente úteis em programas de monitoramento e avaliação da biodiversidade de invertebrados terrestres em geral.

Andersen (1995b) tem explorado, na Austrália, a possibilidade de usar o número de gêneros de formigas como indicadores de diversidade. A identificação de gêneros indicadores poderia simplificar estudos de avaliação das comunidades de formigas. Resultados mais recentes obtidos pelo mesmo autor indicam que a escolha de gêneros-alvo pode ser uma opção ainda melhor na avaliação da biodiversidade da fauna de formigas (Andersen, 1997a).

No Brasil, foram feitos esforços usando espécies de *Pheidole* como um grupo indicador para estudos comparativos de diversidade entre áreas (Benson e Brandão, 1987; Moutinho, 1991; Fowler, 1993).

Para Cranston e Trueman (1997) a idéia que existam certos grupos taxonômicos que possam ser usados como indicadores da biodiversidade em geral é atraente. De fato, podemos esperar que

existam estes táxons se os fatores históricos que levaram a padrões diferenciais de sobrevivência e extinção entre áreas aconteceram através de um amplo espectro, atingindo táxons não relacionados. O fato de não ter sido possível ainda identificar grupos indicadores não quer dizer que tais grupos não possam ser encontrados. Sem dúvida, alguns padrões de correlação existem e eles podem ser muito úteis em avaliações da biodiversidade, ao menos em alguns ecossistemas; estudos adicionais são necessários.

Agradecimentos

Agradecemos a Dra. Eliana Canello pela leitura e valiosas sugestões na primeira versão do manuscrito e a Silvana Vieira pela revisão do texto. Rogério R. Silva foi financiado pelo CNPq (proc. 138813/96-5).

Referências bibliográficas

- Adis, J. 1988. On the abundance and density of terrestrial arthropods in Central Amazonian dryland forests. *J. Trop. Ecol.*, **4**: 19-24.
- Andersen, A. N. 1991a. Parallels between ants and plants: implications for community ecology. *In*: Huxley, C.R e Cutler, D.E (eds.). **Ant-Plant interactions**. Oxford University Press, Oxford, p. 539-558.
- Andersen, A. N. 1991b. Responses of ground-foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica*, **23** (4b): 575-585.
- Andersen, A. N. 1992. Regulation of "momentary" diversity by dominant species in exceptionally rich ant communities of the Australian seasonal tropics. *Amer. Nat.*, **140** (3): 401-420.

- Andersen, A. N. 1993. Ants as indicators of restoration success at a uranium mine in tropical Australia. **Restoration Ecol.**, **1**: 156-167.
- Andersen, A. N. 1995a. A classification of Australian ant communities, based on functional groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. **J. Biogeogr.**, **22**: 15-29.
- Andersen, A. N. 1995b. Measuring more of biodiversity: genus richness as a surrogate for species richness in Australian ant faunas. **Biol. Conserv.**, **73**: 39-43.
- Andersen, A. N. 1997a. Measuring invertebrate biodiversity: surrogates of ant species richness in the Australian seasonal tropics. **Mem. Mus. Vic.**, **56** (2): 355-359.
- Andersen, A. N. 1997b. Functional groups and patterns of organization in North American ant communities: a comparison with Australia. **J. Biogeogr.**, **24**: 433-460.
- Andersen, A. N.; Clay, R.E. 1996. The ant fauna of Danggali conservation park in semi-arid south Australia: a comparison with Wyperfeld (Vic.) and Cape Arid (W.A.) national parks. **Aust. J. Entomol.**, **35**: 289-295.
- Andersen, A. N.; Spain, A.V. 1996. The ant fauna of the Bowen Basin, in the semi-arid tropics of Central Queensland (Hymenoptera: Formicidae). **Aust. J. Entomol.**, **35**: 213-221.
- Andersen, A. N.; Yen, A.L. 1985. Immediate effects of fire on ants in the semi-arid mallee region of north-western Victoria. **Aust. J. Ecol.**, **10**: 25-30.
- Benson, W. W.; Brandão, C.R.F. 1987. *Pheidole* diversity in the humid tropics: a survey from Serra dos Carajas, Para, Brazil. *In*: Eder, J.; Rembold, H. (eds.). **Chemistry and biology of social insects**. Verlag J. Peperny, München, p. 593-595.

- Benson, W. W.; Harada, A. Y. 1988. Local diversity of tropical and temperate ant faunas (Hymenoptera, Formicidae). *Acta Amaz.*, **18** (3-4): 275-289.
- Bestelmeyer, B. T.; Wiens, J. A. 1996. The effects of land use on the structure of ground-foraging ant communities in the Argentine chaco. *Ecol. Appl.*, **6** (4): 1225-1240.
- Bustos, J. H.; Ulloa-Chacón, P. 1996-1997. Mirmecofauna y perturbación en un bosque de niebla neotropical (Reserva Natural Hato Viejo, Valle del Cauca, Colombia). *Rev. Biol. Trop.*, **44**(3)/**45**(1): 259-266
- Colwell, R. K.; Coddington, J. A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Phil. Transl. R. Soc. London B*, **345**: 101-118.
- Cranston, P. S.; Trueman, J.W.H. 1997. "Indicator" taxa in invertebrate biodiversity assessment. *Mem. Mus. Vic.*, **56** (2): 267-274.
- Crozier, R. H. 1997. Preserving the information content of species: genetic diversity, phylogeny, and conservation worth. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **28**: 243-268.
- Davidson, D. W. 1997. The role of resources imbalances in the evolutionary ecology of tropical arboreal ants. *Biol. J. Linn. Soc.*, **61**: 153-181.
- Dufrêne, M.; Legendre, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.*, **6** (3): 345-366.
- Ehrlich, P. R.; Wilson, E.O. 1991. Biodiversity studies: science and policy. *Science*, **253**: 758-762.
- Erwin, T. L. 1983. Beetles and other insects of tropical forest canopies at Manaus, Brazil, sampled by insecticidal fogging. *In*: Sutton, S.L.; Whitmore, T.C.; Chadwick, A.C. (eds.). *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*, Blackwell, Oxford, p. 59-75.

- Erwin, T. L. 1997. Biodiversity at its utmost: tropical forest beetles. *In: Reaka-Kudla, M.L.; Wilson, D.E.; Wilson, E.O. (eds.). II. Understating and Protecting our Biological Resources.* Joseph Henry Press, Washington, D.C., p. 27-39.
- Fisher, B. L. 1996. Ant community patterns along a elevational gradient in Réserve Naturelle Intégrale d' Andringitra, Madagascar. *Fieldiana. Zool.* **85**: 93-108.
- Fittkau, E. J.; Klinge, H. 1973. On biomass and trophic structure of the Central Amazonian rain forest ecosystem. *Biotropica*, **5**: 2-14.
- Fowler, H. G. 1993. Relative representation of *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae) in local ground ant assemblages of the Americas. *An. Biol.*, **19**: 29-37.
- Gadagkar, R.; Nair, P.; Chandrashekara, K; Bhat, D.M. 1993. Ant species richness and diversity in some selected localities in Wstern Ghats, India. *Hexapoda*, **5** (2): 79-94.
- Giller, P. S. 1996. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest. *Biodiv. Cons.*, **5**: 135-168.
- Hölldobler, B.; Wilson, E.O. 1990. *The ants.* Cambridge, Belknap/Harvard University Press, 732 pp.
- Hosking, A. C.; Turner, V. 1997. Ants, disturbance and regeneration in eucalypt forests. *Mem. Mus. Vic.*, **56** (2): 655-657.
- Jackson, G. P.; Fox, B.J. 1996. Comparison of regeneration following burning, clearing ou mineral sand mining at Tomago, NSW: Succession of ant assemblages in a coastal forest. *Aust. J. Ecol.*, **21**: 200-216.
- Koen, J. H.; Breytenbach, W. 1988. Ant species richness of fynbos and forest ecosystems in the southern Cape. *S. Afr. Tydskr. Dierk.*, **23** (3): 184-188.
- Lawton, J. H.; Bignell, D.E.; Bolton, B.; Bloemers, G.F.; Eggleton, P.; Hammond, P.M.; Hodda, M.; Holt, R.D.;

- Larsen, T. B.; Mawdsley, N. A.; Stork, N. E.; Srivastava, D. S.; Watt, A. D. 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. **Nature**, **391**: 72-76.
- Longino, J. T.; Colwell, R.K. 1997. Biodiversity assessment using structured inventory: capturing the ant fauna of a tropical rain forest. **Ecol. Appl.**, **7** (4): 1263-1277.
- MacKay, W. P.; Rebeles, A.M.; Arredondo, H.C.B.; Rodríguez, A.D.R.; González, D.A.; Vinson, S.B. 1991. Impact of the slashing and burning of a tropical rain forest on the native ant fauna (Hymenoptera:Formicidae). **Sociobiology**, **18** (3): 257-268.
- Majer, J. D. 1977. Preliminary survey of the epigaeic invertebrate fauna with particular reference to ants, in areas of different land use at Dwellingup, Western Australia. **For. Ecol. Manag.**, **1**: 327-334.
- Majer, J. D. 1982. Recolonization by ants and other invertebrates in rehabilitated mineral sand mines near Eneabla, Western Australia. **Reclamation Revegetation Res.**, **1**: 63-81.
- Majer, J. D. 1983. Ants: bio-indicators of Minesite Rehabilitation, Land Use, and Land Conservation. **Environ. Manag.**, **7** (4): 375-383.
- Majer, J. D. 1985. Recolonization by ants of rehabilitated mineral sand mines on North Stradbroke Island, Queensland, with particular reference to seed removal. **Aust. J. Ecol.**, **10**: 31-48.
- Majer, J. D. 1990. The abundance and diversity of arboreal ants in Northern Australia. **Biotropica**, **22**(2): 191-199.
- Majer, J. D. 1992. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines of Poços de Caldas, Brazil. **J. Trop Ecol.**, **8**: 97-108.
- Majer, J. D. 1996. Ant recolonization of rehabilitated bauxite mines at Trombetas, Pará, Brazil. **J. Trop Ecol.**, **12**: 257-273.

- Majer, J. D. 1997. The use of pitfall traps for sampling ants – a critique. **Mem. Mus. Vic.**, **56** (2): 323-329.
- May, R. M. 1988. How many species are there on Earth? **Science**, **241**: 1441-1449.
- May, R. M. 1989. An inordinate fondness for ants. **Nature**, **341**: 386-387.
- May, R. M. 1990. How many species? **Phil. Trans. R. Soc. L. B**, **330**: 293-304.
- McGeoch, M. A.; Chown S.L. 1998. Scaling up the value of bioindicators. **TREE**, **13** (2): 46-47.
- Miller, L. J.; New, T.R. 1997. Mount piper grasslands: pitfall trapping of ants and interpretations of habitat variability. **Mem. Mus. Vic.**, **56** (2): 377-381.
- Moutinho, P. R. S. 1991. **A relação entre clima e a composição e diversidade de faunas locais de formigas do gênero *Pheidole* Westwood (Hymenoptera:Formicidae) em áreas florestadas.** Dissertação de mestrado, Campinas, São Paulo, Brasil, 97 pp.
- New, T. R. 1993. Angels on a pin: dimensions of the crisis in invertebrate conservation. **Amer. Zool.**, **33**: 623-630.
- Oliveira, M. A.; Della-Lucia, T.M.C. 1992. Levantamento de Formicidae de chão em áreas mineradas sob recuperação florestal de Porto Trombetas, Pará. **Bolm. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Zool.**, **8** (2): 375-384.
- Oliver, I.; Beattie, A.J. 1996. Designing a cost-effective invertebrate survey: a test of methods for rapid assessment of biodiversity. **Ecol. Appl.**, **6** (2): 594-607.
- Perfecto, I.; Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: ants in coffee plantations. **Ecol. Appl.**, **5**(4): 1084-1097.
- Prendergast, J. R.; Quinn, R. M.; Lawton, J. H., Eversham; B. C.; Gibbons, D.W. 1993. Rare species, the coincidence of

- diversity hotspots and conservation strategies. **Nature**, **365**: 335-337.
- Read, J. L. 1996. Use of ants to monitor environmental impacts of salt spray from a mine in arid Australia. **Biodiv. Conserv.**, **5**: 1533-1543.
- Rodríguez, J. P.; Pearson, D.L.; Barrera, R.R. 1998. A test for the adequacy of bioindicator taxa: are tiger beetles (Coleoptera:Cicindelidae) appropriate indicators for monitoring the degradation of tropical forests in Venezuela? **Biol. Conserv.**, **83** (1): 69-76.
- Sáiz, F.; Carvajal, C. 1990. Incendios forestales en el Parque Nacional la Campana, sector ocoa, V region, Chile. V. Blattodea, Formicidae y Mutillidae. Impacto y recuperacion. **An. Mus. Hist. Nat.**, **21**: 51-61.
- Samways, M. J.; Osborn, R.; Carliel, F. 1997. Effect of highway on ant (Hymenoptera: Formicidae) species composition and abundance, with a recommendation for roadside verge width. **Biodiv. Conserv.**, **6**: 903-913.
- Stork, N. E. 1988. Insect diversity: facts, fiction and speculation. **Biol. J. Linn. Soc.**, **35**: 321-337.
- Stork, N. E. 1991. The composition of the arthropod fauna of Bornean lowland rain forest trees. **J. Trop. Ecol.**, **7**: 161-180.
- Stork, N. E. 1997. Measuring global biodiversity and its decline. *In*: Reaka-Kudla, M.L; Wilson, D.E.; Wilson, E.O. (eds.). **II. Understating and Protecting our Biological Resources**. Joseph Henry Press, Washington, D.C., p. 41-68.
- Tobin, J. E. 1991. A neotropical rain forest canopy ant community: some ecological considerations. *In*: Huxley, C.R. e Cutler, D.F. (eds.). **Ant-plant interactions**. Oxford University Press, Oxford, p. 536-538.
- Tobin, J. E. 1994. Ants as primary consumers: diet and abundance in the Formicidae. *In*: Hunt, J. H.; Nalepa, C. A (eds.).

- Nourishment & Evolution in Insect Societies.** Westview Press/Orford & IBH Publishing Co., p. 279-307.
- Tobin, J. E. 1995. Ecology and diversity of tropical forest canopy ants. *In*: Mowman, M.D.; Nadkarni, N. M. (eds.). **Forest Canopies.** Academic Press, California, p. 129-147.
- Trueman, J. W. H.; Cranston, P.S. 1997. Prospects for the rapid assessment of terrestrial invertebrate biodiversity. **Mem. Mus. Vic., 56 (2): 349-354.**
- Vanderwoude, C.; Andersen, A.N.; House, A. P. N. 1997. Ant communities as bio-indicators in relation to fire management of spotted gum (*Eucalyptus maculata* Hook.) forests in south-east Queensland. **Mem. Mus. Vic., 56 (2): 671-675.**
- Weaver, J. C. 1995. Indicator species and scale of observation. **Conserv. Biol., 9 (4): 939-942.**
- Wilson, E. O. 1992. The effects of complex social life on evolution and biodiversity. **Oikos, 63: 13-18.**
- Wheeler, Q. D. 1990. Insect diversity and cladistic constraints. **Ann. Entomol. Soc. Am., 83 (3): 1031-1047.**
- Wheeler, Q. D. 1995. Systematics, the scientific basis for inventories of biodiversity. **Biodiv. Conserv., 4: 476-489.**
- Whitford, W. G. 1996. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. **Biodiv. Conserv., 5: 185-195.**
- Wilson, E. O. 1992. The effects of complex social life on evolution and biodiversity. **Oikos, 63: 13-18.**
- York, A. 1994. The long-term effects of fire on forest ant communities: management implications for the conservation of biodiversity. **Mem. Qld. Mus., 36 (1): 231-239.**