

MACROFAUNA EDÁFICA EM ESTÁDIOS SUCESSIONAIS DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL E PASTAGEM MISTA EM PINHEIRAL (RJ)⁽¹⁾

Carlos Eduardo Gabriel Menezes⁽²⁾, Maria Elizabeth Fernandes Correia⁽³⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽⁴⁾, Itaynara Batista⁽⁵⁾, Khalil de Menezes Rodrigues⁽⁵⁾, Wanderson Henrique Couto⁽⁵⁾, Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽⁴⁾ & Ísis Pinto de Oliveira⁽⁶⁾

RESUMO

Entre os diferentes tipos de organismos da macrofauna do solo, distribuídos em diversos tipos de habitats, com variados hábitos alimentares e ciclos de vida, alguns são capazes de responder rapidamente às alterações ambientais e, por isso, considerados bons indicadores do funcionamento dos ecossistemas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos seguintes estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual Submontana do domínio ecológico da Mata Atlântica: floresta secundária estágio inicial (FSEI), floresta secundária estágio médio (FSEM), floresta secundária estágio avançado (FSEA) e uma área de pasto misto manejado (PMM) sobre a densidade, diversidade e composição da comunidade da macrofauna edáfica em duas épocas do ano, no município de Pinheiral (RJ). Para amostragem da macrofauna, foram retiradas oito amostras da serapilheira e da camada superficial (0-10 cm) do solo pelo método recomendado pelo programa *Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)*, com adaptações. Predominaram Isoptera, Formicidae e Oligochaeta em FSEI, FSEM e FSEA e Formicidae e Oligochaeta em PMM. Não houve diferença significativa na densidade da macrofauna edáfica entre as áreas. Os maiores valores dos estimadores de diversidade utilizados (equabilidade de Pielou, riqueza total e média) foram encontrados em FSEA. Os valores de riqueza total mostraram aumento gradual de

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (CPGA-CS) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Financiada com recursos da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). Recebido para publicação em setembro de 2008 e aprovado em setembro de 2009.

⁽²⁾ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Rio de Janeiro, Campus Nilo Peçanha, Pinheiral, CEP: 27197-000 Pinheiral (RJ). E-mail: ceduardogm@uol.com.br

⁽³⁾ Bióloga, Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia. BR 465, km 7, CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: ecorreia@cnpab.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado II do Departamento de Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq e da FAPERJ. E-mails: gervasio@ufrj.br; lanjos@ufrj.br

⁽⁵⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestrando do CPGA-CS da UFRRJ. Bolsistas do CNPq. E-mails: itaynarabatista@hotmail.com; agrokhalil@yahoo.com.br; wchouto@hotmail.com

⁽⁶⁾ Estudante de Agronomia, UFRRJ. Bolsista do CNPq. E-mail: isisoliver1@yahoo.com.br

acordo com o estágio de sucessão, desde PMM até FSEI. Constatou-se maior número de indivíduos no solo do que na serapilheira em todas as áreas de floresta, nas duas épocas. Pela análise de componentes principais (ACP) realizada para os períodos seco e chuvoso, foi possível identificar maiores diferenças na composição das comunidades entre os estádios sucessionais para o período chuvoso. Nesta época, os estádios FSEM e FSEA estiveram associados a uma maior diversidade de invertebrados saprófagos e predadores do que PMM e FSEI, demonstrando influência do processo sucessional sobre a comunidade da macrofauna do solo.

Termos de indexação: bioindicadores, Mata Atlântica, sucessão vegetal, qualidade do solo.

SUMMARY: SOIL MACROFAUNA IN THREE SUCCESSION STAGES OF A SEASONAL SEMIDECIDUOUS FOREST AND A MIXED PASTURE IN PINHEIRAL - RIO DE JANEIRO STATE

Among a number of organisms that constitute soil macrofauna communities, distributed in different types of habitats, with varied foraging habits and life cycles, some are capable of a rapid response to environmental changes. These organisms are considered efficient indicators of the well-functioning of ecosystems. The main objective of this study was to evaluate the effects of the following succession stages of a seasonal semideciduous submontane forest of the Atlantic Forest domain: Secondary Forest Initial Stage - SFIS, Medium Stage - SFMS, Advanced Stage - SFAS and a Mixed and Managed Pasture - MMP on the density, diversity and composition of the edaphic macrofauna community, in two seasons, in the Pinheiral county (Rio de Janeiro state, southeastern Brazil). The macrofauna assessment was carried out by collecting eight samples of litter and superficial soil layer (0–10 cm) using the method recommended by "Tropical Soil Biology Fertility Programme" (TSBF), with modifications. The predominant taxonomic groups were Isoptera, Formicidae and Oligochaeta in SFIS, SFMS and SFAE and Formicidae and Oligochaeta in MMP. No significant difference of edaphic macrofauna density between the areas was observed. The highest diversity estimator values: Pielou's evenness index, total and average richness were observed in SFAE. The total richness values increase gradually from MMP towards SFAE. A higher number of individuals colonized soil in relation to the litter microhabitat in all forest areas, in the two sampling seasons. The principal component analysis (PCA) performed separately for the dry and wet season indicated greater differences of the macrofauna communities between succession stages in the wet season. In this season, the stages SFMS and SFAE were associated to a higher saprophagous and predator diversity than in MMP and SFIS. These results demonstrate the influence of the succession stage on the soil macrofauna community.

Index terms: bioindicators, Atlantic Forest, vegetation succession, soil quality.

INTRODUÇÃO

No Estado do Rio de Janeiro, estima-se que a Mata Atlântica originalmente cobria em torno de 98 % de seu território, considerando-se suas diferentes formações florestais e ecossistemas associados, como manguezais, restingas e campos de altitudes (IEF, 2007). Atualmente a cobertura original restringe-se a menos de 20 %, encontrando-se bastante fragmentada e desconectada, representada em sua quase totalidade por pequenas manchas florestais dispersas, em áreas de difícil acesso, isoladas e impactadas, circundadas por extensas matrizes formadas de pastos, capoeiras, monoculturas e áreas urbanas (Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, 2002).

Os efeitos sobre a biodiversidade têm sido o principal foco das investigações científicas relativas à fragmentação florestal, principalmente no que diz respeito à perda de qualidade dos habitats e suas consequências ecológicas e evolutivas (Sih et al., 2000). Para a Mata Atlântica, alguns trabalhos já evidenciaram as diferenças de diversidade, composição de espécies e o impacto dos efeitos de borda sobre diferentes componentes do ecossistema decorrentes do processo de fragmentação (São Bernardo & Galetti, 2004; Bianconi et al., 2006; Oliveira Filho et al., 2007). Embora ao menos no plano teórico seja possível traçar paralelos entre a perda de biodiversidade e importantes processos do ecossistema, como, por exemplo, a polinização e a decomposição, o tipo de informação

existente na literatura não permite estabelecer essas relações concretamente (Lewis, 2009).

O ambiente do solo, embora seja o local por excelência de ocorrência dos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, que em última análise determinam o crescimento e desenvolvimento vegetal e regulam a velocidade do processo de sucessão, tem sido pouco considerado em estudos de fragmentação florestal. No entanto, já se observou que a fragmentação de ecossistemas pode modificar os padrões de diversidade da fauna do solo em escala de habitat, ao alterar a quantidade e qualidade da serapilheira (Rantalainen et al., 2004). Na escala da paisagem, o mosaico de tipos de vegetação ou estádios sucessionais também tem efeitos sobre o padrão de diversidade e composição da comunidade edáfica (Chust et al., 2003).

A macrofauna do solo tem sido apontada como um bom indicador da qualidade do solo, por participar ativamente nas interações que se estabelecem entre os processos químicos, físicos e biológicos deste, tendo um importante papel nos serviços ecossistêmicos mediados pelo solo (Lavelle et al., 2006). As atividades desses organismos, escavação e, ou, ingestão e transporte de material mineral e orgânico no solo, conduzem à criação de estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais), as quais influenciam na agregação do solo, nas propriedades hidráulicas, na dinâmica da matéria orgânica e na composição, abundância e diversidade de outros organismos do solo (Lavelle & Spain, 2001). Pela diversidade e magnitude das funções que realizam no ambiente do solo, alguns desses macroinvertebrados têm sido vistos não só como indicadores, mas também como agentes da restauração de ambientes degradados (Snyder & Hendrix, 2008).

Esses invertebrados mostram-se sensíveis às modificações geradas pela criação de agroecossistemas; a magnitude do impacto antrópico sobre a macrofauna depende da estrutura do ecossistema original, bem como do sistema agrícola e do manejo a serem adotados (Decaëns et al., 2004). Dessa forma, a macrofauna de solos tropicais parece ser um bom indicador do funcionamento dos ecossistemas. A quantificação da fauna do solo em termos de quantidade, diversidade ou atividade pode contribuir para a avaliação das condições de sustentabilidade de um sistema qualquer, seja ele de produção, de recuperação de uma área degradada, ou até mesmo no caso de um sistema natural (Linden et al., 1994).

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito dos estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual Submontana do domínio ecológico da Mata Atlântica: Floresta Secundária Estádio Inicial – FSEI, Floresta Secundária Estádio Médio – FSEM, Floresta Secundária Estádio Avançado – FSEA e uma área de Pasto Misto Manejado – PMM sobre a densidade, diversidade e composição da comunidade

da macrofauna edáfica em duas épocas do ano, no município de Pinheiral (RJ).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Pinheiral, região do Médio Paraíba Fluminense, na sub-bacia do ribeirão Cachimbal, que compõe a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, localizada entre as latitudes de 22° 29' 03" e 22° 35' 27" S e entre as longitudes de 43° 54' 49" W e 44° 04' 05" W. O clima da região é classificado como Cwa – temperado de inverno seco e verão chuvoso (Köppen, 1938) (Figura 1). As áreas selecionadas ocupam a posição de terço superior de encosta, sendo os solos delas classificados como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico.

Foram utilizadas áreas de Floresta Estacional Semidecidual Submontana do domínio ecológico da Mata Atlântica nos seguintes estádios sucessionais: Floresta Secundária Estádio Inicial (FSEI), Floresta Secundária Estádio Médio (FSEM), Floresta Secundária Estádio Avançado (FSEA) e uma área de Pasto Misto Manejado (PMM).

Foram utilizadas as áreas: (a) Floresta Secundária Estádio Inicial (FSEI): cobertura florestal pouco densa, característica de estádio inicial de sucessão (CONAMA, 1994), que teve origem por utilização da área até 1985 como pastagem espontânea, manejada por roçadas anuais e queimadas eventuais, quando foi ocupada por pequenos agricultores, que apenas a cercaram, permitindo assim a regeneração florestal; (b) Floresta Secundária Estádio Médio (FSEM): em área contígua e de mesma cota que FSEI e que, até 1985, se encontrava sob cobertura de pasto espontâneo com formação inicial de capoeira, sendo mantida protegida até os dias atuais, o que permitiu o desenvolvimento sucessional típico do estádio médio (CONAMA, 1994),

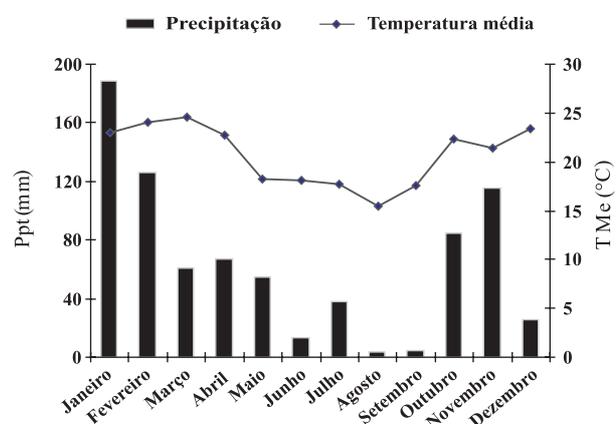


Figura 1. Temperatura média e precipitação pluvial do ano de 2007 do município de Pinheiral-RJ. Obtidas na estação meteorológica do Colégio Agrícola Nilo Peçanha – Pinheiral - RJ.

caracterizado por uma cobertura arbustivo/arbórea mais fechada que a do estágio inicial; (c) Floresta Secundária Estádio Avançado (FSEA): cobertura florestal densa e mais bem estruturada do que as anteriores, o que permite enquadrá-la neste estágio sucessional (CONAMA, 1994) – provavelmente, a sucessão teve início após a decadência da cafeicultura na região e constitui o fragmento mais antigo da porção inferior da sub-bacia; e (d) Pasto Misto Manejado (PMM): explorada com pastagem espontânea desde a década de 1950, foi formada na década de 1990 com *Brachiaria decumbens* e, a partir daí, mantida por meio de roçadas anuais e com a prática de queimada coibida – com o decorrer dos anos ressurgiu nessa paisagem a gramínea conhecida com grama-batatais (*Paspalum notatum*), que passou a coexistir com a braquiária introduzida.

Para avaliação da macrofauna edáfica na serapilheira e na camada de 0–10 cm do solo foi utilizado o método de monólitos recomendado pelo programa *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), descrito por Anderson & Ingram (1993), com algumas adaptações. Foram coletadas oito amostras com área de 25 x 25 cm da serapilheira depositada e de terra a uma profundidade de 10 cm, abrindo-se minitrincheiras de 20 cm casualizadas dentro de cada unidade de estudo (UE). Para verificação de uma possível variação sazonal na estrutura da comunidade da macrofauna, foram realizadas duas amostragens: uma no período quente e chuvoso (março de 2007) e outra no período frio e seco (agosto de 2007) da região em estudo.

O material coletado (solo e serapilheira) foi imediatamente submetido à separação da macrofauna nele contida, com a utilização de uma bandeja, de onde os invertebrados visíveis a “olho nu” foram coletados manualmente e acondicionados em frascos identificados, contendo álcool 70 % para fixação. Os organismos foram levados para o laboratório, onde,

por meio de exame com o auxílio de lupa binocular, foram separados e identificados no nível de grandes grupos taxonômicos, de maneira geral em ordens, de acordo com as descrições fornecidas por Dindal (1990).

Posteriormente, foram feitas comparações das comunidades das diferentes áreas mediante a utilização da densidade (número de indivíduos m⁻²), da riqueza total (número de grupos taxonômicos nas diferentes áreas), da riqueza média (número médio de grupos taxonômicos presentes em cada ponto amostral) e do índice de equabilidade de Pielou (H logS⁻¹). De acordo com Melo (2008), a riqueza e a equabilidade avaliam aspectos diferentes da diversidade e apresentam um bom padrão de resposta para comparações de diferentes situações ambientais.

Os dados de densidade total e dos grupos taxonômicos atenderam às principais pressuposições das análises paramétricas, como normalidade e homogeneidade, sendo então feitas comparações de médias das áreas por meio do teste t de Bonferroni a 5 %. Foi realizada também uma análise de componentes principais, com a utilização do pacote estatístico Canoco 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As densidades dos invertebrados no compartimento serapilheira-solo variaram de 432 indivíduos m⁻² (ind m⁻²) no Pasto Misto Manejado – PMM, na época seca, a 2.354 ind m⁻² na Floresta Secundária Estádio Avançado – FSEA, na época chuvosa. Não foi observada diferença significativa na densidade global da macrofauna em nenhuma das comparações testadas, ou seja, entre áreas e entre épocas (Quadro 1). Considerando-se apenas os sistemas florestais, as densidades variaram de 876 a

Quadro 1. Índices ecológicos⁽¹⁾ da macrofauna edáfica nas diferentes unidades de estudo (UEs)⁽²⁾ para épocas chuvosa e seca

UEs	Ind. m ⁻² ± Erro-padrão	Riqueza média	Riqueza total	Índice de equabilidade
Época chuvosa				
FSEI	1968 ± 528	7,00 bA	16	0,48
FSEM	1892 ± 709	9,38 aA	18	0,46
FSEA	2354 ± 313	9,63 aA	20	0,57
PMM	1310 ± 464	6,13 bA	13	0,61
Época seca				
FSEI	1514 ± 662	5,75 aA	16	0,30
FSEM	876 ± 397	6,25 aB	18	0,52
FSEA	1958 ± 937	8,25 aA	20	0,40
PMM	432 ± 98	6,13 a A	13	0,75

⁽¹⁾ Médias de oito repetições. Valores seguidos da mesma letra minúscula, para comparação entre UEs, e maiúscula, para comparação entre épocas, não diferem pelo teste t de Bonferroni a 5 %. ⁽²⁾ FSEA: floresta secundária estágio avançado; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEI: floresta secundária estágio inicial; PMM: pasto misto manejado.

2.354 ind m⁻². Essa faixa de variação no número de indivíduos da macrofauna é frequentemente observada em áreas de floresta secundária de Mata Atlântica (Aquino et al., 2008). Em geral, as maiores densidades são reflexo de uma maior colonização por formigas e térmitas, que, por seu hábito de vida colonial, tendem a ser amostradas em agregados com elevado número de indivíduos.

Constatou-se grande variabilidade dos valores da densidade da fauna entre os pontos amostrais, o que, embora sendo comum nesse tipo de estudo, mostrou um efeito da sazonalidade. Uma medida dessa heterogeneidade ambiental é obtida indiretamente, pela análise do erro-padrão da média da densidade. Para os sistemas florestais, houve tendência de aumento do erro-padrão na época seca, que em FSEA chegou a representar 48 % da média (Figura 2). No PMM ocorreu o inverso, sendo o erro-padrão proporcionalmente menor na época seca. Esse aumento na variabilidade espacial nos sistemas florestais indica provavelmente uma alteração sazonal na distribuição dos recursos utilizados pela fauna, o que faz com que haja elevada densidade em microssítios mais favoráveis, seja pelo acúmulo de água, de serapilheira ou de ambas. De acordo com Ettema & Wardle (2002), os padrões espaciais da biota do solo em pequenas escalas são estruturados primeiramente pelo crescimento vegetal, refletindo a zona de influência de cada árvore isoladamente.

Essa heterogeneidade na distribuição da macrofauna do solo em estádios mais avançados da sucessão vegetal também foi observada por Yankelevich et al. (2006) em um gradiente sucessional de uma floresta tropical montana no México. Os resultados desse estudo mostraram que o incremento da diversidade vegetal que ocorre ao longo do processo de sucessão secundária promove uma diversidade de ambientes que combinam uma composição particular da serapilheira e da macrofauna do solo, resultando na distribuição heterogênea também das propriedades do solo. Esses autores também afirmam que as perturbações antropogênicas que ocorreram acima do solo promoveram homogeneização na distribuição das propriedades deste e da serapilheira, que em última análise são recursos que estruturam a comunidade da macrofauna do solo.

Em trabalho sobre a dinâmica da serapilheira nas mesmas áreas do presente estudo, Menezes (2008) observou aporte de serapilheira de 6,58, 7,45 e 10,97 Mg ha⁻¹ para FSEI, FSEM e FSEA, respectivamente. Além disso, embora em FSEA tenha sido observada maior proporção de ramos, foi nesta área onde também se observou a maior velocidade de decomposição, cuja meia-vida estimada foi de 108 dias, enquanto para FSEI e FSEM essa estimativa foi de 157 e 182 dias, respectivamente.

Em relação às variáveis de diversidade, observou-se no período chuvoso que PMM e FSEI apresentaram valores significativamente menores de riqueza média,

assim como menor riqueza total de grupos. Os maiores valores de riqueza total e média foram encontrados em FSEA, o que pode ser atribuído ao fato de esse ambiente ser mais bem estruturado, constatado por levantamento florístico (Menezes, 2008), oferecendo, portanto, melhores condições tróficas e de microclima para a atividade da fauna edáfica. Nesse estudo, o autor encontrou sete espécies arbóreas em FSEI, das quais cerca de 50 % eram de pioneiras. Em FSEM foram identificadas dez espécies com 29 % de pioneiras, e em FSEA, 36 espécies com apenas 14 % de pioneiras e 45 % de secundárias tardias. Uma maior diversidade de espécies vegetais é capaz de proporcionar, por meio de um aporte de serapilheira diversificado, mais nichos potenciais e modos de exploração dos recursos, resultando, portanto, em aumento da diversidade (Tews et al., 2004).

Ainda no período chuvoso, o índice de Pielou, que representa a uniformidade da distribuição do número de indivíduos nos diferentes grupos em cada área, também apresentou variações em relação ao estágio sucessional das florestas. Entre os sistemas florestais, o maior valor foi encontrado para FSEA, devido à alta riqueza de grupos e à menor dominância de Formicidae, Isoptera e Oligochaeta. No entanto, os valores mais elevados desse índice foram observados no PMM nas duas épocas avaliadas, embora nesta área tenham sido verificadas as menores riquezas total e média, além da menor densidade. O pressuposto de que uma comunidade que apresenta valor mais elevado para esse índice seja mais biodiversa, por indiretamente apresentar menor dominância de poucas espécies ou grupos, não é necessariamente verdadeiro em todas as situações. Gosselin (2006) afirma que, embora a equabilidade seja um componente da diversidade que foi pensado para ser matematicamente independente

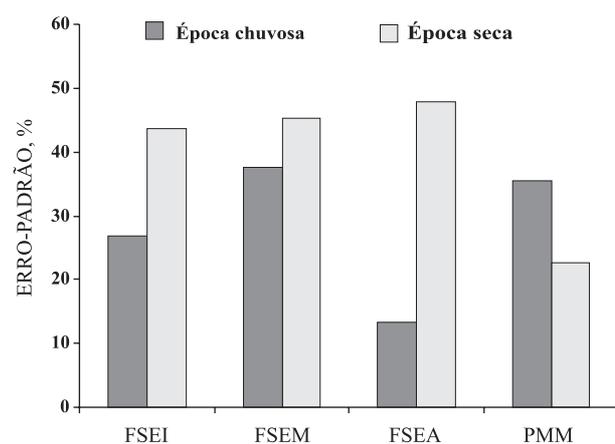


Figura 2. Variação sazonal do erro-padrão da densidade média da macrofauna do solo nas diferentes unidades de estudo (UEs)⁽¹⁾. FSEA: floresta secundária estágio avançado; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEI: floresta secundária estágio inicial; PMM: pasto misto manejado.

da riqueza de espécies, ele não o é de fato. Ao contrário, essa relação é forte, principalmente em situações em que a riqueza seja inferior a 20, variando muitas vezes de maneira inversa à riqueza. No PMM este efeito é observado, já que são encontrados poucos grupos com baixa densidade. Neste tipo de situação, a proporção relativa dos diferentes grupos é semelhante, resultando em alta equabilidade. Em comunidades de ecossistemas mais diversos, por sua vez, a dominância de alguns grupos é freqüente, em função das diferentes estratégias de vida dos organismos da fauna do solo.

O número de diferentes grupos coletados por área, ou seja, a riqueza total, mostrou-se progressivo da área de PMM para os estádios mais avançados de sucessão, elevando-se, portanto, com o provável aumento da diversidade da comunidade vegetal, enfatizando assim a interferência do ambiente na colonização e fixação da macrofauna edáfica. É interessante notar que, apesar de a densidade ter sido influenciada pelo efeito sazonal, quer seja na média ou na sua distribuição espacial, avaliada pelo erro-padrão, esse efeito não foi observado para a riqueza de grupos, em nenhuma das áreas. Esse padrão sugere que as limitações a que a comunidade edáfica é submetida no período da seca não foram capazes de reduzir as populações a níveis que dificultem a sua detecção nas amostragens.

No período seco, os valores de riqueza média, apesar de não apresentarem diferenças significativas, mantiveram a mesma tendência do período chuvoso, com valores mais baixos em FSEI e PMM e aumento gradativo com o decorrer da sucessão florestal. Da mesma forma que para a densidade, foi observada variação sazonal para o erro-padrão da riqueza média. Em todas as áreas avaliadas o erro-padrão foi maior na época seca, e a maior amplitude entre as épocas foi encontrada para FSEM (Figura 2). A equabilidade nesta época foi bastante influenciada pelo aumento da dominância dos insetos sociais Formicidae e Isoptera. Em FSEI, a densidade de Formicidae foi de 1.210 ind m⁻² em um total de 1.514 ind m⁻². Em FSEM e FSEA foi observado o mesmo padrão; nesta última o grupo mais abundante foi Isoptera, enquanto nos demais sistemas florestais foi Formicidae. Dessa forma, considerando-se não só as variáveis da macrofauna do solo, mas também as variáveis de vegetação, entre outras, é possível afirmar que as medidas de diversidade que melhor representaram a evolução do processo sucessional foram a riqueza total e a riqueza média.

Nas figuras 4 e 5 encontra-se a composição relativa da comunidade da macrofauna edáfica nas diferentes unidades de estudo (UEs) para os dois períodos avaliados, chuvoso e seco, respectivamente.

No período chuvoso, nas três UEs sob cobertura florestal nos diferentes estádios sucessionais (FSEI, FSEM e FSEA) verificou-se predominância dos grupos Isoptera, Formicidae e Oligochaeta. Nesse período, a unidade de estudo sob pastagem (PMM) apresentou predomínio dos grupos Formicidae e Oligochaeta.

Outros grupos destacaram-se em algumas UEs específicas, como o observado para o caso de Araneae em FSEA e larvas de Coleoptera em PMM. A presença de expressiva quantidade de Coleoptera, especialmente escarabeídeos coprófagos em PMM, pode ser atribuída à deposição de excrementos de bovinos que são criados na área. Outro destaque pode ser dado ao grupo Isopoda, que só ocorreu nos estádios florestais mais avançados (FSEM e FSEA). Este grupo é essencialmente saprófago e contribui de maneira significativa para a fragmentação da serapilheira e incremento da colonização microbiana, regulando uma etapa fundamental do processo de decomposição (Caseiro et al., 2000).

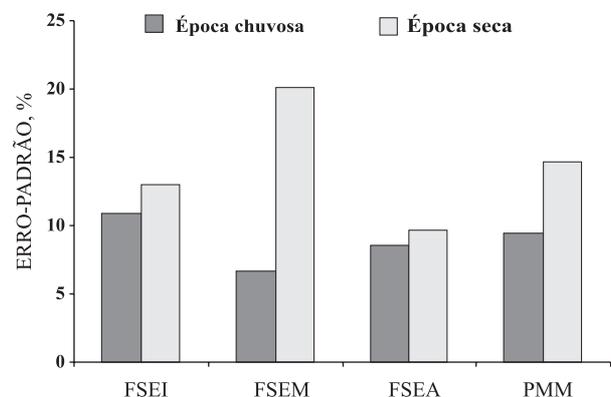


Figura 3. Variação sazonal do erro-padrão da riqueza média da macrofauna do solo nas diferentes unidades de estudo (UEs)⁽¹⁾. FSEA: floresta secundária estágio avançado; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEI: floresta secundária estágio inicial; PMM: pasto misto manejado.

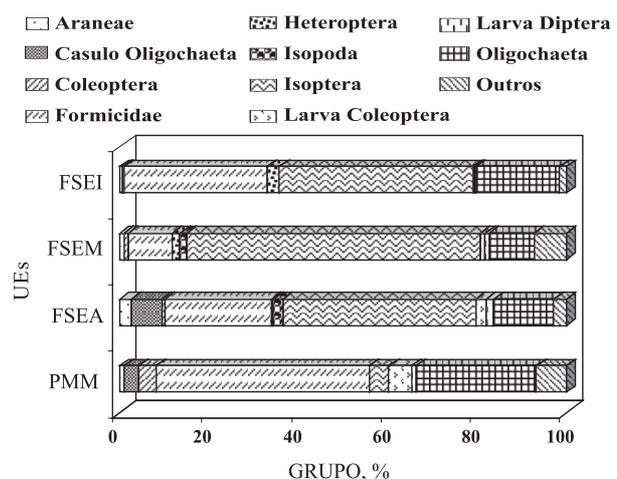


Figura 4. Distribuição da macrofauna edáfica para o período chuvoso nas diferentes unidades de estudo (UEs). FSEA: floresta secundária estágio avançado; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEI: floresta secundária estágio inicial; PMM: pasto misto manejado.

Os resultados do período seco (Figura 5) também mostraram predomínio dos grupos de insetos sociais, com destaque para Isoptera na UE sob cobertura florestal (FSEM) e Formicidae nas demais UEs. Destacaram-se também os grupos Coleoptera e Araneae em FSEI, sendo esse último de ocorrência nas quatro UEs.

Na comparação da distribuição da macrofauna nos dois períodos estudados (chuvoso e seco), destacaram-se as alterações observadas nos grupos dos insetos sociais e Oligochaeta. Do período chuvoso para o seco, o grupo Formicidae mostrou tendência de aumento nas áreas sob cobertura florestal e de redução na área sob pasto. Comportamento inverso foi encontrado para o grupo Isoptera, que diminuiu nas UEs florestais e aumentou em PMM, do período chuvoso para o seco. O grupo Oligochaeta mostrou tendência de redução da densidade nas áreas sob as quatro coberturas vegetais do período chuvoso para o seco. Ao contrário dos insetos, as minhocas não possuem um exoesqueleto que reduza a perda de água dos tecidos. A respiração e um pouco da osmorregulação são realizadas pela parede do corpo, o que restringe a sua ocorrência em solos úmidos (Hickman et al., 2004). Dessa maneira, é compreensível que na época seca tenham sido detectadas densidades menores deste grupo.

Quanto à distribuição vertical da macrofauna nas UEs sob cobertura florestal no período chuvoso (Figura 6), constatou-se maior número de indivíduos colonizando o solo do que o encontrado na serapilheira, o que pode ser atribuído principalmente ao fato de que os grupos dominantes nas três UEs (Isoptera, Formicidae e Oligochaeta) têm o solo como habitat característico. Entretanto, a FSEA foi, entre as UEs florestais, a que apresentou maior percentual de colonização da serapilheira (7%), podendo-se também

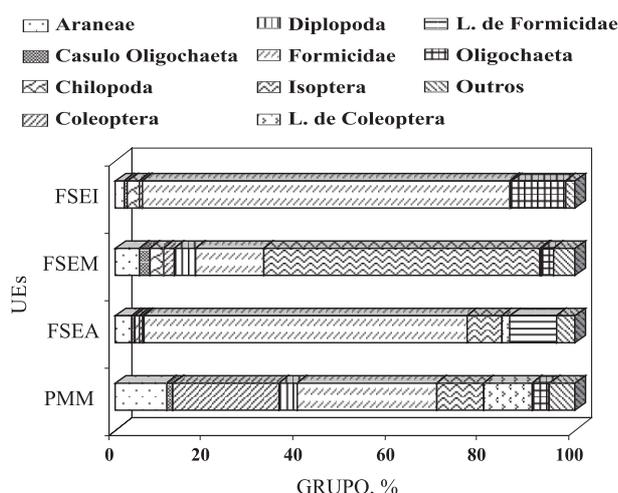


Figura 5. Distribuição da macrofauna edáfica para o período seco nas diferentes unidades de estudo (UEs). FSEA: floresta secundária estágio avançado; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEI: floresta secundária estágio inicial; PMM: pasto misto manejado.

atribuir isso à já relatada composição florística deste estágio sucessional do ambiente florestal, que proporciona condições mais favoráveis aos grupos que comumente habitam a serapilheira.

No período seco, a distribuição vertical da macrofauna edáfica manteve o mesmo padrão que o observado no período chuvoso, com maior colonização do solo do que da serapilheira; contudo, observou-se aumento no percentual de colonização da serapilheira em FSEM e redução em FSEA. Esse comportamento é decorrente do aumento na quantidade de formigas também na serapilheira, o que é confirmado nos estádios inicial e médio, onde as formigas representaram, respectivamente, 73 e 71% da macrofauna da serapilheira. No estágio avançado houve tendência inversa, já que na época chuvosa as formigas representavam 42% e, na época seca, 31% da fauna da serapilheira.

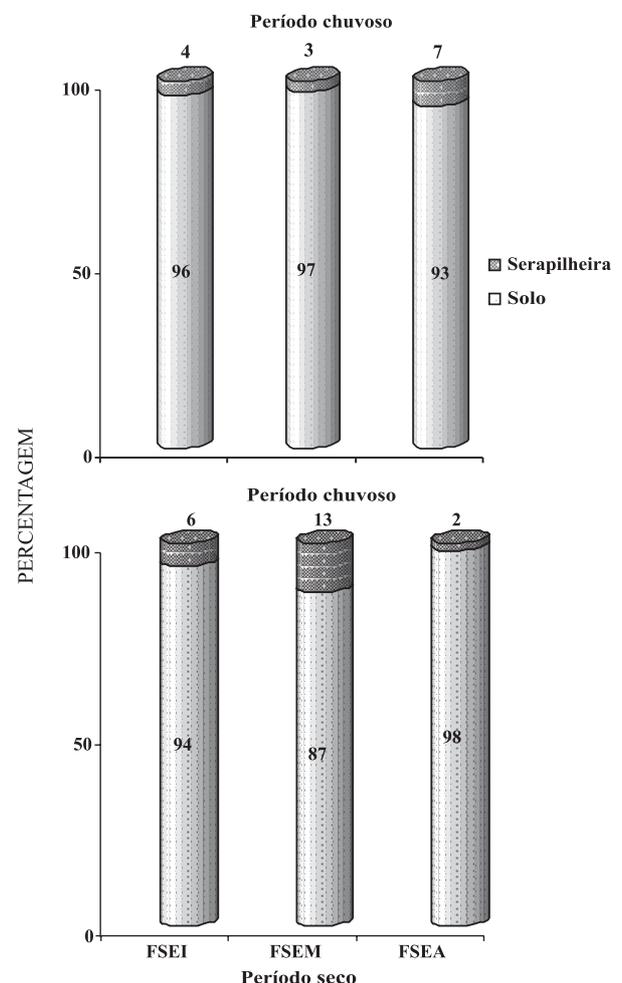


Figura 6. Distribuição vertical de densidade da macrofauna edáfica sob as diferentes unidades de estudo (UEs) para os dois períodos. FSEI: floresta secundária estágio inicial; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEA: floresta secundária estágio avançado; PMM: pasto manejado misto.

Com a análise de componentes principais (ACP) para os dois períodos (Figuras 7 e 8), observa-se que é possível a separação das unidades estudadas por suas diferenças na composição da comunidade da macrofauna edáfica.

No período chuvoso, essa análise mostra o predomínio de Oligochaeta e Formicidae na comunidade da macrofauna de PMM, de Heteroptera na macrofauna de FSEI, enquanto mostra FSEM e FSEA mais relacionados com um maior número de grupos saprófagos (larvas de Diptera, Isopoda, Diplopoda, Symphyla) e predadores (Chilopoda, Araneae), confirmando assim as características favoráveis desses estádios sucessionais mais avançados para melhoria no estabelecimento da cadeia alimentar da comunidade edáfica.

A análise de componentes principais (ACP) para o período seco mostrou maior proximidade das unidades FSEA e PMM, que se relacionaram com Symphyla,

larva de Coleoptera, Araneae e Coleoptera. Já FSEI e FSEM se apresentaram mais distantes das anteriores e entre si: FSEI relacionou-se mais aos grupos Oligochaeta, Chilopoda e Formicidae, e FSEM, aos grupos Isoptera, Diplopoda e casulos de Oligochaeta. Os melhores índices de avaliação da fauna edáfica observados na área FSEA podem ser atribuídos à melhor estruturação da área, conforme discutido anteriormente. A presença do grupo Araneae, que é um predador, a alta riqueza de grupos e a não dominância de grupos são bons indicadores da maior complexidade e equilíbrio desse ecossistema. De forma semelhante, FSEM, com uma formação de fisionomia arbustivo/arbórea, cobertura relativamente fechada e presença contínua de serapilheira, também apresenta um microclima mais ameno, favorecendo uma maior riqueza de grupos e o surgimento inclusive de indivíduos saprófagos, como Diplopoda. A área sob FSEI, por se constituir de uma regeneração natural

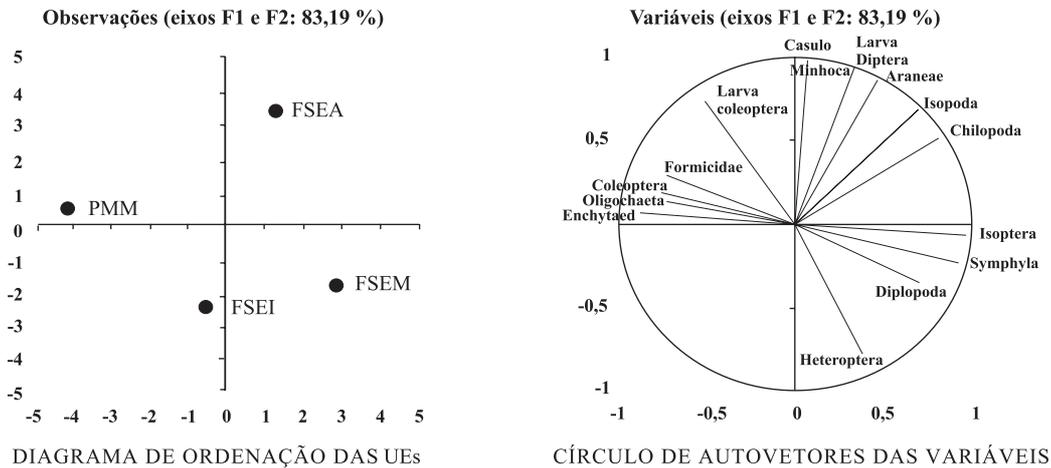


Figura 7. Análise de componentes principais da macrofauna invertebrada do solo sob as diferentes unidades de estudo (UEs) para o período chuvoso. FSEI: floresta secundária estágio inicial; FSEM: floresta secundária estágio médio; FSEA: floresta secundária estágio avançado; PMM: pasto manejado misto.

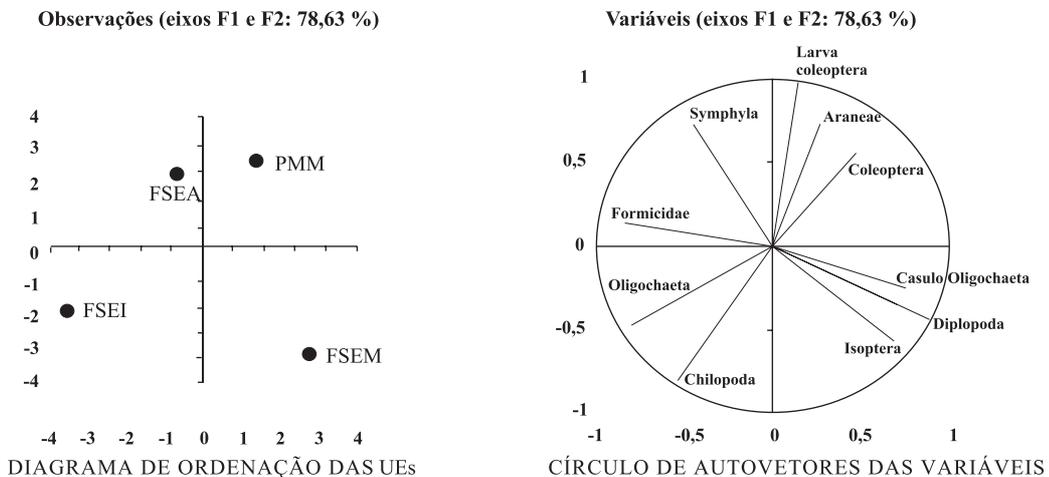


Figura 8. Análise de componentes principais da macrofauna invertebrada do solo sob as diferentes unidades de estudo (UEs) para o período seco.

de capoeira mais jovem, com uma fisionomia herbácea/arbustiva, não propiciou um ambiente com as mesmas condições de microclima e tróficas que favorecessem a colonização da macrofauna edáfica, apresentando assim menores densidade, riqueza de grupos e uniformidade (Quadro 1).

Caracterizando a densidade, diversidade e estrutura da comunidade da macrofauna edáfica do solo em uma sucessão secundária florestal nos Andes venezuelanos, assim como sua relação com a diversidade de espécies vegetais, Moralis & Sarmiento (2000) encontraram resultados que mostraram o impacto negativo da retirada e utilização agrícola na comunidade de macroinvertebrados edáficos e a recuperação dessa comunidade com o avanço da sucessão florestal sobre as áreas agrícolas. Constataram que, aos seis anos de sucessão secundária, a densidade, riqueza e diversidade já haviam recuperado valores semelhantes àqueles das condições originais da área nunca cultivada. A área de PMM, que vem sendo submetida a um processo de degradação contínuo pelo inadequado manejo do solo, desde a formação da pastagem, provavelmente favoreceu um menor aporte de matéria orgânica pela parte aérea (serapilheira) e uma maior contribuição por meio das raízes, tendo como consequência uma menor riqueza e densidade da macrofauna do solo nesta UE (Quadro 1).

A ocorrência de Oligochaeta, sobretudo no período chuvoso, maior até mesmo que em FSEA, como também constatado por Silva et al. (2006), pode também ser atribuída à provável maior densidade de raízes das espécies de gramíneas, que proporcionam melhor ambiente para esse grupo de organismos edáficos. Pasini et al. (2004) afirmam que, apesar da normal diminuição da densidade populacional e da riqueza taxonômica, as pastagens cultivadas podem não ter efeitos tão negativos sobre a fauna do solo, podendo inclusive favorecer o aumento da biomassa e da população de alguns grupos, especialmente de Oligochaeta.

CONCLUSÕES

1. A comunidade da macrofauna mostrou-se sensível ao aumento da diversidade da vegetação, com aumento progressivo das variáveis de riqueza em relação aos estádios sucessionais.

2. Os grupos dominantes nas unidades estudadas foram Formicidae, Isoptera e Oligochaeta, com redução da densidade de Oligochaeta na época seca. No estágio sucessional mais avançado foram encontrados grupos saprófagos e predadores.

3. A sazonalidade apresentou efeito sobre densidade, distribuição espacial e riqueza média, não alterando a diversidade total da fauna nos diferentes sistemas.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON, J.N. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford, CAB International, 1989. 171p.
- AQUINO, A. M.; CORREIA, M.E.F. & ALVES, M.V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. & BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. 768p.
- BIANCONI, G.V.; MIKICH, S.B. & PEDRO, W.A. Movements of bats (Mammalia, Chiroptera) in Atlantic Forest remnants in Southern Brazil. R. Bras. Zool., 23:1199-1206, 2006.
- CASEIRO, I.; SANTOS, S.; SOUSA, J.P.; NOGUEIRA, A.J.A & SOARES, A.M.V.M. Optimization of culture conditions of *Porcellio dilatatus* (Crustacea, Isopoda) for laboratory test development. Ecotoxicol. Environ. Saf., 47:285-291, 2000.
- CHUST, G.; PRETUS, J.L.; DUCROT, D.; BEDÒS, A. & DEHARVENG, L. Response of soil fauna to landscape heterogeneity: Determining optimal scales for biodiversity modeling. Conserv. Biol., 17:1712-1723, 2003.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução 006 de 4 de maio de 1994. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/legiano1.cfm>> Acesso em 25 jan. de 2005.
- DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J.J.; BARROS, E.; CHAUVEL, A.; BLANCHART, E.; FRAGOSO, C. & LAVELLE, P. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. Agric. Ecosyst. Environ., 103: 301-312, 2004.
- DINDAL, D.L. Soil biology guide. New York, Wiley, 1990. 1349p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. A Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <www.ief.rj.gov.br/mata/conteudo.htm> Acesso em: 18 março de 2007.
- ETTEMA, C.H. & WARDLE, D. Spatial soil ecology. Tree, 17:177-183, 2002.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: Período 1995-2000. São Paulo, 2002. 47p.
- GOSELIN, F. An assessment of the dependence of evenness indices on species richness. J. Theor. Biol., 242:591-597, 2006.
- HICKMAN, C.P.; ROBERTS, L.S. & LARSON, A. Princípios integrados de zoologia. 11.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. 846p.
- KOPPEN, W. Das geographische system der klimate. Handbuch de klimatologie. Berlim, Bortraeger, 1938.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P. & ROSSI, J.P. Soil invertebrates and ecosystem services. Europ. J. Soil Biol., 42:3-15, 2006.

- LAVELLE, P. & SPAIN, A.V. Soil ecology. Dordrecht, Kluwer Academic, 2001. 654p.
- LEWIS, O.T. Biodiversity change and ecosystem function in tropical forests. *Basic Appl. Ecol.*, 10:97-102, 2009.
- LINDEN, R.D.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. & van VILET, P.C.J. Faunal indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.91-106. (Special Publication, 35)
- MELO, A.S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotrop.*, 8:21-27, 2008.
- MENEZES, C.E.G. Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no Médio Vale do Paraíba do Sul, Pinheiral-RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. (Tese de Doutorado)
- MORALES, J. & SARMIENTO, L. Dinámica de los macroinvertebrados edáficos y su relación con la vegetación en una sucesión secundaria en el paramo venezolano. *Ecotropicos*, 15:99-110, 2002.
- OLIVEIRA FILHO, A.T.; CARVALHO, W.A.C.; MACHADO, E.L.M.; HIGUCHI, P.; APPOLINÁRIO, V.; CASTRO, G.C.; SILVA, A.C.; SANTOS, R.M.; BORGES, L.F.; CORRÊA, B.S. & ALVES, J.M. Dinâmica da comunidade e populações arbóreas da borda e interior de um remanescente florestal na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais, em um intervalo de cinco anos (1999-2004). *R. Bras. Bot.*, 30:149-161, 2007.
- PASINI, A.; BENITO, N.P.; ROESSING, M. & BROWN, G. Macrofauna invertebrada do solo em pastagens do norte do Estado do Paraná. In: FERTIBIO, 2004, Lages. Anais. Lages, SBCS; CNPq, 2004. CD ROM.
- RANTALAINEN, M.L.; KONTIOLA, L.; HAIMI, J.; FRITZE, H. & SETÄLA, H. Influence of resource quality on the composition of soil decomposer community in fragmented and continuous habitat. *Soil Biol. Biochem.*, 36:1983-1996, 2004.
- SÃO BERNARDO, C.S. & GALETTI, M. Densidade e tamanho populacional de primatas em um fragmento florestal no Sudeste do Brasil. *R. Bras. Zool.*, 21:827-832, 2004.
- SIH, A.; JONSSON, B.G. & LUIKART, G. Habitat loss: Ecological, evolutionary and genetic consequences. *Tree*, 15:132-134, 2000.
- SILVA, R.F.; AQUINO, A.M.; MERCANTE, F.M. & GUIMARÃES, M.F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:697-704, 2006.
- SNYDER, B.A. & HENDRIX, P.F. Current and potential roles of soil macroinvertebrates (earthworms, millipedes and isopods) in ecological restoration. *Rest. Ecol.*, 16:629-636, 2008.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER P.. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, 2002.
- TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, U.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M.C.; SCHAWGER, M. & JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *J. Biogeogr.*, 31:79-92, 2004.
- YANKELEVICH, S.N.; FRAGOSO, C.; NEWTON, A.C.; RUSSELL, G. & HEAL, O.W. Spatial patchiness of litter, nutrients and macroinvertebrates during secondary succession in a Tropical Montane Cloud Forest in Mexico. *Plant Soil*, 286:123-139, 2006.