

IMPACTOS DO FOGO SOBRE A ENTOMOFAUNA DO SOLO EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS¹

Fire Impacts on the Entomofauna of the Soil in Forest Ecosystems

Edson Alves de Araújo² e Guido Assunção Ribeiro³

¹ Trabalho convidado.

² Engenheiro-Agrônomo, M.S., Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa – UFV, Pesquisador da Secretaria de Agropecuária do Acre – SEAP, 36570-000 Viçosa-MG, Bolsista Internacional da Fundação Ford, <earaujo.ac@gmail.com>; ³ Engenheiro Florestal, D.S., Professor do Dep. de Engenharia Florestal da UFV, <gribeiro@ufv.br>.

Resumo: Os objetivos desta revisão de literatura foram resgatar e discutir os trabalhos científicos acerca dos impactos do fogo sobre a entomofauna do solo. Inicialmente, serão discutidos os aspectos conceituais da fauna do solo e sua importância para o funcionamento dos ecossistemas. Em seguida, serão apresentadas as principais limitações ao estudo do assunto, como a amostragem em campo, a matematização do fenômeno e a diversidade e complexidade desses invertebrados, o que resulta na difícil identificação taxonômica. Além disto, analisam-se as novas tendências de estudo, ressaltando-se a utilização de ferramentas mais modernas e eficazes, como a geoestatística e os programas avançados de computador. A análise baseia-se na abordagem de alguns estudos sobre a microbiota (fungos e bactérias) e a fauna do solo em ecossistemas florestais. Nesses estudos evidenciam-se, principalmente, os efeitos diretos do fogo e sua atuação sobre a diversidade e os níveis populacionais existentes, antes e após a queima, seja a queima de forma controlada ou não. De modo geral, a biota do solo, afetada pela queima, restringe-se aos primeiros centímetros do solo, devendo ser ressaltado que a intensidade dos danos está relacionada às variáveis ambientais (temperatura, umidade, relevo, solo e vegetação), bem como à intensidade e frequência do fogo, que são difíceis de ser controladas.

Palavras-chave: Invertebrados do solo, queima controlada, artrópodes, bioindicador de qualidade do solo e biota do solo.

Abstract: This literature review aims to discuss the scientific works available on fire impacts on the entomofauna in the soil. First, the conceptual aspects of the soil fauna and its importance for the functioning of the ecosystem will be studied, followed by the identification of the main limitations involved, such as field sampling, phenomenon mathematics, and the diversity and complexity of these invertebrates, resulting in a difficult taxonomic identification. In addition, the new tendencies of study are analyzed, emphasizing the use of more modern and effective tools, such as geostatistics and advanced computing programs. The analysis is based on studies concerning the microbiota (fungi and bacteria) and soil fauna in forest ecosystems. These studies emphasize, the direct effects of fire, and its role in the existing diversity and population levels before and after prescribed or non-prescribed burning. It is concluded that the soil biota affected by burning is mainly restricted to the first centimeters of the soil, whereas the intensity of the damages is related to the environmental variables (temperature, air humidity, relief, soil and vegetation), as well as to both fire intensity and frequency, which are difficult to be controlled.

Key words: Soil invertebrates, prescribed burning, arthropods, soil quality bioindicator and soil biota.

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo foi relegado o papel da fauna do solo como importante agente na ciclagem de nutrientes e formador do solo. Recentemente, no entanto, a fauna do solo passou a ser considerada como importante bioindicadora de qualidade do solo (STORK e EGGLETON, 1992; PANKHURST, 1994; BLAIR et al., 1996). Neste sentido, o assunto em questão torna-se bastante complexo, devido à diversidade, à complexidade e ao grande número de espécies de invertebrados do solo, fatores que dificultam seu estudo (COY, 1996). Em decorrência desta complexidade, vem aumentando o interesse pelo estudo do impacto de fogo sobre a fauna do solo em ecossistemas de floresta (AHLGREN, 1974; OLIVEIRA e FRANKLIN, 1993; COY, 1996; YORK, 1998; NEARY et al., 1999; COLLET, 2003), seja este de forma prescrita (NEARY et al., 1999; DRESS e BOERNER, 2003) ou não-prescrita (SMITH, 2000).

O estudo sobre o tema é muito limitado, restringindo-se a ecossistemas florestais de países de clima temperado, como a Suécia (WIKARS e SCHIMMEL, 2001) e os Estados Unidos (DRESS e BOERNER, 2003), de países tropicais como a Austrália (COY, 1996; YORK, 1998; RADHO-TOLY et al., 2001; COLLET, 2003), e, também, em ecossistemas amazônicos, onde a fauna do solo desempenha importante papel na decomposição da serrapilheira (HOFER et al., 2000, 2001).

Muitos estudos enfatizam aspectos quantitativos e qualitativos de invertebrados do solo, antes e após a queima, tendo sempre uma área de controle. Entretanto, muitas vezes torna-se difícil correlacionar os resultados de uma dada região com os de outra, em virtude das variáveis ambientais de cada localidade (temperatura, umidade, relevo, solo e vegetação), além da intensidade e frequência do fogo, difíceis

de serem controladas ou mantidas nos mesmos níveis entre os locais.

Os estudos realizados, envolvendo o levantamento taxonômico da fauna do solo, muitas vezes restringem-se ao nível de ordem, devido à complexidade, alta biodiversidade e carência de estudos específicos sobre este tópico. Entretanto, as pesquisas evidenciam que o estudo dos ecossistemas deve levar em conta a estrutura da comunidade biológica, o ambiente físico e as interações entre os componentes do ecossistema.

Nesse contexto, a presente revisão bibliográfica objetivou resgatar os relevantes trabalhos concernentes ao impacto do fogo sobre os invertebrados do solo ou, especificamente, à entomofauna do solo em ambientes florestais.

2 ASPECTOS CONCEITUAIS DE FAUNA DO SOLO

O termo fauna do solo compreende uma grande variedade de organismos que habitam o solo e são, às vezes, denominados invertebrados do solo. Lavelle et al. (1994) relataram que a fauna do solo possui uma diversidade de organismos, cujos tamanhos e estratégias adaptativas são contrastantes. Os autores enfatizaram que a abundância e composição desses organismos e, conseqüentemente, seus impactos sobre os processos do solo variam muito, dependendo da vegetação e das práticas de uso da terra.

Observa-se a tendência em classificar a fauna do solo em microfauna, mesofauna, macrofauna e megafauna (Quadro 1). Entretanto, há falta de consenso entre os autores quanto à delimitação do tamanho de cada classe, pois estes se apóiam numa base subjetiva. No sistema serrapilheira-solo, por exemplo, os microrganismos como bactérias e fungos coexistem com os invertebrados, que são

importantes nos processos biológicos do solo, como o caso da decomposição da matéria orgânica (BRUSSARD et al., 1997).

A fauna do solo pode ser, ainda, classificada em fauna de solo subterrânea e de superfície, conforme seu habitat e seus hábitos alimentares (GASSEN, 1992). As espécies subterrâneas habitam o horizonte A e raramente vêm à superfície do solo. Neste grupo destacam-se os indivíduos da ordem Coleóptera (besouros), Isoptera (cupins) e Oligochaeta (minhocas). As espécies de superfície do solo habitam o horizonte O (orgânico), vivem sob resíduos orgânicos e são afetadas pela cobertura vegetal e pelas práticas culturais, como o desmatamento e a queima.

Nesse ambiente ocorrem predadores, parasitas e decompositores de material orgânico.

Lavelle et al. (1993) propuseram um modelo hierárquico, abrangendo o meio ambiente físico, a qualidade dos recursos e os organismos do solo como os principais agentes no processo de decomposição. O modelo consiste, basicamente, de três grupos de espécies, consideradas exploradoras dos mesmos recursos do meio, ou seja, a biota de raízes, os decompositores e os engenheiros do ecossistema. A biota de raízes seria formada por organismos que vivem de modo benéfico ou prejudicial em associação com as plantas. Esses organismos podem viver em simbiose, como as micorrizas e bactérias fixadoras

Quadro 1 - Classificação da fauna do solo de acordo com o tamanho, segundo alguns autores (*Classification of soil fauna size, according to some authors*)

Classificação das Classes de Tamanho				Referência
Microfauna	Mesofauna	Macrofauna	Megafauna	
Organismos que são identificados em lente de aumento de 15 x	Organismos de tamanho intermediário (ácaros, colêmbolos e outros artrópodes)	Insetos maiores (caracóis, minhocas e aranhas)	-	Ahlgren (1974)
Organismos da biomassa do solo de tamanho < 2 mm (nematóides e protozoários)	Organismos de 2 a 10 mm (microartrópodes)	Organismos com tamanho > 10 mm (minhocas e cupins)	-	Pankhurst (1994)
Organismos de tamanho médio < 2 mm (protozoários e nematóides)	Organismos que variam de 0,2 a 2 mm (microartrópodes - Oligochaeta Enchytraeidae)	Invertebrados de tamanho maior, denominados de engenheiros do ecossistema	-	Lavelle et al. (1994)
Organismos < 200 µm de diâmetro (protozoários e nematóides)	Organismos medindo entre 100 µm e 2 mm de diâmetro (ácaros e colêmbolos)	Organismos > 2 mm de diâmetro (minhocas, isopods e diplópodes)	-	Brussard et al. (1997)
Organismos com diâmetro corporal de 4 a 100 µm (protozoários, rotíferos, copépodos e tardígrafos nematóides)	Organismos entre 100 µm e 2 mm (ácaros, colêmbolos, alguns miriápodes, aracnídeos e diversas ordens de insetos, algumas oligoquetas e crustáceos).	Organismos que apresentam tamanho corporal entre 2 e 20 mm e podem pertencer a quase todas as ordens encontradas na mesofauna, excetuando os ácaros (colembolos proturos e dipluros)	Organismos de 20 mm de diâmetro corporal e classificados como invertebrados do solo (oligoquetos, diplópodes, quilópodes e coleópteros)	Correia e Andrade (1999)

de nitrogênio, ou consumir material de raízes (doenças e pragas). O grupo de decompositores abrange a microflora e a micro e mesofauna, que atuam como reguladores da quantidade e atividade dos microrganismos. Os engenheiros do ecossistema, compostos pela meso e macrofauna, são responsáveis pela criação de microhabitats para outros organismos, através do revolvimento do solo (Quadro 2).

3 PAPEL DA BIOTA DO SOLO NO FUNCIONAMENTO DO ECOSISTEMA

A biota do solo exerce um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e bioturbação do solo (BRUSSARD et al., 1997; LAVELLE et al., 1997; MADONG e NKOLBISSON, 1999). Devido a esses fatores, a fauna do solo tem tido uma

Quadro 2 - Funções dos principais grupos de organismos do solo (*Functions of the major groups of soil organisms*)

Grupo	Funções
Microorganismos (diâmetro < 200 µm)	
Bactérias	a) Bactérias de vida livre – são elementares nos processos de imobilização e de mineralização e nas associações intestinais mutualísticas, servem como alimento para outros animais; são promotoras do crescimento de plantas; auxiliam nas associações micorrízicas; podem exercer o papel de parasita e patógeno do solo; participam nos processos de síntese de matéria orgânica; agregação do solo; e são decompositoras de agroquímicos. b) Bactérias rizobiais - fixam N atmosférico.
Fungos	a) Não-micorrízicos – são elementares nos processos de imobilização e mineralização e nas associações mutualísticas e comensais; alimentos para artrópodes, protozoários e outros fungos; parasitas de artrópodes e nematóides; participam na síntese de substâncias húmicas e na agregação de solo; e são decompositores de agroquímicos e xenobiontes. b) Micorrízicos - transportam elementos essenciais e água do solo para raízes de plantas; sequestram elementos essenciais em formas não-disponíveis às plantas; são fontes de alimentos para mesofauna e macrofauna.
Microfauna (diâmetro < 200 µm)	
Protozoários	fontes de alimento para bactérias e fungos; favorecem o crescimento microbiano; são presas para nematóides e mesofauna; são hospedeiros de bactérias patogênicas e parasitas de vegetais.
Nematóides	alimento para bactérias e fungos; são herbívoros de raízes/parasita de plantas; parasitas/predadores de microfauna, mesofauna e insetos; e são presas para mesofauna e macrofauna
Mesofauna (diâmetro de 100 µm a 2 mm)	
Ácaros	alimento de bactérias e fungos; consumo de liteira de plantas e carcaça de animais; herbívoro de raízes; dispersores de microrganismos; dispersores e vetores de helmintos; hóspedes de protozoários parasitas; parasitas de insetos e outros artrópodes; presa para macrofauna; e engenheiros de microecossistemas.
Colêmbolos	pasto da microflora e microfauna; consumo de liteira e carcaça de animais; micropredadores de nematóides; dispersores de microrganismos; dispersores de helmintos e cestódios; hospedeiros para parasitas; presas para macrofauna; e engenheiros de microecossistemas.
Enchytraeids	fragmentação de liteira de planta; favorecem o crescimento microbiano; bioturbador; dispersão de microrganismos bioturbadores; dispersão de microrganismos e algas; hospedeiros de protozoários e outros parasitas.
Macrofauna (diâmetro > 2 mm)	
Insetos - herbívoros de raízes	modificação da performance da planta; alimentam-se de microrganismos contidos na rizosfera.
Cupins	bioturbadores; melhoria no crescimento microbiano; espécie-chave para inquilino em microrganismos, fauna e plantas associadas com montículos.
Formigas	bioturbadores; melhoria no crescimento microbiano; espécie-chave para inquilino em microrganismos, fauna e plantas associadas a formigueiros.
Minhocas	engenheiras do ecossistema; favorecimento do crescimento microbiano.

Fonte: Brussard et al. (1997).

importância relevante como bioindicadora de qualidade do solo (STORK e EGGLETON, 1992; PANKHURST, 1994; BLAIR et al., 1996).

Os microrganismos do solo, como as bactérias e os fungos, efetuam a decomposição de cerca de 90% de matéria orgânica (BRUSSARD, 1997). Este processo é facilitado por animais do solo, como ácaros, minhocas e cupins, que fragmentam os resíduos e dispersam propágulos microbianos. A ciclagem de nutrientes, realizada pela biota do solo, está intimamente associada à decomposição da matéria orgânica e é essencial para todos os tipos de sistemas agrícolas e silviculturais. A bioturbação é o processo através do qual formigas, cupins, minhocas e outros componentes da macrofauna do solo criam canais, poros, agregados e montículos, que influenciam fortemente o transporte de gases e água, ou modificam o habitat para outros invertebrados de tamanho menor.

3.1 Aspectos metodológicos do estudo da entomofauna de solo

- *Diversidade de espécies*

De um total acima de 1.150.000 animais invertebrados na natureza, cerca de 85% (980.000) pertencem ao ramo ou filo Arthropoda (MARANHÃO, 1976). O elevado número de espécies e a grande diversidade de formas Arthropoda representam uma das principais dificuldades no estudo da sistemática desses organismos (COY, 1996). Dentre outros fatores que dificultam a investigação quanto aos invertebrados do solo, destacam-se à complexidade dos organismos e, em alguns casos, a falta de conhecimento adequado da biologia, bem como o desenvolvimento dos sistemas taxonômicos de classificação (COY, 1996; BRUSSARD, 1997).

Dentre os principais microrganismos e invertebrados do solo, foram somente

descritas entre 5 e 10% do total de espécies estimadas para cada grupo de organismos (BRUSSARD, 1997). Este valor denota que existe uma imensa lacuna no número de espécies a serem descritas.

Brussard (1997) alertou para a necessidade de desenvolvimento de um sistema taxonômico mais eficiente, que resulte em métodos mais simples para identificação dos organismos do solo. Ressaltou, ainda, a necessidade de métodos-padrão de amostragem que contemplem a heterogeneidade espacial, utilizando aparatos da geoestatística e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Devido a esses fatores, grande parte dos trabalhos que efetuam levantamentos qualitativos da fauna do solo apresenta os resultados taxonômicos ao nível de filo, classe ou ordem, conforme pode ser constatado na literatura disponível (OLIVEIRA e FRANKLIN, 1993; RADHO-TOLY, 2001; WIKARS e SCHIMMEL, 2001; TAPIA-CORAL et al., 2002; NASCIMENTO e BARROS, 2002; COLLET, 2003).

- *O filo Arthropoda*

O filo Arthropoda deriva do grego (*arthron* = articulação e *pous* ou *podos* = pernas), uma vez que todos os seus representantes apresentam, quando adultos, pernas articuladas ao corpo, em número variável, segundo os grupos ou as classes a que pertencem (MARANHÃO, 1976). A classe Insecta ou Hexapoda, inserida no filo Arthropoda, é distinguida primariamente pela presença de seis pernas, sendo um par em cada segmento do tórax (ROSS, 1965). Nesta classe, estão inseridas as principais ordens de animais invertebrados.

- *Amostragem a campo*

Um dos principais problemas enfrentados pelos estudiosos de fauna é a

variabilidade espacial desses organismos no solo, o que resulta em elevados valores de variância, tornando difícil amostrar a campo e matematizar os fenômenos (EKSCHMITT, 1998).

De acordo com Coy (1996), uma das maiores limitações para o estudo de fogo controlado refere-se à falta de controle da área afetada pelo fogo, o que dificulta o isolamento da variação ao longo do tempo e da variação atribuída ao fogo.

Em estudos quantitativos, a abundância de invertebrados no solo é geralmente expressa em indivíduos por metro quadrado (ind. m⁻²) e em termos de biomassa média (g m⁻²). Com relação aos estudos qualitativos, os invertebrados são comumente classificados até o nível de ordem, sendo, geralmente, dispostos em seqüência ordinal.

O método preconizado por Anderson e Ingran (1993) para amostrar invertebrados do solo tem sido um dos mais utilizados e consiste em coletar blocos de solo, separados da liteira, com coletores de diâmetro conhecido, ao longo de um transecto ao acaso. A profundidade das camadas de solo e o número de amostras variam conforme o objetivo do estudo. Normalmente, utilizam-se os primeiros 30 cm, amostrando-se em intervalos de 5 a 10 cm.

Outros métodos baseiam-se no uso de armadilhas tipo "pitfall", que consiste em enterrar no solo recipientes de vidro, plástico ou metal de diâmetro conhecido, ao longo de um transecto, ao acaso. Coloca-se no interior do recipiente uma substância para matar e preservar o animal (metanol, por exemplo), sendo, em seguida, realizadas a coleta dos indivíduos e a classificação taxonômica (COLLET, 2003).

- Evolução dos insetos

Previamente à consideração dos efeitos do fogo sobre a fauna do solo, é interessante discutir as razões que levaram à

enorme diversidade de invertebrados do solo, em especial a classe dos insetos. Segundo Ross (1965) e Maranhão (1976), os principais fatores são: capacidade de vôo; tamanho diminuto; adaptabilidade; desenvolvimento de um exoesqueleto; e metamorfose. A capacidade de voar aumentou as chances de sobrevivência, a dispersão e a alimentação, além de ampliar os meios de reprodução e de enganar o predador.

No decorrer da evolução, desenvolveu-se uma grande variedade de indivíduos de menor tamanho, aumentando, assim, o leque de opções de alimento em pequenas quantidades, bem como as chances de se ocultar de predadores.

A vantagem do tamanho diminuto é que a superfície total do corpo aumenta em proporção a seu volume, uma vez que nos insetos a perda de água é função da superfície e não do volume, devendo ser ressaltado que à medida que o tamanho diminui a proporção superfície/volume aumenta, resultando em alta evaporação. A proteção contra a evaporação reside na natureza impermeável do exoesqueleto do inseto (mistura de várias gorduras e graxas), que é notavelmente resistente à passagem de vapor-d'água.

Os insetos possuem outras adaptações, tanto morfológicas quanto fisiológicas, que são fundamentais para seu atual estágio de desenvolvimento. Essas adaptações influenciarão sua resistência e, conseqüentemente, sua sobrevivência durante o processo de queima, em que ocorre elevada temperatura.

3.2 Fogo em ecossistemas florestais

O fogo utilizado de forma prescrita ou controlado em ecossistemas florestais tem a finalidade de estimular a regeneração, manipular habitat selvagens e reduzir o nível de biomassa no solo, de modo a diminuir o material combustível para

combustão (YORK, 1998). O fogo controlado tem sido utilizado para testar seus efeitos sobre a biota contida no solo e na liteira (COY, 1996; YORK, 1998, WIKARS e SCHIMMEL, 2001; COLLET, 2003; DRESS e BOERNER, 2003).

O fogo acidental ou incêndio florestal pode resultar em perda substancial de vidas humanas, reduzir o valor comercial dos produtos florestais e afetar comunidades de plantas e animais (SMITH, 2000).

Bonfim et al. (2003) relataram que as principais causas de incêndios florestais no Brasil são: queima para limpeza (63,7%); queima criminosa ou provocada por incendiários (14,7%); fogos de recreação ou acidentais (11,6%); diversos (4,4%); fumantes (2,9%); estrada de ferro (0,5%); e queima de origem natural ou provocada por raios, que corresponde a 0,2%.

Em ecossistemas florestais, o fogo afeta a biota do solo e modifica seu habitat (liteira e solo). No entanto, seus efeitos podem variar em função das condições climáticas, das características do material combustível e das características do próprio fogo (WIKARS e SCHIMMEL, 2001; COLLET, 2003).

- Fogo e os microrganismos do solo (bactérias e fungos)

Ahlgren (1974) relatou que as bactérias são favorecidas em solos mais alcalinos, enquanto os fungos desenvolvem-se em solos mais ácidos. Esta é, provavelmente, uma das razões para os relatos de que as bactérias são mais favorecidas em áreas recentemente queimadas do que os fungos. O autor ressaltou que, decorrido algum tempo após a queima, o pH do solo tende a variar de uma condição alcalina para uma condição mais ácida, uma vez que as cinzas minerais são gradualmente lixiviadas e, conseqüentemente, as

espécies de fungos variam com a idade da queima.

Ahlgren e Ahlgren (1965) relataram que, em um experimento com pinus, o número e a atividade da maioria dos microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) decresceram imediatamente após o fogo, mas aumentaram abruptamente para níveis elevados após a primeira chuva pós-queima. Esse aumento de microrganismos é atribuído à lixiviação de cinzas minerais.

Neary et al. (1999) enfatizaram que os efeitos sobre os microrganismos são maiores em horizontes orgânicos e camadas superficiais de solo de 1 a 2 cm de profundidade, onde as populações de microrganismos são mais abundantes.

Um fato interessante abordado por Dress e Boerner (2003) refere-se ao solo como um excelente tampão contra a transferência de calor, o que de certa forma favorece os microrganismos que vivem em maiores profundidades.

- O fogo e a entomofauna do solo

O fogo afeta, primeiramente, os invertebrados do solo por modificar seu habitat (SMITH, 2000). Em áreas florestais submetidas à queima a redução da fauna do solo varia, dependendo do ecossistema, do tipo de fogo e da espécie de organismo envolvido (AHLGREN, 1974).

Os efeitos do fogo sobre a fauna do solo têm reflexos mais intensos nos níveis populacionais, principalmente logo após a queima. Wikars e Schimmel (2001), em estudo sobre a influência da severidade do fogo e do grau de desmatamento sobre a fauna do solo, constataram que logo após a queima ocorre redução no número de táxons. A maioria dos 17 táxons avaliados foi reduzida pelo fogo, exceto dois grupos de coleópteros (um na fase larval – Elateridae; e o outro na fase adulta –

Cucujoidea). A população dos invertebrados pertencentes às ordens Collembola, Hemiptera e Hymenoptera foi reduzida a baixos níveis após o fogo, comparativamente àquela existente antes da queima.

Wikars e Schimmel (2001) observaram, ainda, que os invertebrados pertencentes à ordem dos coleópteros e à família Staphylinida, bem como os invertebrados pertencentes às famílias Oribatediae e Elateridae, tiveram alta taxa de sobrevivência, sendo, para o primeiro grupo de organismos, este fato atribuído à grande mobilidade no solo, enquanto para o segundo grupo foi atribuído à cutícula espessa desses organismos.

Coy (1996), ao contrário, constatou aumento no número de invertebrados, após a queima, em plantio de eucalipto na Austrália. O autor verificou que muitos invertebrados sobreviveram ao fogo e que a abundância de invertebrados foi devido ao aumento de microartrópodes como ácaros (ordem Acarina) e colêmbolos (ordem Collembola), enquanto a maioria dos invertebrados do solo, pertencente à mesofauna, decresceu após a queima.

Segundo Coy (1996), muitos invertebrados desenvolvem estratégias de sobrevivência, entrando em estado de latência ou dormência. A ativação deste estado é controlada por estímulos externos, como a temperatura e umidade. O autor afirma que a sobrevivência dos invertebrados, subsequente ao processo de queima, é controlada por fatores bióticos e edáficos. Os fatores bióticos incluem: fonte de alimento (planta ou presa), competição, predação e o relacionamento entre as espécies. Os fatores edáficos importantes para os organismos do solo incluem o clima (precipitação, insolação, temperatura e vento), microclima (umidade do solo, umidade do ar e temperatura), bem como os fatores químicos (nutrientes) e físicos (textura e estrutura do solo).

Collet (2003), em estudo de longa duração (14 anos) em floresta de eucalipto no oeste da Austrália, avaliou os efeitos da queima de baixa intensidade sobre a fauna acima do solo, em duas estações do ano (outono e primavera). Para tal, selecionaram-se três áreas de florestas adjacentes, as quais foram designadas: área de floresta não-queimada (15 ha), que serviu de referência; área de floresta queimada duas vezes (14,8 ha), sendo uma no outono de 1987 e a outra no outono de 1997; e área de floresta queimada (16,2 ha), também duas vezes, sendo uma na primavera de 1985 e a outra em novembro de 1994.

O estudo indicou que, aparentemente, não houve nenhum efeito do fogo sobre atividade da fauna a curto e longo prazo, na área queimada na primavera, e em curto prazo na área de floresta queimada no outono. A longo prazo, entretanto, na área de floresta queimada no outono houve aumento na atividade durante o período de 1997 a 1999, primeiramente como resultado do acréscimo da atividade do grupo dos táxons Acarina e Formicidae. Da mesma forma, durante o mesmo período, ocorreu decréscimo na atividade do táxon Dermaptera.

Em um experimento de longo prazo (20 anos), York (1998) investigou os efeitos pós-fogo sobre a riqueza e composição da fauna, em plantio de eucalipto (*Eucalyptus pilularis*) no sudeste da Austrália. Os resultados mostraram que a queima, durante 20 anos (repetida a cada três anos), não reduziu a biodiversidade desse ecossistema florestal. No entanto, houve uma variedade de respostas entre as cinco classes de invertebrados levantadas, sendo quatro pertencentes à classe Insecta e uma à classe Arachnoidea (escorpiões, aranhas e ácaros). Dois táxons pertencentes a moscas e besouros tiveram redução de 44 e 27%, respectivamente, quanto à riqueza

de espécies. Para as formigas, ocorreu um incremento de 24% na riqueza de espécies, depois de repetidas queimas.

Ainda segundo York (1998), a proporção de morfoespécies em cada categoria variou substancialmente entre os grupos, devendo ser ressaltado que os percevejos apresentaram as menores proporções de morfoespécies em ambos os tratamentos (16%), enquanto as formigas apresentaram as maiores proporções.

York (1998) concluiu que a queima freqüente levou à perda de mais de 124 espécies (18 de percevejos, 31 de moscas, 15 de aranhas, 47 de besouros e 13 de formigas), o que representa 46% das morfoespécies levantadas nas áreas de controle. Para diminuir essas perdas, o autor sugeriu o desenvolvimento de estratégias, como manter a diversidade de habitat nos seus vários estádios pós-fogo, interferir no regime de fogo (estação do ano para a queima e a intensidade do fogo) e permitir a conectividade entre habitats (corredores ecológicos).

Dress e Boerner (2003) estudaram os padrões populacionais de microartrópodes em ecossistema florestal de carvalho (*Quercus-Caraya*), nos Estados Unidos, quanto à posição na paisagem e à freqüência do fogo. Considerou-se como aspecto metodológico a abundância de várias subordens de Acari e Collembola, determinadas em amostras tomadas em junho de 1999, em três bacias hidrográficas florestadas: a primeira área foi queimada anualmente, na primavera (1996 a 1999); a segunda foi queimada, periodicamente (1996 a 1999); e a terceira não sofreu queima e serviu de controle. No que se refere aos resultados, a abundância de microartrópodes foi significativamente menor na área queimada anualmente, do que nas áreas queimadas periodicamente e de controle. Como ambas as áreas foram queimadas em abril de 1999, estes resultados não implicam o imediato efeito do fogo.

Levando em consideração a posição na paisagem (*xeric, intermediate e mesic*), os autores verificaram que a abundância de ácaros foi maior na posição *xeric* que na *intermediate* ou *mesic*. Ao comparar as três bacias hidrográficas, encontrou-se uma correlação significativa e positiva entre a massa de liteira e a abundância de microartrópodes, principalmente porque a área queimada anualmente possuía pouca massa de liteira e pequena quantidade de microartrópodes.

Em ecossistema amazônico, Oliveira e Franklin (1993) estudaram a recolonização realizada pela fauna do solo, em área queimada e não-queimada. Para acompanhar o processo de recolonização, foram realizadas coletas da fauna de invertebrados do solo, após transcorridos 1, 15, 30, 40, 60, 125, 145, 200, 270, 320 e 370 dias após a queima, utilizando-se uma sonda metálica de 25 cm², introduzida no solo até 3 cm de profundidade, com 30 repetições, sendo 15 na área queimada e 15 na área não-queimada. Verificou-se que a densidade populacional da fauna foi, drasticamente, afetada pelo fogo. Na área queimada, verificou-se número total de Oribatida (46.464 ind. m⁻²) menor que o número total das outras subordens de Acari (132.532 ind. m⁻²) e a densidade de Collembola (7.361 ind. m⁻²) foi inferior ao número total dos outros insetos (22.460 ind. m⁻²). Um quadro inverso foi observado na área não-queimada (Oribatida = 79.045 ind. m⁻²; Acari = 34.025 ind. m⁻², Collembola = 17.276 ind. m⁻²; outros insetos = 11.098 ind. m⁻²).

Algumas pesquisas realizadas na Amazônia têm sido direcionadas para a riqueza e a diversidade da fauna com a substituição da mata nativa por agrossistemas (HOFER et al., 2000; TAPIA-CORAL et al., 2002; NASCIMENTO e BARROS, 2002; LEITÃO-LIMA e TELXEIRA, 2002).

4 CONCLUSÃO

A entomofauna do solo vem sendo enfatizada nas investigações devido ao seu importante papel na decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, bioturbação do solo e, mais recentemente, como bioindicadora da qualidade do solo.

As principais limitações ao estudo de invertebrados do solo decorrem da carência de uma metodologia-padrão, bem como da dificuldade de se comparar os dados obtidos com aqueles de outros experimentos, devido ao difícil controle das variáveis envolvidas (ambientais e biológicas), elevado número de espécies sem descrição taxonômica, elevado custo de implantação e condução dos trabalhos de pesquisa, além da variabilidade espacial desses organismos no solo, devendo ser ressaltado que nesta última existe a dificuldade em fazer inferências estatísticas.

Os impactos decorrentes do fogo sobre a fauna do solo resultam na redução e, ou, no aumento na abundância e sucessão ecológica desses animais. Os animais que se encontram na serrapilheira e nos primeiros centímetros do solo são os mais afetados pelo fogo. A intensidade dos danos dependerá do tipo e da intensidade do fogo, das variáveis ambientais (clima, relevo, solo, vegetação etc.) e da adaptação dos organismos à perda de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLGREN, I. F.; ALHGREN, C. F. Effects of prescribed burning on soil microorganisms in a Minnesota pine forest. **Ecology**, v. 46, n. 3, p. 304-310, 1965.
- AHLGREN, I. F. The effects of fire on soil organisms. In: KOZLOWSKI, T. T.; AHLGREN, C. E. (Eds.) **Fire and ecosystems**. New York: Academic Press, 1974. p. 47-69.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1993. 221 p.
- BONFIM, V. R. et al. Diagnóstico do uso do fogo no entorno do parque estadual da serra do brigadeiro (PESB), MG. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 87-94, 2003.
- BLAIR, J. M.; BOHLEN, P. J.; FRECKMAN, W. Soil invertebrates as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, 1996. 409 p.
- BRUSSARD, L. et al. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. **Ambio**, v. 26, n. 8, p. 563-570, 1997.
- COLLET, N. Short and long-term effects of prescribed fires in autumn and spring on surface-active arthropods in dry sclerophyll eucalypt forests of Victoria. **Forest Ecology and Management**, v. 182, n. 1-3, p. 117-138, 2003.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 209-214.
- COY, R. The impact of fire on soil invertebrates in *E. regnans* forest at Powelltown, Victoria. In: **Fire and biodiversity**. The effects and effectiveness of fire management. 1996. p. 183-198. Disponível em: <www.deh.gov.au/biodiversity/publications/series/paper8/>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- DRESS, J. D.; BOERNER, E. J. Patterns of microarthropod abundance in oak-hickory forest ecosystems in relation to prescribed fire and landscape position. **Pedobiologia**, v. 47, n. 1, p. 1-8, 2003.
- EKSCHMITT, K. Population assessments of soil fauna: general criteria for the planning of sampling schemes. **Applied Soil Ecology**, v. 9, n. 1-3, p. 439-445, 1998.
- GASSEN, D. N. Classificação de pragas de solo de acordo com o habitat e com os hábitos alimentares. In: REUNIÃO SOBRE PRAGAS SUBTERRÂNEAS DOS PAÍSES DO CONE SUL, 2., 1992, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1992. p. 179.

- HOFER, H. et al. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, n. 4, p. 229-235, 2001.
- HOFER, H. et al. **Soil fauna and litter decomposition in primary and secondary forests and a mixed culture system in Amazonian**. Bonn: BMBF, 2000. 299 p. (Final report of SHIFT project ENV 52)
- LAVELLE, P. et al. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. **Biotropica**, v. 25, n. 2, p. 130-150, 1993.
- LAVELLE, P. et al. Soil fauna and sustainable land use in the tropics. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds.) **Soil resilience and sustainable land use**. Wallingford, UK: CAB International, 1994. p. 291-308.
- LAVELLE, P. et al. Soil function in a changing world: the role of invertebrates ecosystems engineers. **European Journal Soil Biology**, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997.
- LEITÃO-LIMA, P. S.; TEIXEIRA, L. B. **Distribuição vertical e abundância de mesofauna do solo em capoeiras**. Belém: Embrapa, 2002. 4 p. (Embrapa Belém. Boletim Técnico, 63)
- MADONG, B.; NKOLBISSON, I. **Impacts on some hidden aspects of biodiversity: the case of soil organisms**. Disponível em: < <http://economics.iucn.org> >. Acesso em: 15 dez. 2003. (Presented at a Workshop on Biodiversity and Impact Assessment in Central Africa-Yaonde, Cameron, 30-31 de March 1999).
- MARANHÃO, Z. C. **Entomologia geral**. São Paulo: Nobel, 1976. 514 p.
- NASCIMENTO, A. R. L.; BARROS, E. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais do projeto RECA (RO). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais....** Bahia: CEPLAC, 2002. CD ROM.
- NEARY, D. G. et al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. **Forest Ecology and Management**, v. 122, n. 1-2, p.51-71, 1999.
- OLIVEIRA, E. P.; FRANKLIN, E. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo: recomendações em áreas queimadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 3587-369, 1993.
- PANKHURST, C. E. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Eds.) **Soil Resilience and Sustainable land use**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 331-351.
- RADHO-TOLY, S.; MAJER, J. D.; YATES, C. Impact of fire on leaf nutrients, arthropod fauna and herbivore of native and exotic eucalypts in King Park, Perth, Western Australia. **Austral Ecology**, v. 26, n. 5, p. 500-506, 2001.
- ROSS, H. H. **A textbook of entomology**. Japan: John Wiley & Sons, 1965. 532 p.
- SMITH, J. K. **Wild land fire in ecosystems: effects of fire on fauna**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 1. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2000. 83 p. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/rm>>. Acesso em: 15 dez. 2003.
- STORK, N. E.; EGGLETON, P. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 1-2, p. 38-47, 1992.
- TAPIA-CORAL, S. et al. Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais na Amazônia Peruana. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais....** Bahia: CEPLAC, 2002. CD ROM
- WIKARS, L.; SCHIMMEL, J. Immediate effects of fire-severity on soil invertebrates in cut and uncut pine forests. **Forest Ecology and Management**, v. 141, n. 3, p. 189-200, 2001.
- YORK, A. Managing for biodiversity: what are the long-term implications of frequent fuel-reduction burning for the conservation of forest invertebrates?. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 3.; CONFERENCE ON FIRE AND FOREST METEOROLOGY, 14., 1998, Luso. **Proceedings....** Luso: 1998. v. 2. p. 1435-1445.