

Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão

Soil mesofaunal in constructed coal mining area

Luís Carlos Iuñes Oliveira Filho^{1*}, Dilmar Baretta², Cristiane Manfroi Viapiana¹ e Julio Cesar Pires Santos¹

Recebido em 10/06/2013 / Aceito para publicação em 22/11/2014.

RESUMO

O objetivo foi avaliar a presença da mesofauna edáfica em solos construídos após a mineração de carvão a céu aberto na região de Lauro Müller, SC, Brasil. Utilizou-se a área experimental da Mina do Apertado e duas áreas de referência (campo naturalizado e mata nativa). A fauna do solo foi coletada utilizando-se de um cilindro metálico de 17 cm de diâmetro, na profundidade de 5 cm, e a extração foi realizada pelo método de Berlese modificado, seguido da identificação dos organismos. A mesofauna foi avaliada pela densidade de indivíduos e riqueza de grupos submetidos à análise de variância e análise multivariada dos dados através da análise de correspondência. Ao total foram encontrados 19 táxons, sendo que Acari, Collembola e Formicidae apresentaram as maiores densidades. A análise de correspondência evidenciou clara separação dos locais antropizados (Mina do Apertado e campo naturalizado) da área de referência (mata nativa). Os modelos de recuperação da Mina do Apertado apresentaram grupos semelhantes à referência mata nativa, satisfazendo os serviços do ecossistema prestados por eles, promovendo um ambiente adequado para os grupos da mesofauna edáfica.

PALAVRAS-CHAVE: bioindicadores, fauna edáfica, análise multivariada.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the presence of meso-fauna soil in constructed soil after open pit coal mining in the Lauro Müller region, SC, Brazil. An experimental area of the Mina do Apertado and two reference areas (naturalized field and native forest) were used. The meso-fauna was collected using a 17 cm diameter metal cylinder, at 5 cm depth, and the extraction was performed by using the modified Berlese method, followed by the identification of organisms. The soil fauna was assessed by individual density and richness of groups and submitted to variance analysis and multivariate analysis of the data by correspondence analysis. A total of 19 taxa were found, and Acari, Collembola and Formicidae

showed higher densities. The correspondence analysis showed a clear separation of anthropogenic sites (Mina do Apertado and naturalized field) from the reference area (native forest). Mina do Apertado recovery model groups showed similar reference to the native forest, satisfying the ecosystem services provided by them, promoting a suitable environment for groups of mesofaunal soil.

KEYWORDS: bioindicators, edaphic fauna, multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

A bacia carbonífera catarinense constitui uma faixa de aproximadamente 100 km de comprimento e 20 km de largura média, onde se desenvolveram importantes centros de mineração de carvão (BELOLLI et al. 2002), representando um dos maiores passivos ambientais da mineração brasileira. Durante mais de um século, essa mineração despejou rejeitos ricos em pirita (MME 2011) ao longo dos rios, no próprio local de mineração e em seu entorno, alterando drasticamente o ambiente. Em 1993, o Ministério Público Federal promoveu ação civil pública contra empresas mineradoras e a União, com o objetivo de que recuperassem os danos provocados contra o meio ambiente. Em 2007, o Superior Tribunal de Justiça condenou a União e as mineradoras a reparar danos ambientais, para a recuperação das bacias hidrográficas e área terrestre (CASTILHOS & FERNANDES 2011).

O sucesso na recuperação destas áreas baseia-se no reestabelecimento da cobertura vegetal e na recuperação dos atributos químicos, físicos e biológicos destes solos, de modo que a vegetação impeça o processo erosivo, além de promover a reorganização do ecossistema. De acordo com CAMPOS et al. (2003), as etapas de recuperação

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

² Universidade do Estado de Santa Catarina, Chapecó, SC, Brasil.

*Autor para correspondência <iunes1981@gmail.com>.

das áreas degradadas pela mineração seguem o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, e foram observadas em vários projetos de mineração apresentados ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Maiores detalhes das etapas de recuperação podem ser encontradas em CAMPOS et al. (2003).

A recuperação dos locais de mineração depende de complexas interações entre a fauna do solo, os microrganismos e a vegetação (MARAMBA et al. 2006, WANG et al. 2006, FROUZ et al. 2008). A melhoria do ambiente edáfico tem efeitos positivos sobre o todo, e a fauna do solo desempenha papel crucial no restabelecimento de um ecossistema funcional (CRISTESCU et al. 2012).

O estudo da mesofauna do solo como indicador da qualidade do solo é muito importante para entender os processos ecológicos que ocorrem nestas áreas, uma vez que desempenha papel central nos serviços prestados ao solo (SCHON et al. 2012), podendo melhorar a recuperação/restauração do solo. Estes serviços incluem a ciclagem de nutrientes, ativação e controle da biomassa microbiana e fontes de alimentos para outros organismos. O aumento da diversidade da fauna e o reestabelecimento da cadeia trófica podem ser indicativos de que o ecossistema vem se mantendo em equilíbrio e se autossustentado (BARETTA et al. 2011), melhorando significativamente as propriedades físicas e químicas do solo de áreas em recuperação (TOPP et al. 2001).

A área denominada Mina do Apertado, em Lauro Müller, SC, vem servindo de base experimental para estudos científicos visando à recuperação de solos degradados pela mineração de carvão a céu aberto (LUNARDI NETO et al. 2008). Nessa área, foi detectada deficiência na construção do solo pela disposição inadequada de materiais e resíduos da mineração, com prejuízo às propriedades físicas e químicas do solo (CAMPOS et al. 2003).

O objetivo foi avaliar a presença da mesofauna edáfica em solos construídos da área denominada Mina do Apertado, com diferentes tratamentos de recuperação, respondendo as seguintes perguntas: (1) O modelo de recuperação (calcário + cama de aves + *Brachiaria* sp.) utilizado pelas empresas de mineração promove um ambiente adequado para os grupos da mesofauna edáfica? (2) O método de recuperação utilizado é eficiente no processo de recolonização da mesofauna edáfica quando comparado com uma área de referência?

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental da Mina do Apertado no município de Lauro Müller, SC, em área de mineração de carvão a céu aberto, cujo solo passou por processo de construção. Foram coletadas amostras adicionais, em área de campo naturalizado (CN) e de mata nativa (MN), que serviram como referência da fauna nativa do solo, para efeito de comparação, nos quais foram realizadas amostragens do solo mais serapilheira em quatro épocas: outubro de 2009, fevereiro, maio e agosto de 2010.

O clima da região é considerado temperado, com invernos frios e verões quentes, sem estação seca (Cfa) segundo a classificação de Köppen-Geigen (PEEL et al. 2007), com precipitação e temperatura média anual, respectivamente, de 1.400 mm e 19 °C (PANDOLFO et al. 2002). De acordo com CAMPOS et al. (2003) que analisaram um solo adjacente à área Mina do Apertado, o solo é classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alítico típico (EMBRAPA 2006), sendo a classe de solo predominante na região.

A Tabela 1 apresenta breve resumo das atividades ocorridas na área experimental da Mina do Apertado (MA), na MN e no CN. Assim, no período das coletas, a área do experimento da Mina do Apertado constituiu-se em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, sendo os tratamentos: testemunha (MAT); calcário (MAC); calcário + *Brachiaria brizantha* (MACB); calcário + cama de aves + *B. brizantha* (MACCB); e “dregs” (MAD). No CN e na MN foram coletadas seis amostras em transecto com distância de 10 metros entre pontos.

Para coleta da mesofauna utilizou-se de um cilindro de aço inoxidável de 17 cm de diâmetro, amostrando o solo mais a serapilheira na profundidade de 5 cm. A amostra retirada foi acondicionada em saco plástico para minimizar as perdas de umidade e identificados. Para a extração da mesofauna foi utilizado o método de Berlese modificado (SOUTHWOOD 1968), onde a amostra permaneceu pelo período de três dias. Após o período de exposição, as amostras dos frascos foram passadas em peneiras com malhas de 0,20; 0,15 e 0,10 mm, para separar o solo e os fragmentos vegetais.

Os organismos extraídos das amostras foram colocados em potes plásticos e conservados em solução de álcool (70%) para posterior identificação

Tabela 1 - Principais práticas de manejo adotadas na área experimental da Mina do Apertado (CAMPOS et al. 2003, LUNARDI NETO et al. 2008) e descrição da Mata Nativa e do Campo Naturalizado.

Table 1 - Main management practices adopted in the experimental area of the Mina do Apertado, and description of the Native Forest and Naturalized Field (CAMPOS et al. 2003, LUNARDI NETO et al. 2008).

Ano	Manejo
Mina do Apertado (MA; 28°21'58.18"S, 49°27'30.98"W)	
1992	Minação da área.
1995/96	Recomposição do local, utilizando material proveniente do decapeamento de um morro situado nas proximidades da área minerada resultando em mistura de várias camadas geológicas e perda do solum original.
2001	Início do manejo do solo construído para a implantação do experimento. Delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, e parcelas com dimensões de 12,5 x 9 m. Aplicação dos tratamentos: testemunha; calcário; calcário + <i>Brachiaria brizantha</i> ; e calcário + <i>B. brizantha</i> + cama de aves. Plantio de <i>B. brizantha</i> , aplicação de calcário (25 Mg ha ⁻¹ , com PRNT 100%, visando elevar o pH do solo para 6,0) e de cama de aves (6 Mg ha ⁻¹ em base seca), nos respectivos tratamentos. Adubação NPK em todas as parcelas (66 kg ha ⁻¹ de N na forma de ureia, 110 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ na forma de superfosfato triplo e 110 kg ha ⁻¹ de K ₂ O na forma de cloreto de potássio, de acordo com a recomendação para gramíneas forrageiras de estação quente). Utilização de mudas de <i>Eucalyptus saligna</i> na revegetação em todos os tratamentos.
2004	Apesar dos tratamentos e da adição da adubação mineral, o eucalipto não apresentou crescimento adequado, devido às restrições químicas e físicas do solo (LUNARDI NETO et al. 2008). Reformulação do experimento, sendo os quatro tratamentos originais reaplicados nas respectivas parcelas e introdução de um tratamento adicional com “dregs”, um resíduo alcalino da indústria de celulose. Replanteio de <i>B. brizantha</i> , nova aplicação de calcário (13 Mg ha ⁻¹ de calcário com PRNT 100%) e de cama de aves (9 Mg ha ⁻¹ em base seca) e aplicação de “dregs” (dose foi correspondente ao somatório das doses de calcário que foram aplicadas nos tratamentos com calcário, efetuando-se a correção de acordo com seu poder corretivo de neutralização; para ver análise química do “dregs” consultar Lunardi Neto et al. 2008), nos respectivos tratamentos. Utilização de mudas de <i>Pinus taeda</i> em uma metade da parcela e, na outra metade, <i>E. saligna</i> na revegetação em todos os tratamentos. Adubação NPK em todas as parcelas (66 kg ha ⁻¹ de N na forma de ureia, 110 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ na forma de superfosfato triplo e 110 kg ha ⁻¹ de K ₂ O na forma de cloreto de potássio).
Mata Nativa (MN; 28°21'50.80"S, 49°27'25.48"W)	
	Cerca de 2 ha, localizada aproximadamente 230 metros da área MA, é um pequeno remanescente de Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Atlântica) existente na região, constituída de vegetação típica do bioma da Mata Atlântica, sendo a área que mais se aproxima do estado natural. Entretanto, apresenta baixa intervenção antrópica e formação de caminhos pela entrada de gado.
Campo Naturalizado (CN; 28°21'49.99"S, 49°27'23.96"W)	
	Cerca de 2 ha, localizada aproximadamente 230 metros da área MA, considerada como campo naturalizado após a retirada da mata em anos anteriores para utilização com pastagem, porém na época das coletas encontrava-se, de acordo com o proprietário, em pousio de médio prazo (período de pousio > 1-2 anos; HUISING 2010), sendo composta por espécies de gramíneas e leguminosas, com predominância de capim-limão (<i>Cymbopogon</i> sp.) e pega-pega (<i>Desmodium</i> sp.), além de outras espécies nativas ou naturalizadas.

e quantificação, com auxílio de lupa binocular com 40 vezes de aumento. Assim, os insetos imaturos e adultos coletados foram identificados quanto à Ordem [Coleoptera (Colp); Dermaptera (Der); Diptera (Dipt); Hymenoptera, especificamente a família Formicidae (For); Heteroptera - Hemiptera (Het); Isoptera (Ispt); Larva de Coleoptera + Pupa de Coleoptera (LCol); Larva de Diptera (LDipt); Orthoptera (Ort); Thysanoptera (Thy)], com auxílio de literatura específica (GALLO et al. 2002, COSTA et al. 2006). Os outros organismos invertebrados foram classificados em grandes grupos taxonômicos: Arachnida [Acari (Aca); Araneae (Ara); Pseudoscorpionida (Pse)], Collembola (Coll), Diplura (Dipl), Enchytraeidae (Enc), Isopoda (Isop), Myriapoda [Chilopoda (Chi); Diplopoda (Dip); Symphyla (Sym)], Protura (Pro) e Outros Grupos (OG; organismos não identificados e grupos de menor ocorrência) (BRUSCA & BRUSCA 2003). A partir do resultado de densidade de indivíduos (ind. m⁻²), foi obtida a frequência relativa e riqueza dos grupos taxonômicos.

As análises químicas do solo foram realizadas em amostras coletadas, na profundidade de 5 cm com trado de rosca, ao lado dos pontos amostrais para avaliação da mesofauna. Os atributos químicos analisados foram pH em água, teores de Ca, Mg, Al trocável, P, K e matéria orgânica (MO) (Tabela 2). Teores de Ca, Mg e Al trocável foram extraídos por KCl, Ca e Mg determinados por absorção atômica e Al por titulometria. Teores de P e K foram extraídos por

Mehlich-1, o P foi determinado por espectrofotômetro e o K por fotometria de chama. Todas as análises seguiram o protocolo descrito por TEDESCO et al. (1995).

O tratamento estatístico dos dados foi realizado por dois métodos. O primeiro método consistiu da análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por meio do teste LSD ($p < 0,05$), utilizando o programa computacional Statistica 7.0, dos atributos da fauna do solo (densidade e riqueza). O segundo método consistiu em análise multivariada dos dados para diferenciação dos tratamentos e áreas.

O número de indivíduos por metro quadrado de cada grupo taxonômico foi utilizado para obtenção do comprimento do gradiente, que foi maior que três (resposta unimodal). Optou-se, então, pela análise de correspondência (*Correspondence Analysis* – CA), com o objetivo de verificar quais grupos da mesofauna poderiam ser utilizados para diferenciar ou indicar similaridades entre tratamentos e áreas. A abundância total dos grupos nas quatro coletas (excluindo o efeito de época de coleta) foi utilizada durante a análise estatística, a fim de padronizar os dados e utilizar melhor as informações sobre abundância de indivíduos. Devido à alta heterogeneidade de variância (alta presença de zeros), os dados de abundância foram transformados para $(x+0,5)^{0,5}$ para padronizar e normalizar todos os dados. A análise foi realizada com o Software CANOCO 4.5 (TER BRAAK & SMILAUER 1998).

Tabela 2 - Características químicas (média \pm desvio padrão) do solo na profundidade de 5 cm nos tratamentos da Mina do Apertado, na Mata Nativa e no Campo Naturalizado, no município de Lauro Müller, SC. Médias das quatro épocas de coleta.

Table 2 - Chemical characteristics (mean \pm standard deviation) in the soil depth of 5 cm in Mina do Apertado treatments, the Native Forest and Naturalized Field, in Lauro Müller, SC. Averages of four sampling season.

Área	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P _{Mehlich}	K ⁺	MO
	H ₂ O	----- cmolc dm ⁻³ -----				mg dm ⁻³	%
MAT (n = 12)	4,13 \pm 0,40	0,77 \pm 0,46	0,86 \pm 0,59	5,65 \pm 1,48	4,63 \pm 1,35	198 \pm 106	1,08 \pm 0,05
MAC (n = 12)	6,64 \pm 0,19	4,52 \pm 2,89	2,49 \pm 1,84	0,15 \pm 0,10	5,45 \pm 1,18	130 \pm 11	1,68 \pm 0,05
MACB (n = 12)	6,57 \pm 0,12	4,68 \pm 3,38	2,76 \pm 2,58	0,15 \pm 0,10	7,70 \pm 4,25	140 \pm 9	2,23 \pm 0,10
MACCB (n = 12)	6,66 \pm 0,42	3,92 \pm 0,49	2,31 \pm 0,63	0,13 \pm 0,10	25,05 \pm 13,59	175 \pm 100	1,58 \pm 0,15
MAD (n = 12)	5,24 \pm 0,92	3,62 \pm 0,68	0,75 \pm 0,35	0,98 \pm 1,55	6,58 \pm 2,65	139 \pm 53	1,33 \pm 0,10
MN (n = 24)	3,60 \pm 0,15	1,35 \pm 1,27	1,41 \pm 1,24	5,48 \pm 0,31	9,08 \pm 1,82	117 \pm 36	3,63 \pm 0,36
CN (n = 24)	4,08 \pm 0,06	3,06 \pm 1,48	1,16 \pm 0,24	3,65 \pm 0,72	3,88 \pm 2,63	127 \pm 142	3,13 \pm 0,15

MAT: Mina do Apertado - Testemunha; MAC: Mina do Apertado - Calcário; MACB: Mina do Apertado - Calcário + *Braquiaria brizantha*; MACCB: Mina do Apertado - Calcário + Cama de Aves + *B. brizantha*; MAD: Mina do Apertado - Dregs; MN: Mata Nativa; CN: Campo Naturalizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade e Riqueza de Organismos

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre as épocas de coleta da fauna do solo em MAC, MACB, MACCB, MAD, MN e CN (Tabela 3). Os valores de densidade variaram de 323 ind. m^{-2} no tratamento MAT na Época 4 a 12.173 ind. m^{-2} no tratamento CN na Época 1. Observou-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) entre os tratamentos durante a mesma época, ou seja, na Época 1, os tratamentos MAT, MAC e MAD e a área CN diferiram dos tratamentos MACB e MACCB e MN. Na Época 2, MAD e CN não diferiram de MAC, MACB e MN. No entanto, não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos e áreas nas Épocas 3 e 4 (Tabela 3).

ROVEDDER et al. (2004) também observaram tendência de redução no número de indivíduos coletados em área degradada, plantio direto, campo nativo e povoamento de eucalipto. A explicação para

esta redução pode estar relacionada aos organismos da fauna edáfica apresentarem comportamento sazonal ou relacionado com a duração do ciclo biológico.

Os valores de riqueza média dos grupos taxonômicos diferiram entre as épocas de coleta para os tratamentos MAC, MACB, MACCB e MAD e as áreas MN e CN, sendo os maiores valores de riqueza encontrados nas épocas mais quentes (Época 1 e 2), em comparação as mais frias (Épocas 3 e 4; Tabela 3). Em relação à ocorrência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos e áreas durante a mesma época de coleta, o tratamento MAT diferiu dos demais na Época 1, em que CN, MN e MACCB apresentaram os maiores valores.

Os solos da MAT, MAD, MN e CN apresentaram os atributos químicos menos favoráveis, como teores de nutrientes e matéria orgânica, baixo valor de pH e alto teor de Al trocável (Tabela 2). No entanto, esses fatores parecem não ter afetado a presença da fauna do solo, haja vista que a densidade (Tabela 3) foi

Tabela 3 - Densidade média de organismos (ind. m^{-2}) e riqueza média da comunidade da fauna invertebrada do solo coletadas na Mina do Apertado (MAT - Testemunha; MAC - Calcário; MACB - Calcário + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Calcário + Cama de aves + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs), na Mata Nativa (MN) e no Campo Naturalizado (CN). Média \pm desvio padrão.

Table 3 - Average density of organisms (ind. m^{-2}) and the average wealth of invertebrate soil fauna collected in Mina do Apertado (MAT control; MAC - Limestone; MACB - Limestone + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Limestone + poultry litter + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs), the Native Forest (MN) and Naturalized Field (CN). Mean \pm standard deviation.

Épocas	MAT	MAC	MACB	MACCB	MAD	MN	CN
Densidade							
Época 1 (out/09)	7327aA*	9750aA	2878abB	3965aB	10720aA	5235aB	12173aA
	± 3360	± 4366	± 1794	± 665	± 5553	± 3205	± 6993
Época 2 (fev/10)	3774aB	4809bAB	5367aAB	3796aB	8113aA	5705aAB	11079aA
	± 4614	± 4818	± 3966	± 1659	± 5484	± 5552	± 8985
Época 3 (mai/10)	5771aA	2518bA	2504abA	984bA	4728abA	4883aA	2034bA
	± 8890	± 1909	± 2313	± 1126	± 7304	± 5482	± 2117
Época 4 (ago/10)	323aA	925bA	470bA	756bA	646bA	396bA	925bA
	± 217	± 1249	± 434	± 719	± 583	± 252	± 547
Riqueza							
Época 1 (out/09)	5,0aB	5,7aAB	5,7aAB	7,0aA	5,7aAB	7,0aA	8,2aA
	$\pm 2,0$	$\pm 0,6$	$\pm 1,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$	$\pm 1,2$
Época 2 (fev/10)	4,7aA	5,7aA	4,7aA	4,7abA	5,7aA	6,8aA	6,2bA
	$\pm 3,3$	$\pm 3,7$	$\pm 2,1$	$\pm 1,4$	$\pm 3,1$	$\pm 3,4$	$\pm 1,2$
Época 3 (mai/10)	4,0aA	4,8aA	5,5aA	3,7bA	4,0abA	5,2aA	5,3bA
	$\pm 2,0$	$\pm 1,6$	$\pm 1,4$	$\pm 2,4$	$\pm 1,3$	$\pm 2,8$	$\pm 1,5$
Época 4 (ago/10)	3,2aA	2,2bA	2,7bA	3,0bA	1,7bA	2,2bA	2,7cA
	$\pm 1,2$	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 1,0$

*Letras minúsculas na coluna representam diferenças entre épocas por tratamento e letras maiúsculas na linha representam diferenças entre os tratamentos por época, através do teste LSD ($p < 0,05$).

semelhante ou maior em determinada época de coleta que outros tratamentos que passaram por processo de recuperação do solo. Por exemplo, na Época 1 o tratamento MAT apresentou 7.327 ind. m⁻² em comparação com o tratamento MACB que teve 2.878 ind. m⁻². O mesmo aconteceu quando comparamos o tratamento MAT e MN em relação à riqueza média (Tabela 3).

Considera-se a possibilidade de que o tratamento testemunha (MAT) dentro da área experimental, lado a lado aos demais tratamentos, não represente a realidade das áreas adjacentes à área experimental que não receberam recuperação. Analisando dessa forma, pode-se dizer que as áreas adjacentes à experimental representam a realidade de uma testemunha, pois elas não sofreram influência dos tratamentos aplicados apresentando-se igual à época em que foi realizada a primeira implantação do experimento em 2001.

Em geral, os estudos que comparam a fauna de áreas recuperadas com áreas sob a sucessão espontânea concluem que os últimos são de maior valor ecológico

(LONGCORE 2003). Entretanto, neste estudo as áreas consideradas como referência (MN e CN) mostram valores médios de riqueza (Tabela 3) semelhantes aos tratamentos que passaram por processo de recuperação, mostrando haver, desse modo, efeito da recuperação do solo sobre a fauna. De acordo com MAJER (1989), a riqueza de espécies pode indicar a qualidade dos ecossistemas e, conseqüentemente, o sucesso de projetos de recuperação/restauração.

Frequência de Organismos

Encontraram-se 19 táxons, independentemente de tratamento/área e época de estudo (Tabela 4). Os grupos presentes em todos os tratamentos/áreas foram Acari, Araneae, Collembola, Formicidae, Heteroptera, Isopoda e Symphyla. Acari, Collembola e Formicidae foram os grupos mais frequentes da comunidade da fauna do solo encontrados, com as maiores densidades em todos os tratamentos/áreas e épocas de coleta, embora tenha havido diferenças entre frequência relativa em cada época. BARROS et

Tabela 4 - Presença (+) e ausência (-) da comunidade da fauna invertebrada do solo coletadas na Mina do Apertado (MAT - Testemunha; MAC - Calcário; MACB - Calcário + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Calcário + Cama de aves + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs), na Mata Nativa (MN) e no Campo Naturalizado (CN), independente da época de coleta

Table 4 - Presence (+) or absence (-) of the invertebrate fauna of the soil collected in the Mina do Apertado (MAT control; MAC - Limestone; MACB - Limestone + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Limestone + poultry litter + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs), the Native Forest (MN) and Naturalized Field (CN), regardless of sampling season.

Grupos	MAT	MAC	MACB	MACCB	MAD	MN	CN
Acari	+	+	+	+	+	+	+
Araneae	+	+	+	+	+	+	+
Chilopoda	-	+	+	+	+	+	+
Collembola	+	+	+	+	+	+	+
Coleoptera	+	-	+	+	-	+	+
Dermaptera	-	+	+	-	-	+	-
Diplopoda	-	-	+	-	-	+	-
Diplura	+	-	-	+	-	-	-
Diptera	+	+	-	+	+	+	+
Enchytraeidae	+	-	+	+	+	+	+
Formicidae	+	+	+	+	+	+	+
Heteroptera	+	+	+	+	+	+	+
Isopoda	+	+	+	+	+	+	+
Isoptera	-	-	-	-	-	-	+
Orthoptera	-	-	+	-	-	-	-
Protura	+	+	-	+	+	+	+
Pseudoscorpionida	-	-	-	-	-	+	-
Symphyla	+	+	+	+	+	+	+
Thysanoptera	-	-	-	-	-	+	+
Riqueza Total	12	11	13	13	11	16	14

al. (2010) encontraram 23 táxons e, também, Acari, Collembola e Formicidae foram os grupos mais frequentes da comunidade da fauna do solo em área de mineração e metalurgia de chumbo, no município de Adrianópolis (PR).

A área MN apresentou maior riqueza total de grupos taxonômicos que os demais tratamentos, independente de época (Tabela 4). Isto pode estar relacionado ao fato de áreas naturais apresentarem uma maior diversidade vegetal. De acordo com LAWES et al. (2005), áreas de florestas nativas, em geral, possuem hábitat com maior heterogeneidade e são capazes de dar maior suporte à diversidade de organismos edáficos; haja vista que as plantas desempenham papel principal na formação da estrutura física do hábitat, além de fazerem parte da cadeia alimentar (FROUZ et al. 2008).

Práticas de recuperação de ecossistemas promovem o rápido enriquecimento da comunidade de formigas, as quais, em áreas com solos pobres em nutrientes, podem ser essenciais para a recuperação do solo e revegetação após a perturbação (FOWLER 1998). O solo existente na região deste estudo apresenta fertilidade natural baixa e a presença de formigas pode ter sido fundamental para a recuperação do tratamento MAT, em decorrência do seu papel na prestação de serviços ecológicos mencionados acima.

Análise de Correspondência (CA)

O resultado da CA evidenciou, por meio da relação entre os eixos 1 e 2, que houve separação entre os tratamentos/áreas estudados. Ao longo do eixo 1 o tratamento MACCB ficou separado dos demais com escore positivo, enquanto que MAD, com escore negativo (Figura 1). A área CN e o tratamento MACB ficaram muito próximos entre si (muito similares) e dispostos no centro (próximas do zero). Os eixos 1 e 2 explicaram 16,0% e 11,2% da variabilidade dos dados, respectivamente.

Ainda, pode-se visualizar maior ou menor associação de cada grupo da fauna do solo por meio dos valores de cada variável no lado positivo ou negativo dos eixos 1 e 2 (Figura 1). Assim, mais frequente é sua ocorrência conjunta quanto mais próxima duas variáveis (grupo da fauna do solo x tratamento) estiverem na figura. Os grupos Coleoptera (adultos e larvas) e Symphyla ficaram mais associados a MN, enquanto Araneae e Diptera aos tratamentos MAT e MAC e ao CN. Acari, Collembola, Dermaptera, Chilopoda, Thysanoptera e Larva de Diptera foram

correlacionados com MACCB.

A presença de certas espécies podem revelar aspectos particulares da dinâmica do ecossistema. Segundo DUNGER & VOIGTLÄNDER (2005), a fauna do solo coloniza locais de mineração de carvão a céu aberto em grupo-específico, bem como espécie-específica. Isto pode ser usado para a caracterização de certos níveis do desenvolvimento da área.

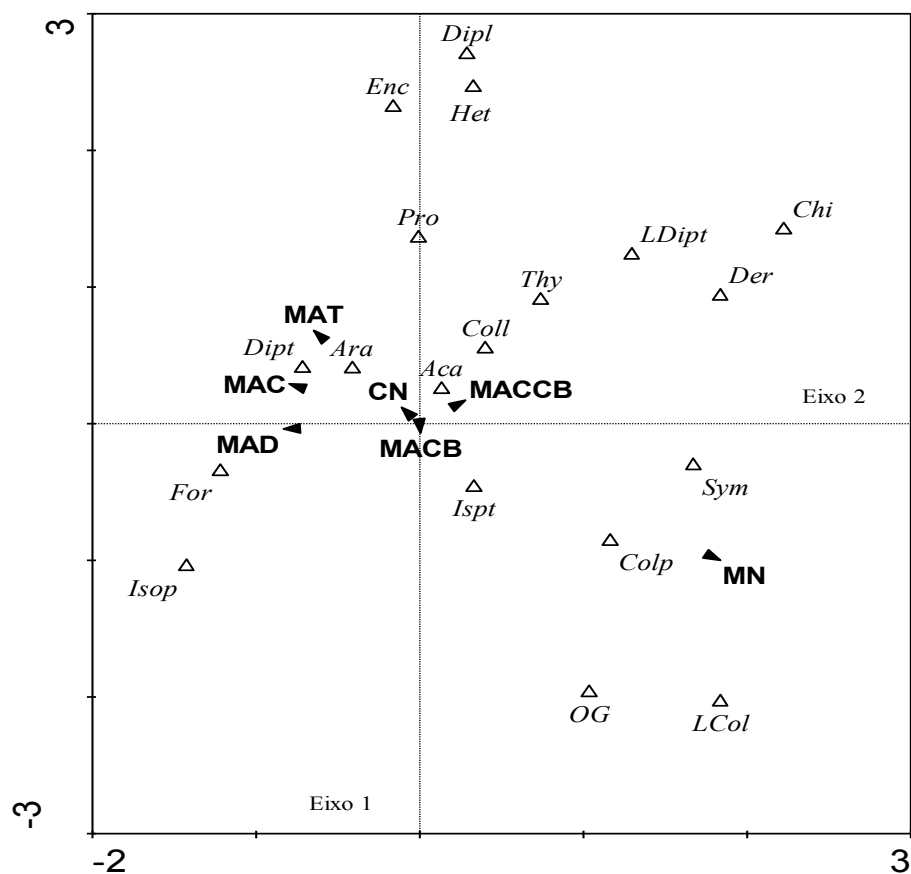
Nesse estudo, a CA indicou que os tratamentos que sofreram algum tipo de intervenção antrópica, sejam por processo de construção e recuperação do solo (como a Mina do Apertado) ou por ocasião de desmatamento e transformação em pastagem (como o Campo Naturalizado - CN), estão muito próximos entre si e separados da mata nativa, a qual não apresenta intervenção antrópica. Portanto, as espécies vegetais, pela adição de material orgânico ao solo, influenciam diretamente a ocorrência de comunidades de organismos do solo (AQUINO et al. 2008), fato esse observado na MN que apresentou maior número de espécies vegetais. Ainda, a redução na quantidade de resíduos culturais, principal fonte de alimento e hábitat natural dos organismos, provoca desequilíbrio entre a fauna edáfica, o que leva à redução de indivíduos e espécies, até que um novo equilíbrio se estabeleça (BARETTA et al. 2006).

Discussão Geral

A mineração a céu aberto é responsável por distúrbios em grande escala e ao mesmo tempo muito intensivos (FROUZ et al. 2006). Normalmente, depois da mineração, as condições do solo são secos, ácidos e pobres em nutrientes (HOLEC & FROUZ 2005, FROUZ et al. 2006), como é o caso do solo do tratamento MAT que apresentou baixos valores de pH, teores de nutrientes e matéria orgânica.

Os impactos das mudanças na diversidade dependem das condições biológicas do ecossistema original ou com pouca interferência do homem, por exemplo, da riqueza e densidade de espécies da fauna do solo antes da interferência e da intensidade do distúrbio imposto ao ecossistema (BARETTA et al. 2011). Fator esse que pode ter contribuído para valores semelhantes de riqueza e densidade quando comparados às áreas de referência com as afetadas pela mineração.

A fauna do solo desempenha papel importante em muitos dos processos ecológicos que ocorrem em ecossistemas, sugerindo que seja uma boa ferramenta para avaliar o sucesso da recuperação/restauração



Abreviações da fauna do solo, Aca: Acari; Ara: Araneae; Chi: Chilopoda; Coll: Collembola; Colp: Coleoptera; Der: Dermaptera; Dipl: Diplura; Dipt: Diptera; Enc: Enchytraeidae; For: Formicidae; Het: Heteroptera – Hemiptera; Isop: Isopoda; Ispt: Isoptera; Pro: Protura; Sym: Symphyla; Thy: Thysanoptera; LCol: Larva de Coleoptera; LDipt: Larva de Diptera; OG: outros grupos (organismos não identificados e de baixa ocorrência, como Diplopoda, Orthoptera e Pseudoscorpionida).

Figura 1 - Análise de Correspondência (CA) discriminando a fauna do solo e os tratamentos estudados [Mina do Apertado (MAT - Testemunha; MAC - Calcário; MACB - Calcário + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Calcário + Cama de aves + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs)], e as áreas da Mata Nativa (MN) e do Campo Naturalizado (CN), independente da época de coleta.

Figure 1 - Correspondence Analysis (CA) discriminating soil fauna and the treatments [Mina do Apertado (MAT control; MAC - Limestone; MACB - Limestone + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Limestone + poultry litter + *Brachiaria brizantha*; MAD - Dregs), the Native Forest (MN) and Naturalized Field (CN), regardless of sampling season.

(JANSEN 1997).

Mas será que este estudo descreve se a recuperação foi satisfatória? A resposta para essa pergunta é particularmente importante se as empresas de minerações abdicarem da responsabilidade para com a área em algum período (MAJER et al. 2007). Em relação ao presente estudo, a recuperação foi satisfatória durante o período de um ano (quatro coletas). Entretanto, é necessária a avaliação contínua da área por um período de tempo maior para saber se

a estrutura e função mantêm-se satisfatórias.

Outro fator de grande importância é o monitoramento dessas áreas em longo prazo, pois foi demonstrado por WANNER & DUNGER (2002) que pesquisas de longo prazo são essenciais para a avaliação de áreas de mineração recuperadas. Assim, estudos com a fauna do solo fornecem informações importantes sobre o funcionamento do ecossistema em áreas recuperadas/restauradas, melhorando a compreensão desses locais.

CONCLUSÕES

A fauna do solo apresenta influência dos tratamentos da Mina do Apertado (MAT - Testemunha; MAC - Calcário; MACB - Calcário + *Brachiaria brizantha*; MACCB - Calcário + Cama de aves + *B. brizantha*; MAD - Dregs) e por isso pode ser utilizada como bioindicador das alterações ocasionadas pela recuperação do solo.

Os modelos de recuperação da Mina do Apertado (MAC, MACB, MACCB, MAD), como também semelhante ao utilizado pelas empresas de mineração (MACCB), promove um ambiente adequado para os grupos da mesofauna edáfica em relação aos grupos encontrados na Mata Nativa (referência), satisfazendo os serviços do ecossistema prestados por eles.

Para conclusão mais correta acerca da recuperação/restauração da área de estudo é necessário, não somente, a criação de protocolos de amostragem padronizados para o levantamento da biota no campo, mas, também, a classificação em nível de espécies e a investigação dos serviços ecológicos prestados por espécies ao ecossistema.

REFERÊNCIAS

- AQUINO AM et al. 2008. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *Eur J Soil Biol* 44: 91-97.
- BARETTA D et al. 2006. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. *Rev Ciênc Agrovet* 5: 108-117.
- BARETTA D et al. 2011. Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópico Ci Solo* 7: 141-192.
- BARROS YJ et al. 2010. Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II – Mesofauna e plantas. *Rev Bras Ci Solo* 34: 1413-1426.
- BELLOLI M et al. 2002. A história do carvão de Santa Catarina. Criciúma: IOESC. 296p.
- BRUSCA RC & BRUSCA GJ. 2003. *Invertebrates*. 2.ed. Sunderland: Sinauer Associates. 938p.
- CAMPOS ML et al. 2003. Avaliação de três áreas de solo construído após mineração de carvão a céu aberto em Lauro Müller, Santa Catarina. *Rev Bras Ci Solo* 27: 1123-1137.
- CASTILHOS ZC & FERNANDES FRC. 2011. A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade. In: FERNANDES FRC et al. (Eds.). *Recursos minerais & sustentabilidade territorial: grandes minas*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. p.361-386.
- COSTA C et al. 2006. Insetos imaturos: metamorfose e identificação. Ribeirão Preto: Editora Holos. 249p.
- CRISTESCU RH et al. 2012. A review of fauna in mine rehabilitation in Australia: current state and future directions. *Biol Conserv* 149: 60-72.
- DUNGER W & VOIGTLÄNDER K. 2005. Assessment of biological soil quality in wooded reclaimed mine sites. *Geoderma* 129: 32-44.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 306p.
- FOWLER HG. 1998. Provas de melhoria ambiental. *Ci Hoje* 24: 69-71.
- FROUZ J et al. 2006. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: results of a field microcosm experiment. *Appl Soil Ecol* 33: 308-320.
- FROUZ J et al. 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *Eur J Soil Biol* 44: 109-121.
- GALLO D et al. 2002. *Entomologia agrícola*. Piracicaba: FEALQ. 920p.
- HOLEC M & FROUZ J. 2005. Ant (Hymenoptera: Formicidae) communities in reclaimed and unreclaimed brown coal mining spoil dumps in the Czech Republic. *Pedobiol* 49: 345-357.
- HUISING J. 2010. Descrição e classificação de uso da terra nos locais de amostragem para o inventário de biodiversidade do solo. In: MOREIRA FMS et al. (Eds.). *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: UFLA. p.315-349.
- JANSEN A. 1997. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of the success of a tropical rainforest restoration project. *Rest Ecol* 5: 115-124.
- LAWES MJ et al. 2005. Epigeic invertebrates as potential ecological indicators of afro-montane forest condition in South Africa. *Biotropica* 37: 109-118.
- LONGCORE T. 2003. Terrestrial arthropods as indicator of ecological restoration success in coastal sage scrub (California, U.S.A.). *Rest Ecol* 11: 397-407.
- LUNARDI NETO A et al. 2008. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. *Rev Bras Ci Solo* 32: 1379-1388.
- MAJER JD. 1989. *Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands*. Cambridge: Cambridge University Press. 547p.
- MAJER JD et al. 2007. Invertebrates and the restoration of a forest ecosystem: 30 years of research following bauxite mining in Western Australia. *Rest Ecol* 15: 104-115.
- MARAMBA NC et al. 2006. Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: a toxic legacy. *J Environ Manage* 81: 135-145.
- MME – Ministério das Minas e Energia. 2011. *Plano Nacional de Mineração 2030: geologia, mineração e transformação mineral*. Brasília: MME. 180p.

- PANDOLFO et al. 2002. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri. CD-ROM.
- PEEL MC et al. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11: 1633-1644.
- ROVEDDER AP et al. 2004. Fauna edáfica em solo suscetível à arenização na região sudoeste do Rio Grande do Sul. *Rev Ciênc Agrovet* 3: 87-96.
- SCHON NL et al. 2012. Vulnerability of soil invertebrate communities to the influences of livestock in three grasslands. *Appl Soil Ecol* 53: 98-107.
- SOUTHWOOD R. 1968. Ecological methods with particular reference to the study of insect populations. London: Chapman and Hall. 391p.
- TEDESCO MJ et al. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- TER BRAAK CJF & SMILAUER P. 1998. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4). New York: Microcomputer Power.
- TOPP W et al. 2001. Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. *Ecol Eng* 17: 307-322.
- WANG DD et al. 2006. Effect of earthworms on the phytoremediation of zinc-polluted soil by ryegrass and Indian mustard. *Biol Fertil Soils* 43: 120-123.
- WANNER M & DUNGER W. 2002. Primary immigration and succession of soil organisms on reclaimed opencast coal mining areas in eastern Germany. *Eur J Soil Biol* 38: 137-143.