

## SOBREVIVÊNCIA, PRODUÇÃO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DE COPRÓLITOS DE MINHOCAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO (OXISOL) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Marie Luise Carolina BARTZ,<sup>1</sup> Antonio Carlos Saraiva da COSTA,<sup>2</sup> Cássio Antonio TORMENA,<sup>2</sup> Ivan Granemann de SOUZA Jr.<sup>2</sup> & George G. BROWN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Londrina. Rodovia Celso Garcia Cid, PR 445 Km 480, Caixa Postal 6001, CEP 86051-990, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: bartzmarie@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá. Av. Colombo 5760, CEP 87020-190, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: antoniocscosta@gmail.com, catormena@uem.br, igsjunior@gmail.com.

<sup>3</sup>Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, km 111, CEP 83411-000, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: browng@cnf.embrapa.br

Barz, M. L. C., A. C. S. da Costa, C. A. Tormena, I. G. de Souza Jr. & G. G. Brown. 2010. Sobrevivência, produção e atributos químicos de coprólitos de minhocas em um Latossolo Vermelho distroférico (Oxisol) sob diferentes sistemas de manejo. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 261-280.

**RESUMO.** As atividades das minhocas modificam processos chave no solo e suas populações são impactadas pelo manejo do solo e da cultura, que afeta o suprimento de energia, nutrientes e o estado químico dos solos. Desta forma, foram avaliados a sobrevivência, a perda de peso, a produção de coprólitos e os efeitos das espécies *Pontoscolex corethrurus* e *Amyntas gracilis* sobre os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (Oxisol) sob diferentes sistemas de manejo. Solo seco ao ar, peneirado e umedecido de uma mata nativa (MT), dois agroecossistemas de plantio direto (PD e PDS) e uma pastagem (PT) foram utilizados para o cultivo. As minhocas foram incubadas em sala escura com temperatura controlada para as avaliações biológicas e obtenção dos coprólitos. *Pontoscolex corethrurus* se adaptou bem aos tratamentos, apesar da perda de peso em todos os tratamentos e nos tratamentos PD e PDS os indivíduos terem regredido ao estado juvenil. *Amyntas gracilis* não se adaptou bem aos tratamentos utilizados, resultando em baixas taxas de sobrevivência e altas perdas de peso. As maiores produções de coprólitos foram observadas no tratamento MT para as duas espécies, enquanto as menores ocorreram em PD e PDS para *P. corethrurus* e em PT para *A. gracilis*. Os coprólitos produzidos foram significativamente enriquecidos por cátions trocáveis, carbono orgânico total, fósforo e enxofre, e houve aumento nos valores de pH e bases, comparados com o solo controle. Observou-se que a atividade das espécies no LVdf pode alterar significativamente os teores de nutrientes disponíveis nesses sistemas de manejo, apesar de não terem se desenvolvido bem (perda de peso).

**Palavras chave:** *Pontoscolex corethrurus*, *Amyntas gracilis*, fertilidade do solo, agroecossistemas

**Barz, M. L. C., A. C. S. da Costa, C. A. Tormena, I. G. de Souza Jr. & G. G. Brown.** 2010. Supervivencia, producción y atributos químicos de heces de lombrices de tierra en un Latosol Rojo distroférico (Oxisol) bajo diferentes sistemas de manejo. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 261-280.

**RESUMEN.** Las actividades de las lombrices modifican procesos clave en el suelo y sus poblaciones son afectadas por el manejo del suelo y del cultivo, que afecta el suministro de energía, nutrientes y el estado químico de los suelos. De esta forma, fueron evaluados la supervivencia, la pérdida de peso, la producción de deyecciones y los efectos de las especies *Pontoscolex corethrus* y *Amyntas gracilis* sobre los atributos químicos de un Latosol Rojo distroférico (LVdf) (Oxisol) bajo diferentes sistemas de manejo. Se utilizaron para el cultivo suelo seco al aire, tamizado y humectado de un bosque nativo (MT), dos agroecosistemas de siembra directa (PD y PDS) y un pastizal (PT). Las lombrices fueron incubadas en sala oscura con temperatura controlada para las evaluaciones biológicas y obtención de deyecciones. *Pontoscolex corethrus* se adaptó bien a los tratamientos, a pesar de la pérdida de peso en todos los tratamientos y en los tratamientos PD y PDS los individuos retrocedieron al estado juvenil. *Amyntas gracilis* no se adaptó bien a los tratamientos utilizados, demostrando bajas tasas de supervivencia y elevadas pérdidas de peso. Las mayores producciones de deyecciones se observaron en el tratamiento MT para ambas especies, mientras que las menores ocurrieron en PD y PDS para *P. corethrus* y en PT para *A. gracilis*. Las deyecciones producidas fueron mucho más ricas en cationes intercambiables, carbono orgánico total, fósforo y azufre y hubo aumento en los valores de pH y bases, en comparación con el suelo control. Se observó que la actividad de las especies en el LVdf puede alterar significativamente los contenidos de nutrientes disponibles en esos sistemas de manejo, a pesar de no haberse desarrollado bien (pérdida de peso).

**Palabras clave:** *Pontoscolex corethrus*, *Amyntas gracilis*, fertilidad del suelo, agroecosistemas

## INTRODUÇÃO

As minhocas são engenheiros do ecossistema que modificam os atributos e processos do solo onde quer que estejam presentes. Elas podem ser encontradas na maioria dos ambientes, embora sua presença, muitas vezes, tem sido relacionada à umidade do solo e disponibilidade de matéria orgânica (Lee 1985). As atividades das minhocas, produção de coprólitos, túneis e galerias, exercem influência significativa sobre a agregação do solo, remoção de restos vegetais, decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (Lee & Foster 1991, Martin 1991, Edwards & Bohlen 1996). Quando se alimentam, elas selecionam matéria orgânica na ingestão e a misturam com materiais inorgânicos do solo. Esta mistura passa pelo trato intestinal e é excretada na forma de coprólitos, contribuindo para a agregação do solo e disponibilidade de nutrientes quando os coprólitos envelhecem, estabilizam e se quebram.

As minhocas são, provavelmente, os invertebrados mais importantes no estado inicial da reciclagem da matéria orgânica em muitos solos. Os hábitos alimentares das diferentes espécies influem nos efeitos sobre a fragmentação e incorporação da matéria orgânica dentro do solo. Da matéria orgânica ingerida pelas minhocas, somente uma pequena porcentagem é assimilada – de 2 a 20%, dependendo da espécie e da quantidade e qualidade do material ingerido (Lavelle 1988) – sendo o resto depositado nos coprólitos. As minhocas terrestres têm um papel muito importante

na regulação da dinâmica da matéria orgânica do solo, podendo acelerar ou diminuir a taxa de mineralização mediante sua influência na, e interação com as populações microbianas (Lavelle 1988), liberando nutrientes essenciais para as plantas e assegurando um bom aproveitamento das reservas húmicas dentro do solo (Lee 1985, Edwards & Bohlen 1996).

Devido aos seus efeitos na estrutura física do solo e disponibilidade dos nutrientes, as minhocas podem ter importantes efeitos sobre o crescimento das plantas e a produção agrícola (Brown *et al.* 2004); além disso, podem ser utilizadas como indicadoras de qualidade e poluição do solo e de perturbação nos ecossistemas (Stork & Eggleton 1992, Paoletti 1999). Portanto, as minhocas podem ser consideradas como um recurso biológico a ser manejado, devido aos seus serviços no ecossistema (Lavelle *et al.* 2006).

No entanto, o papel que as diferentes espécies desempenham no ecossistema não é igual e depende de suas estratégias ecológicas, abundância e das propriedades e formas de manejo do ecossistema. Em ecossistemas naturais, minhocas invasoras podem ser uma ameaça ao funcionamento e à biodiversidade (Hendrix 2006). Porém, em agroecossistemas, a colonização por minhocas invasoras pode ser benéfica na maior parte dos casos, contanto que a invasão aos ecossistemas nativos adjacentes seja contida (Baker *et al.* 2006). No entanto, falta esta informação para a maior parte das mais de 960 espécies de minhocas conhecidas nos trópicos e para a maioria das mais comuns nos agroecossistemas da América Latina (Fragoso & Brown 2007). No Brasil, as espécies exóticas do gênero *Amyntas* e a espécie nativa peregrina *Pontosclex corethrurus* (Müller 1857) têm sido amplamente difundidas, principalmente perto de centros urbanos, mas também em jardins e em agroecossistemas de pastagens e plantio direto (Brown *et al.* 2006).

Embora alguns estudos mostraram que estas espécies podem afetar tanto os atributos do solo como a produção vegetal (Peixoto & Marochi 1996, Kobiyama *et al.* 1995), seus efeitos sobre a fertilidade do solo e sua sobrevivência em solos argilosos altamente intemperizados, típicos do 3º planalto paranaense (uma das maiores regiões de produção de grãos do Brasil), ainda são pouco conhecidos.

Portanto, este estudo teve, como objetivo, avaliar a sobrevivência de minhocas e a produção e os atributos químicos dos coprólitos de duas espécies de minhocas (*P. corethrurus* e *Amyntas gracilis*) em um Latossolo Vermelho distroférico proveniente de diferentes sistemas, natural e agrícolas, sob condições de laboratório.

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de coletas de solo foram: 1) Mata nativa (MT), com 150 ha e vegetação tipo Floresta Ombrófila Mista, característica da região Norte do Paraná, localizada na Fazenda Bulle, no município de Arapongas, Paraná; 2) Plantio direto (PD), consoli-

dado há 34 anos com 48 ha e soja já emergida, localizada na Fazenda Rhenânia, no município de Rolândia, Paraná. O histórico das três últimas safras segue a rotação de culturas: 2002/2003 - milho (*Zea mays*), no verão, e aveia (*Avena strigosa*), no inverno; 2003/2004 - soja (*Glycine max*), no verão, e aveia, no inverno; 2004/2005 - soja, no verão, e milho safrinha, no inverno; e 2005/2006 - soja no verão. Anualmente são feitas aplicações de herbicidas e fungicidas na área para o controle de pragas e doenças. Muito esporadicamente é utilizado inseticida, somente quando a infestação de insetos é muito alta e o controle através do manejo integrado de pragas não é efetivo; 3) Plantio direto subsolado (PDS) com 60 ha e soja emergindo, localizada na Fazenda Escalada, município de Arapongas. Nos últimos 5 anos, os plantios foram feitos sob plantio direto com a sucessão das culturas de soja no verão, e trigo (*Triticum aestivum*), no inverno. Antes do último plantio de soja foi feita subsolagem em toda a área, sendo todos os resíduos da cultura anterior incorporados ao solo, utilizando um subsolador de três hastes. Anualmente são feitas aplicações de inseticidas, herbicidas e fungicidas para o controle de pragas e doenças; 4) Pastagem (PT) de capim brizantão (*Brachiaria brizantha*), estabelecida há 30 anos com 109,2 ha, localizada na Estância Santo Ângelo, município de Arapongas.

O solo das áreas foi classificado como um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (Embrapa 1999a), Oxisol (USDA, Soil Survey Staff 1994). Foram escolhidos dois pontos em cada área e coletados 60 kg de solo de cada um dos sistemas. A camada de palhada e restos vegetais foram retirados coletando-se somente solo a uma profundidade de 0 - 20 cm. Os solos foram espalhados sobre bancadas para secagem ao ar, mantidos à sombra na Casa de Vegetação do Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos (LCRR) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e, em seguida, peneirados a 4 mm. Os solos foram estocados em recipientes plásticos com tampa, em torno de 20 kg de cada sistema de manejo, e mantidos em uma sala anexa ao LCRR. Foi feita a caracterização química e física do LVdf de cada área. Para análise destes atributos, foram retiradas duas amostras de cada área após a secagem e peneiramento dos solos. Os resultados obtidos para os atributos químicos e físicos dos diferentes sistemas de manejo estão apresentados na Tabela I.

As espécies de minhocas utilizadas foram *P. corethrus* (*Pc*) e *A. gracilis* (*Ag*). Foram coletadas em pomares da Fazenda Filantrópica da Sociedade Humanistas, no município de São Jerônimo da Serra, Paraná (1º cultivo), em jardins das Chácaras Durânia e Rolândia, localizadas no município de Rolândia (2º cultivo) e na horta do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, localizada no município de Maringá (3º cultivo). Foram coletados, aproximadamente, 60 exemplares de cada espécie, que foram selecionadas manualmente e mantidos no solo de origem até a chegada ao laboratório. No laboratório, foram mantidos no solo de cada sistema antes de serem inoculadas no experimento, pelo menos por uma semana para que os restos de solo do local de origem fossem eliminados. Foram utilizadas

**Tabela I.** Análise dos atributos químicos (macronutrientes e micronutrientes) e granulometria do Latossolo Vermelho distroférrico proveniente dos diferentes sistemas de manejo (MT = mata nativa; PD = plantio direto; PDS = plantio direto subsolado; PT = pastagem). Letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); AT = areia total, AF = areia fina e AG = areia grossa.

Solo	pH CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>										mg dm <sup>-3</sup>					g dm <sup>-3</sup>			Classe textural			
		Al	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	S	P	COT	NT	V	Zn	Cu	Mn	Fe	Argila	Silte		AT	AF	AG
MT	4.2b	0.7b	8.3b	0.23a	2.16b	0.89b	3.3b	11.6a	22.4b	5.2a	29.2b	0.34b	28.2b	2.21a	9.46a	139.7b	47.8a	79.0a	14.1a	7.1d	2.8b	4.1d	Muito argilosa
PD	5.0c	0.0a	5.0a	0.27b	4.59c	1.41c	6.3c	11.3a	44.5c	52.6c	22.6a	0.23a	55.5c	3.44b	11.23b	101.8a	38.6a	76.8a	17.3a	6.7c	3.5c	2.4c	Muito argilosa
PDS	5.1d	0.0a	4.7a	0.49c	4.52c	1.81d	6.8d	11.5a	18.1b	26.5b	23.4a	0.22a	59.0d	2.75b	12.52c	132.8b	53.1a	75.9a	19.5a	5.7b	3.4c	1.2b	Muito argilosa
PT	4.1a	1.3c	9.5c	0.19a	0.70a	0.69a	1.6a	11.0a	7.9a	3.5a	28.0b	0.22a	14.4a	1.62a	12.08c	95.8a	103.8b	80.6a	16.3a	4.3a	2.1a	1.0a	Muito argilosa

somente minhocas adultas das duas espécies. Exemplares extras foram mantidos em cultivos com solo de cada tratamento para reposição dos indivíduos mortos durante o experimento.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), num fatorial de 3 (tratamentos de minhocas)  $\times$  4 (tratamentos de manejos), com 6 repetições. Foram utilizados solos provenientes de quatro sistemas (MT, PD, PDS e PT), com (*Pc*, *Ag*) e sem (0M) minhocas cada um e com seis repetições, totalizando 72 unidades de cultivo. Os seguintes tratamentos foram estabelecidos: Mata + *P. corethrurus* (MT + *Pc*), Mata + *A. gracilis* (MT + *Ag*), Mata sem minhoca (MT – 0M), Plantio Direto + *P. corethrurus* (PD + *Pc*), Plantio Direto + *A. gracilis* (PD + *Ag*), Plantio Direto sem minhoca (PD – 0M), Plantio Direto Subsolado + *P. corethrurus* (PDS + *Pc*), Plantio Direto Subsolado + *A. gracilis* (PDS + *Ag*), Plantio Direto Subsolado sem minhoca (PDS – 0M), Pastagem + *P. corethrurus* (PT + *Pc*), Pastagem + *A. gracilis* (PT + *Ag*) e Pastagem sem minhoca (PT – 0M).

As unidades experimentais consistiram em caixas plásticas com dimensões de 11,5 cm  $\times$  12 cm  $\times$  3,5 cm. Cada caixa recebeu 75 g de solo umedecido com 35 mL de água (em torno de 75% da capacidade de campo) e duas minhocas adultas. As caixas foram mantidas em ambiente escuro, com temperatura média de 25°C, na Sala de Incubação do Laboratório de Fitopatologia do Departamento de Agronomia da UEM. A variação de temperatura foi medida periodicamente utilizando-se um termômetro de temperatura máxima e mínima, que oscilou entre 23 e 27°C, durante o período de incubação.

Os coprólitos produzidos pelas minhocas e o solo sem minhocas (controle) foram utilizados como amostras para as análises. A cada 7, 10 ou 14 dias (dependendo da quantidade de coprólitos disponíveis), foram feitas as coletas dos coprólitos e de uma quantidade equivalente das amostras de solo controle. As coletas dos coprólitos começaram 7 dias após o início do cultivo por meio de pinças e o excesso de solo retirado deles cuidadosamente; já o solo controle e solo adjacente (solo em que as minhocas foram cultivadas) foram coletados utilizando uma espátula. Após a coleta, foi determinada a massa úmida das amostras e colocadas em estufa de circulação forçada (50°C) por dois dias. Em seguida, foram pesadas novamente e, obtida a massa seca, as amostras foram guardadas em frascos plásticos mantidas no LCRR até o momento das análises. A cada 10 ou 14 dias foi feita a troca dos solos das caixas. Foram efetuados dois cultivos para *P. corethrurus*, de 78 (19/dez/2005 a 07/mar/2006) e 76 (10/mar/2006 a 25/mai/2006) dias de duração, e três cultivos para *A. gracilis* de 78, 76 e 61 (31/mai/2006 a 31/jul/2006) dias de duração, sendo que, no cultivo de 76 dias, foi avaliada a sobrevivência, perda de peso e produção de coprólitos. Os outros cultivos foram complementares, e realizados apenas para obtenção da quantidade de coprólitos necessária para as análises químicas. A produção acumulada de coprólitos (g) foi medida ao decorrer do cultivo, efetuando-se as pesagens dos coprólitos a cada coleta.

Foram realizadas análises químicas de fertilidade das amostras de solo de cada área para fins de levantamento (Tabela I), dos solos controles, dos solos adjacentes e dos coprólitos no final dos cultivos, sendo determinados os seguintes atributos: pH CaCl<sub>2</sub>, carbono orgânico total (COT), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), nitrogênio total (NT), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação de bases (V%). As metodologias utilizadas foram baseadas em Embrapa (1997, 1999b).

Foi realizada análise granulométrica das amostras de solo de cada área apenas nas amostras de levantamento (Tabela I). Na terra fina seca ao ar (TFSA), foram determinadas as proporções de areia total, areia fina, areia grossa, silte e argila após agitação mecânica por um período de 8 horas, segundo Embrapa (1997).

Foi realizada análise estatística da sobrevivência, do peso perdido, da produção acumulada de coprólitos e dos atributos químicos. As variáveis foram submetidas aos testes de Levene (homogeneidade) e Shapiro-Wilk (normalidade), onde as variáveis potássio (K<sup>+</sup>) e carbono orgânico total (COT) não atenderam aos testes de homogeneidade e normalidade, sendo os dados transformados em raiz quadrada de x. As variáveis sobrevivência e peso perdido foram transformados em arcsen (raiz p/100), onde p é a porcentagem. Após, foram feitas a análise de variância (teste F) e a comparação de médias (teste Scott-Knott) de todas variáveis, a uma probabilidade de 5%. A análise estatística foi feita utilizando os softwares Sisvar (Ferreira 2003) e SAS (SAS Institute 1999). Foi realizada ainda uma Análise de Componentes Principais (ACP) para os atributos químicos dos solos controles, solos adjacentes de *Pc* e *Ag* e coprólitos de *Pc* e *Ag*, para ordenação das amostras em relação aos atributos químicos, utilizando o software ADE-4 (Thioulouse *et al.* 1997).

## RESULTADOS

### Perda de peso e sobrevivência das minhocas

Em todos os tratamentos, as duas espécies perderam peso (Tabela II), sendo que as maiores perdas foram observadas com *Ag*: nos tratamentos PT, PD, PDS e MT, essa espécie perdeu 100, 90, 78 e 68% do seu peso inicial, respectivamente. Por outro lado, *Pc* perdeu menos peso, pois as minhocas nos tratamentos PD, PDS, MT e PT, perderam 57, 26, 12 e 10 % de sua biomassa inicial, respectivamente. *Pc* esteve melhor adaptada aos solos usados do que *Ag*, pois em PDS e PT todas as *Pc* inoculadas sobreviveram, enquanto em MT e PD a sobrevivência foi de 92 e 83%, respectivamente (Tabela II). Contrariamente, todas as *Ag* inoculadas morreram no tratamento PT e apenas 17% dos indivíduos sobreviveram no tratamento PD. Em MT e PDS, as taxas de sobrevivência foram maiores: 42 e 33%, respectivamente, das minhocas estavam vivas após os 76 dias de incubação (Tabela II).

Com a espécie *Pc*, no final do período de incubação (76 dias) houve “regressão ao estado juvenil”. Isto foi observado nos tratamentos PD, PDS e PT, onde 100, 80

**Tabela II.** Sobrevivência, perda de peso e porcentagem de minhocas juvenis das espécies *P. corethrurus* e *A. gracilis* no final do período de incubação (76 d) nos solos provenientes de diferentes sistemas de manejo (MT = mata nativa; PD = plantio direto; PDS = plantio direto subsolado; PT = pastagem). Letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ); \* número de minhocas no final do período de incubação, sendo o número inicial de 12 minhocas por tratamento – duas por repetição.

SISTEMA DE MANEJO	%					
	Sobrevivência		Perda de peso		Juvenis	
	Pc	Ag	Pc	Ag	Pc	Ag
MT	92a	42b	14a	68a	0 (11)*	0 (11)
PD	83a	17a	57b	90b	100 (10)	0 (2)
PDS	100a	33b	26a	78a	80 (10)	0 (4)
PT	100a	0a	10a	100b	25 (12)	0 (0)

e 25% dos indivíduos inoculados regrediram ao estado juvenil, respectivamente, isto é, não apresentavam o clitelo no final do período de incubação (Tabela II). Este fenômeno não foi observado no tratamento MT para a espécie *Pc* e em nenhum dos tratamentos para a espécie *Ag* (Tabela II).

### Produção acumulada de coprólitos

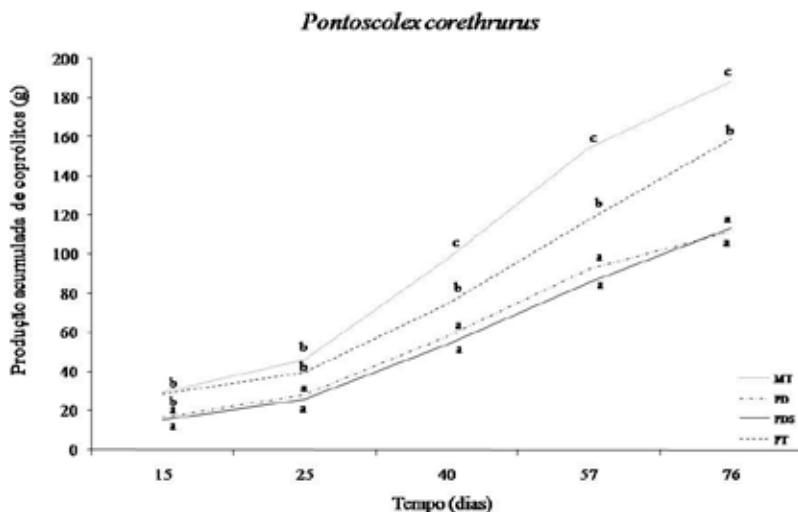
A produção de coprólitos foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) em MT, comparada aos outros tratamentos para as duas espécies (Fig. 1 e 2). Com *Ag*, a produção de coprólitos foi significativamente maior em MT, comparada com os demais tratamentos, durante o período de incubação (Fig. 2). Com *Pc*, a produção acumulada de coprólitos foi também significativamente maior em PT, comparado com PD e PDS (Fig. 1).

Foram encontradas correlações positivas entre os teores de K, Ca, Mg, N e S (apenas para *Pc*), os valores de acidez trocável, SB e V% e a produção total de coprólitos, enquanto correlações negativas foram observadas entre os valores de pH, P (apenas para *Ag*) e os teores de Al. Os valores de C total e CTC não apresentaram correlação significativa com a produção total de coprólitos de nenhuma das espécies (Tabela III).

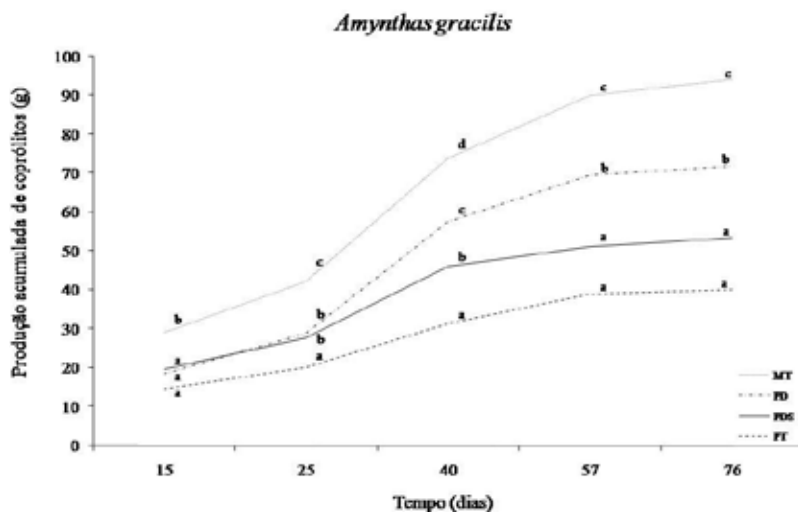
### Atributos químicos dos coprólitos

Os valores de pH do solo foram significativamente mais elevados nos coprólitos de *Pc* produzidos nos tratamentos MT e PT e para *Ag* apenas no tratamento PT. Nos solos provenientes das áreas cultivadas (PD e PDS) não foram observadas diferenças significativas entre os coprólitos das minhocas e o solo controle, porém houve dimi-





**Figura 1.** Produção acumulada de coprólitos da espécie *P. corethrurus* nos diferentes sistemas de manejo (MT = mata nativa; PD = plântio direto; PDS = plântio direto subsolado; PT = pastagem). Letras diferentes no mesmo tempo diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** Produção acumulada de coprólitos da espécie *A. gracilis* nos diferentes sistemas de manejo (MT = mata nativa; PD = plântio direto; PDS = plântio direto subsolado; PT = pastagem). Letras diferentes no mesmo tempo diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

**Tabela III.** Valores (r) e significância (p) das correlações de Pearson da regressão realizada usando os atributos químicos dos solos originais de cada área, e a massa acumulada (76 d) de coprólitos produzidos pelas espécies de minhocas *P. corethrurus* e *A. gracilis*.

Espécie	pH	Al	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	C	N	V	P	S
Pc	r	-0.091	-0.885	0.916	0.922	0.934	0.922	-0.507	0.121	0.937	0.619	0.211	0.565
	p	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	NS	NS	<0.0001	0.0319	NS	NS
Ag	r	-0.958	-0.893	0.955	0.903	0.980	0.933	-0.529	0.061	0.947	0.774	-0.614	0.824
	p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	NS	NS	<0.0001	0.0031	0.0337	0.001

nuição dos valores de pH nos solos em que as minhocas foram cultivadas (adjacente) nos tratamentos MT, PD e PDS para *Ag* e apenas em PDS para *Pc* (Tabela IV).

Os teores de Al foram reduzidos em torno de 50% nos coprólitos produzidos em MT e PT, sendo que nos coprólitos de *Ag* foram observados os menores teores. No solo cultivado com *Pc* também houve redução no teor de Al no tratamento MT. Nos demais tratamentos, PT, PD e PDS, para *Pc* e *Ag* e MT para *Ag*, mesmo não sendo significativa a diferença, é interessante observar que houve tendências em aumentar os teores de Al no solo adjacente em relação ao controle (Tabela IV).

Com relação aos outros cátions, os coprólitos produzidos por *Pc* apresentaram teores mais elevados de K trocável nos tratamentos MT, PD e PDS, mais baixos em PT e teores mais elevados de Ca trocável em todos tratamentos. Por outro lado, os coprólitos produzidos por *Ag* foram enriquecidos com K trocável somente em PT e em Ca em todos os tratamentos (como para *Pc*). É importante ressaltar, ainda, que onde aumentaram os teores dos elementos K e Ca nos coprólitos houve diminuição dos mesmos nos solos em que as minhocas foram cultivadas, em geral na maior parte dos tratamentos, quando comparados ao solo controle (Tabela IV).

Os teores de Mg trocável não foram afetados pelas minhocas e pelos sistemas de manejo. Devido ao alto teor de cátions nos coprólitos, houve aumentos significativos nos valores de soma de bases (SB), que também deveriam ter afetado a CTC. Houve diferenças significativas nos valores de CTC nos coprólitos comparados aos solos controles em MT para as duas espécies onde aumentou o valor da CTC e em PT para *Ag* houve diminuição no valor da CTC, que pode estar ligada a menor acidez potencial no mesmo tratamento e material (Tabela IV).

A respeito dos teores de P, a concentração nos coprólitos foi em torno de 50 % maior nos tratamentos MT e PT e em torno de 10% maior nas áreas de cultivo (PD e PDS), comparado ao solo controle. Os maiores aumentos nos teores de P foram encontrados nos coprólitos de *Ag*. Não foram observadas diferenças significativas entre o solo adjacente e o solo controle. O teor de S aumentou nos coprólitos do tratamento MT para as duas espécies, em PD para *Pc* e em PT para *Ag*. Nos solos em que as minhocas foram cultivadas foram observados aumentos nos tratamentos MT e PD para as duas espécies e em PT para *Pc* (Tabela IV).

Enquanto ao nitrogênio total (NT), não se encontraram diferenças significativas nas porcentagens nos coprólitos ou nos solos adjacentes em relação ao solo controle. Já os teores de carbono orgânico total (COT) foram significativamente mais elevados nos coprólitos das duas espécies, comparados com o solo controle nos tratamentos MT e PT, em PD para *Ag* e em PDS para *Pc* (aumentos variando de 10-15%).

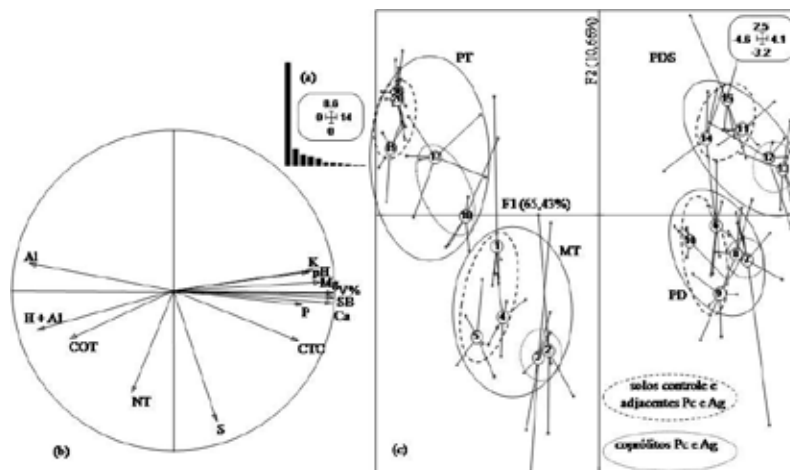
### **Análise de componentes principais**

O primeiro (F1) e segundo (F2) eixos da matriz da ACP dos atributos químicos absorveram 65,4 % e 10,7% da inércia total, respectivamente (Fig. 3). Devido ao acen-

**Tabela IV.** Atributos químicos do solo controle (incubado sem minhocas), do solo adjacente (solo cultivado com Pc ou Ag) e dos coprólitos produzidos por *P. corethriurus* (copr Pc) e por *A. gracilis* (copr Ag) nos diferentes sistemas de manejo (MT = mata nativa; PD = plantio direto; PDS = plantio direto subsolado; PT = pastagem). Letras diferentes na mesma coluna e tratamento diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

Sistema de manejo	Material	N° MAT*	pH	cmolc dm <sup>-3</sup>							mg dm <sup>-3</sup>					%
				CaCl <sub>2</sub>	Al	H + Al	K	Ca	Mg	Sb	CTC	S	P	COT	NT	
MT	Controle	1	4.39b	0.54b	8.01a	0.26b	2.35a	0.94a	3.55a	11.56a	31.27a	3.27a	28.23a	0.29a	30.73a	
MT	Copr Pc	2	4.65c	0.27a	7.74a	0.35c	2.69b	1.21a	4.24b	11.98b	41.83b	5.66b	32.53b	0.34a	35.43b	
MT	Copr Ag	3	4.49b	0.31a	8.04a	0.25b	2.89b	1.20a	4.33b	12.37b	47.12b	6.14b	32.26b	0.28a	35.17b	
MT	Solo Pc	4	4.40b	0.36a	7.57a	0.22a	2.28a	1.01a	3.52a	11.09a	43.15b	3.10a	29.61a	0.31a	31.80a	
MT	Solo Ag	5	4.17a	0.74b	8.45a	0.25b	2.26a	0.99a	3.50a	11.96b	41.55b	4.08a	28.24a	0.33a	29.46a	
PD	Controle	6	4.87b	0.04a	5.74a	0.32b	4.82a	1.52a	6.65a	12.40a	36.80a	56.84b	21.18a	0.26a	53.73b	
PD	Copr Pc	7	4.79b	0.06a	6.06a	0.44c	5.04b	1.71a	7.18b	13.25a	45.28b	64.52c	23.59a	0.21a	54.24b	
PD	Copr Ag	8	4.93b	0.03a	5.25a	0.34b	5.30b	1.67a	7.31b	12.56a	37.15a	64.93c	27.21b	0.26a	58.14c	
PD	Solo Pc	9	4.77b	0.08a	5.57a	0.27a	5.12b	1.62a	7.01b	12.59a	47.93b	52.95a	21.39a	0.27a	55.69c	
PD	Solo Ag	10	4.62a	0.09a	6.06a	0.32b	4.54a	1.42a	6.27a	12.30a	45.88b	51.51a	21.64a	0.20a	50.97a	
PDS	Controle	11	4.98c	0.02a	5.37a	0.49b	4.84b	1.94a	7.26b	12.63b	25.63a	24.57a	23.71a	0.22a	57.50a	
PDS	Copr Pc	12	5.10c	0.00a	5.17a	0.56c	5.29c	1.91a	7.77c	12.94b	28.70a	29.17b	26.33b	0.22a	59.95b	
PDS	Copr Ag	13	5.13c	0.00a	4.77a	0.47b	5.76c	1.93a	8.16c	12.93b	32.58a	31.07b	23.94a	0.22a	63.10c	
PDS	Solo Pc	14	4.90b	0.05a	5.26a	0.38a	4.50a	1.69a	6.57a	11.83a	30.18a	23.68a	22.20a	0.22a	55.55a	
PDS	Solo Ag	15	4.76a	0.06a	5.10a	0.46b	4.90b	1.81a	7.18b	12.58b	25.22a	23.82a	22.79a	0.17a	57.04a	
PT	Controle	16	4.28a	1.09b	8.64b	0.21d	0.79a	0.72a	1.72a	10.36b	15.37a	2.38a	27.20a	0.23a	16.67a	
PT	Copr Pc	17	4.59b	0.56a	8.74b	0.16b	0.99b	0.90a	2.05b	10.79b	22.40a	3.16a	31.20b	0.22a	19.07a	
PT	Copr Ag	18	4.52b	0.36a	7.00a	0.24e	1.09b	0.93a	2.26b	9.26a	35.92c	5.32a	32.09b	0.26a	24.49b	
PT	Solo Pc	19	4.24a	0.96b	7.55a	0.12a	0.69a	0.75a	1.56a	9.11a	27.40b	4.05a	28.57a	0.25a	17.22a	
PT	Solo Ag	20	4.22a	0.93b	7.42a	0.18c	0.74a	0.69a	1.61a	9.03a	20.45a	2.89a	27.98a	0.24a	17.90a	

\* Número do material/tratamento utilizado para a ACP na Figura 3.



**Figura 3.** ACP dos atributos químicos dos solos controle, solos adjacentes de Pc e Ag e dos coprólitos de Pc e Ag: (a) diagrama de valores próprios; (b) círculo de correlações no plano F1-F2; (c) ordenação dos materiais no plano F1,  $x = 65,4\%$  e F2,  $y = 10,6\%$ . Números: 1 – 5 = MT, 6 – 10 = PD, 11 – 15 = PDS e 16 – 20 = PT. Detalhes dos materiais (solo controle, copr Pc, copr Ag, solo Pc e solo Ag) se encontram na coluna N° MAT da Tabela IV. MT = mata nativa; PD = plantio direto; PDS = plantio direto subsolado; PT = pastagem.

tuado decaimento do gráfico de valores próprios, nenhum outro eixo foi retido para interpretação (Fig. 3a). O eixo F1 esteve representado principalmente pelas variáveis K, pH, Mg, V%, SB, P, Ca e CTC em oposição às variáveis Al, H + Al e COT. As variáveis NT e S ficaram associadas ao eixo F2 (Fig. 3b). Os materiais (solo, solo Pc, solo Ag, coprólito Pc e coprólito Ag) de cada área foram ordenados significativamente a  $p < 0,05$ , e o primeiro eixo separou as áreas de cultivo (PD e PDS) - as quais possuem os teores mais elevados de bases e maiores valores de pH e CTC, resultantes da aplicação de adubos e calagens, sendo áreas de maior impacto antrópico - das áreas MT e PT, mais ricas em matéria orgânica, com teores mais elevados de Al e que possuem menor impacto antrópico (Fig. 3c).

## DISCUSSÃO

Os resultados deste experimento estão de acordo com os obtidos por García & Fragoso (2002), os quais observaram que Ag não se adaptou bem ao cultivo em solos sem adição (ou com baixo teor) de matéria orgânica. No entanto, Pc se adaptou bem ao Latossolo utilizado no presente estudo (apesar da perda de peso), ao contrário do observado por García & Fragoso (2002), que encontraram 91% de mortalidade de Pc nos solos experimentais utilizados. Os tratamentos PDS, PT e MT promoveram altas sobrevivências de Pc, apesar da perda de peso, enquanto o tratamento PD teve

as menores taxas de sobrevivência e as maiores perdas de peso, sendo o tratamento menos adequado para *Pc*. Similarmente, MT foi o melhor tratamento para a sobrevivência de *Ag*, embora também tenha tido perdas de peso. Nos tratamentos PD e PDS, a sobrevivência das minhocas foi baixa e a perda de peso alta, mostrando não serem boas opções para o desenvolvimento desta espécie. (Tabela II).

Todos os indivíduos inoculados no experimento, para as duas espécies, eram adultos, ou seja, apresentavam o clitelo desenvolvido. Contudo, observou-se um fenômeno inusitado na literatura para a espécie *Pc*: regressão ao estado juvenil. É importante destacar que este fenômeno foi observado somente nos tratamentos onde o solo era proveniente de áreas agrícolas, ou seja, áreas que sofreram aplicação de insumos, os quais poderiam de alguma forma influenciar a biota do solo.

Ambas as espécies *Pc* e *Ag* são muito bem adaptadas a diferentes manejos em agroecossistemas, sendo tolerantes a grandes variações de fatores ambientais e/ou edáficos, incluindo tolerância a concentrações muito baixas de nutrientes, matéria orgânica e nitrogênio do solo (Fragoso *et al.* 1999). Os limites ambientais para as espécies utilizadas no experimento foram descritos por Fragoso *et al.* (1999). Alguns atributos dos solos usados no presente estudo podem ter tido influência sobre a sobrevivência e a perda de peso das minhocas, por estarem fora dos limites tolerados. Desta forma, comparados com os teores de Fragoso *et al.* (1999), os valores de N dos solos nos tratamentos usados estão abaixo dos tolerados para as duas espécies e os teores de areia e argila estão fora dos limites tolerados para *Ag*. No entanto, se os teores de areia e argila fossem fatores limitantes para o desenvolvimento desta espécie, a mesma não seria encontrada na região onde foram coletados os solos, e onde os exemplares foram coletados para o experimento.

A disponibilidade de alimento no experimento e o estresse da manipulação das minhocas não podem ter sido fatores limitantes, uma vez que os solos foram trocados regularmente e em outros trabalhos já realizados com estas espécies não foi observado efeito estressante ao manipulá-las (Hernandez 1983, Hamoui 1991, Hernández-Castellanos 2000, García & Fragoso 2002).

Desta forma, a perda de peso, a mortalidade e a regressão ao estado juvenil devem estar associadas a algum outro fator, possivelmente a qualidade da matéria orgânica presente nos solos (Lavelle *et al.* 1989), a presença de alguma substância química particular tóxica às minhocas (pesticidas ou derivados dos mesmos, geralmente utilizados nos agroecossistemas de plantio direto), ou a falta de algum tipo particular de flora solo/intestino associada e necessária para digestão mutualística e a absorção de nutrientes pelas minhocas em solos altamente intemperizados (Gilot 1994). Estudos futuros serão necessários para elucidar estas possibilidades, de modo que o sucesso da colonização das minhocas nos solos depende em otimizar o ambiente e suas características para adequar o crescimento e a reprodução.

As produções acumuladas de coprólitos no início do período de incubação foram parecidas entre as duas espécies (Fig. 1 e 2). A partir dos 40 dias de incubação, *Pc* passou a apresentar produções acumuladas maiores que *Ag* e, no final do período de incubação (76 dias), a produção de coprólitos de *Pc* chegou a ser de duas a três vezes maiores do que as produções acumuladas de *Ag*, dependendo do tratamento. As baixas quantidades de coprólitos produzidos por *Ag* devem-se, provavelmente, à alta mortalidade das minhocas nos tratamentos, embora tenham sido sempre substituídas (Fig. 2).

Houve uma clara relação entre a quantidade de coprólitos produzida e diversas propriedades químicas do solo original. Apesar de haver apenas quatro tipos de solos, regressões significativas e com valores acima de 0,9 foram observados com K, Ca, Mg, N e acidez trocável (positivas), e pH (negativa para *Ag*), sugerindo a importância desses fatores edáficos para a atividade e produção de coprólitos dessas espécies nesses solos. O solo da mata, que teve a maior produção acumulada de coprólitos para as duas espécies, apresentou também os maiores teores de matéria orgânica, mas baixos teores de P, cátions e pH (Tabela I).

Hernández-Castellanos *et al.* (este número), observaram relação inversa entre a produção de coprólitos e o teor de matéria orgânica em três tipos de solos, como uma forma de compensação para o baixo estado nutricional dos solos. Em contraste, Cheg & Wong (2002) encontraram correlações positivas entre a matéria orgânica e a produção de coprólitos. Tais tendências não foram observadas no presente experimento para nenhuma das espécies (Tabela III).

É conhecido que a atividade das minhocas pode alterar o pH do solo (Hu *et al.* 1998, Cheng & Wong 2002), que pode ser atribuído à excreção de amônia no intestino ou pela excreção de carbonato de cálcio das glândulas calcíferas na faringe das minhocas quando o solo é ingerido (Lee 1985). *Pc* é conhecida por produzir grânulos de carbonato de cálcio dentro do seu intestino e seus coprólitos provenientes das glândulas calcíferas (Kale & Krishnamoorthy 1980), que afetam o pH do intestino e dos coprólitos, e a disponibilidade de nutrientes afetados pelo pH (Blair *et al.* 1995). A mesma espécie também é conhecida por produzir coprólitos ricos em amônio (Barois *et al.* 1999) que também podem afetar o pH. *Ag* não possui glândulas calcíferas, mas é conhecida pela capacidade de excretar N, na forma de amônia, no intestino através de seus enteronefrídeos, que mais adiante é depositado nos coprólitos (Bahl 1947). No entanto, com relação aos valores de pH, os resultados são conflitantes entre diversos autores. Algumas pesquisas indicam que os valores de pH nos coprólitos são maiores que no solo adjacente (Guerra 1994, Cortez & Bouché 1998), enquanto outras citam o contrário (De Vleeschauwer & Lal 1981, Haimi & Boucelham 1991). Essas alterações são especialmente importantes, pois podem afetar uma série de outros atributos químicos do solo, incluindo a quantidade de nutrientes solúveis influenciados pelo pH do solo. No presente caso, isso pareceu ser importante mais nos solos PT e MT, não calcareados ou adubados freqüentemente, onde o pH foi mais influenciado pelas

minhocas e houve maior efeito sobre o teor de vários parâmetros químicos adicionais. Por exemplo, nos coprólitos houve significativa redução no teor de Al em MT e PT para ambas as espécies *Pc* e *Ag* (Tabela IV).

Os aumentos nos teores de K frequentemente observado nos coprólitos (e.g., Basker *et al.* 1992, 1993), podem ser devido à liberação de K por materiais orgânicos através da fragmentação durante a digestão. Muitos estudos têm mostrado aumentos de 2 a 3 vezes nos teores de K trocável nos coprólitos, comparados ao solo adjacente sob condições a campo (Hullugale & Ezumah 1991). A quantidade de potássio disponível também pode aumentar significativamente em solos habitados por minhocas quando comparados com os mesmos solos sem elas (Basker *et al.* 1992, 1994). Os resultados obtidos neste experimento confirmam o aumento na disponibilidade de K para a espécie *Pc* (menos no tratamento PT) e para *Ag* (somente em PT), mas mostram o efeito contrário nos solos com as minhocas, onde a disponibilidade de K diminuiu devido, especialmente, à atividade de *Pc*. Nesse caso, as minhocas parecem estar apenas re-distribuindo o K no solo, concentrando-o nos coprólitos (Tabela IV).

Vários autores (Lal & De Vleeschauwer 1982, Peixoto & Marochi 1996, Brossard *et al.* 1996, Chapuis-Lardy *et al.* 1998; Quadros *et al.* 2002) encontraram aumentos nos teores de P em coprólitos quando comparados ao solo adjacente. Razões para estes aumentos são controversos e podem estar relacionados à atividade ácida e básica da fosfatase no intestino das minhocas (López-Hernández *et al.* 1993), como também à seleção de partículas ricas em argila e materiais orgânicos contendo altos teores de P durante a ingestão do solo. *Pc* ingere partículas mais finas do solo e produz coprólitos frescos mais dispersíveis que o solo controle (Barois *et al.* 1993). Estas modificações na textura e estrutura levam a uma redistribuição das formas do P através dos diferentes tamanhos de partículas e das frações químicas (Chapuis-Lardy 1998). Fenômeno similar pode também ocorrer com os teores de S, embora no presente caso aumentos significativos foram observados nos coprólitos em apenas alguns casos (Tabela IV).

A capacidade de fixação de N no intestino e de mineralização de N nos coprólitos é conhecida para *Pc* (Barois *et al.* 1987, Lavelle *et al.* 1992), mas menos conhecida para *Ag*. O nitrogênio preso ao material orgânico ingerido é liberado devido à utilização eficiente do C e à utilização menos eficiente de N pelas minhocas, à alta biomassa microbiana e ao aumento da atividade microbiana logo após a deposição dos coprólitos (Lavelle *et al.* 1992). Contudo, neste experimento não foram avaliados teores de N mineral (indicadores de mineralização de N) e não foram detectadas diferenças no teor de nitrogênio total (NT) nos coprólitos ou nos solos adjacentes em relação ao solo controle.

O aumento de C nos coprólitos de ambas as espécies confirma a seleção de partículas mais ricas em matéria orgânica durante a ingestão do solo. Lee (1985) concluiu que o conteúdo de C nos coprólitos é geralmente 1,5 a 2 vezes maior do que no solo adjacente. Este mecanismo de seleção de partículas com altos teores de C durante a



ingestão do solo ainda é desconhecido; minhocas endogeicas parecem ser capazes de reconhecer micro-regiões dentro do solo com altos teores de C, embora elas pareçam também ser capazes de selecionar pequenas partículas para ingerir, particularmente quando os teores de areia do solo aumentam (Barois *et al.* 1999, Bossuyt *et al.* 2005). Além disso, a passagem do solo através da moela e intestino da minhoca envolve fragmentação dos restos vegetais que são intimamente misturados com o solo (Barois *et al.* 1993), como também é conhecida a adição de grandes quantidades de muco hidrossolúvel (Trigo *et al.* 1999). Embora grande parte do muco seja reabsorvida no intestino posterior, parte é liberada nos coprólitos (Brown *et al.* 2000). Estes processos mostram claramente o aumento do teor de C dos coprólitos quando comparados ao solo não ingerido.

Mas ainda, a colonização dos coprólitos das minhocas por vários organismos pode alterar os atributos dos coprólitos significativamente (Brown 1995). Os coprólitos da maioria das espécies de minhocas são excretados com uma grande quantidade de populações de microorganismos (nematóides, protozoários, fungos, bactérias) e variáveis proporções de restos vegetais (dependendo do hábito alimentar). Conforme os coprólitos envelhecem e estabilizam, as proporções de dominância de diferentes organismos também podem mudar (Brown 1995), embora a importância destas mudanças para os atributos químicos e função dos coprólitos ainda seja desconhecida. Bhandari *et al.* (1967) sugeriram que a atividade microbiana e a produção de polissacarídeos podem desempenhar uma função importante nos teores de matéria orgânica dos coprólitos, comparados ao solo adjacente. Por outro lado, coprólitos compactos como os produzidos por *Millsonia anomala* e por *P. corethrurus* podem de fato servir como locais para proteção da matéria orgânica, devido à baixa atividade microbiana dos coprólitos, uma vez secos e estabilizados (Martin 1991).

A ACP separou claramente as áreas e seus respectivos materiais (solo, solo *Pc*, solo *Ag*, coprólito *Pc* e coprólito *Ag*), evidenciando a diferença das estruturas produzidas pelas minhocas *Pc* e *Ag* do solo adjacente e do solo controle. Portanto, fica claro neste estudo a capacidade das espécies de minhocas *Pc* e *Ag* em influenciar e alterar os teores dos atributos químicos do solo, apesar da perda de peso e das taxas de mortalidade que ocorreram. Estas alterações ocorreram mesmo não sendo adicionada uma fonte de matéria orgânica extra, pois foi utilizada somente a camada mineral do solo, ao contrário da grande parte dos estudos já realizados. Isto mostra e confirma, portanto, o potencial e benefícios que estes animais podem oferecer à fertilidade do solo.

### AGRADECIMENTOS

Este estudo teve apoio do CNPq (bolsa para G. Brown), da Fundação para Agricultura Sustentável (Agrisus) e do Conselho de Apoio à Pesquisa e Ensino Superior (Capes), através da concessão de bolsas de estudos a M. L. C. Bartz e apoio financeiro ao projeto.

Agradecemos ao Sr. Arnaldo Bulle, proprietário da Fazenda Bulle, ao Sr. João Aparecido Milani, proprietário da Estância Santo Ângelo, ao Sr. Genofea Totti Venturelli, proprietário, e ao Sr. Oscar Recio Loureto, administrador da Fazenda Escalada e ao Sr. Herbert Arnold Bartz, proprietário da Fazenda Rhenânia, por concederem suas áreas para coleta de solo e realização deste estudo.

### LITERATURA CITADA

- Bahl, K. N. 1947. Excretion in the Oligochaeta. *Biological Reviews*. 22: 109-147.
- Baker, G. H., G. G. Brown, K. Butt, J. P. Curry & J. Scullion. 2006. Introduced earthworms in agricultural and reclaimed land: their ecology and influences on soil properties, plant production and other soil biota. *Biological Invasions*. 8: 1301-1316.
- Basker, A., J. H. Kirkman & A. N. Macgregor. 1992. The availability of potassium in soil: an incubation experiment. *Biology and Fertility of Soils*. 14: 300-303.
- Basker, A., A. N. Macgregor & J. H. Kirkman. 1993. Exchangeable potassium and other cations in non-ingested soil and casts of two species of pasture earthworms. *Soil Biology and Biochemistry*. 25: 1673-1677.
- Basker, A., J. K. Kirkman & A. N. Macgregor. 1994. Changes in potassium availability and other soil properties due soil ingestion by earthworm. *Biology and Fertility of Soils*. 17: 154-158.
- Barois, I., B. Verdier, P. Kaiser, A. Mariotti, P. Rangel & P. Lavelle. 1987. Influence of the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on the fixation and mineralization of nitrogen. Pp. 151-158. In: A. M. Bonvicini Pagliai and P. Omodeo (Eds.). *On earthworms*. Mucchi Editore, Modena.
- Barois, I., G. Villemin, P. Lavelle & F. Toutain. 1993. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. *Geoderma*. 56: 57-66.
- Barois, I., P. Lavelle, M. Brossard, J. Tondoh, M. Martinez, J. Rossi, B. Senapati, A. Angeles, C. Frago, J. Jimenez, T. Decaens, C. Lattaud, J. Kanonyo, E. Blanchart, L. Chapuis, G. G. Brown & A. G. Moreno. 1999. Ecology of earthworm species with large environmental tolerance and or extended distributions. Pp. 57-85. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P. F. Hendrix (Eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CABI International, Wallingford.
- Bhandari G. S., N. S. Randhawa & M. S. Maskin. 1967. On the polysaccharide content of earthworms casts. *Current Science*. 36: 519-520.
- Blair J. M., R. W. Parmelee & P. Lavelle. 1995. Influences of earthworms on biogeochemistry. Pp. 127-158. In: P. F. Hendrix (Ed.). *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Bossuyt, H., J. Six & P. F. Hendrix. 2005. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 251-258.
- Brossard M, P. Lavelle & J. Y. Laurent. 1996. Disgestion of a vertisol by the endogeic earthworm (*Polypheretima elongata*, Megascolecidae) increases soil phosphate extractability. *European Journal of Soil Biology*. 32: 107-111.
- Brown, G. G. 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? *Plant and Soil*. 170(1): 209-231.
- Brown, G. G., I. Barois & P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*. 36: 177-198.
- Brown, G. G., C. A. Edwards & L. Brussaard. 2004. How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms. Pp. 13-49. In: C. A. Edwards (Ed.). *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton.

- Brown, G. G., S. W. James, A. Pasini, D. H. Nunes, N. P. Benito, P. T. Martins & K. D. Sautter.** 2006. Exotic, peregrine and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*. 42: 331-338.
- Chapuis-Lardy, L., M. Brossard, P. Lavelle & E. Schouller.** 1998. Phosphorus transformations in a ferralsol through ingestion by *Pontoscolex corethrurus*, a geophagous earthworm. *European Journal of Soil Biology*. 32: 61-67.
- Cheng, J. & H. M. Wong.** 2002. Effects of earthworms on Zn fractionation in soils. *Biology and Fertility of Soils*. 36: 72-78.
- Cortez, J. & M. B. Bouché.** 1988. Field decomposition of leaf litters: earthworm-microorganism interactions –the ploughing-in effect. *Soil Biology and Biochemistry*. 30(6): 795-804.
- De Vleeschauwer, D. & R. Lal.** 1981. Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth. *Soil Science*. 132: 175-181.
- Edwards, C. A. & P. J. Bohlen.** 1996. *Biology and ecology of earthworms*, 3<sup>rd</sup> ed. Chapman & Hall, London.
- Embrapa.** 1997. *Manual de métodos de análises de solos*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro.
- Embrapa.** 1999a. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa Solos, Brasília.
- Embrapa.** 1999b. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa, Brasília.
- Ferreira, D. F.** 2003. *Programa de análises estatísticas (Statistical Analysis Software) e planejamento de experimentos*. Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Fragoso, C., P. Lavelle, E. Blanchart, B. Senapati, J. Jimenez, M. Martinez, T. Decaëns & J. Tondoh.** 1999. Pp.27-56. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. In: P. Lavelle, L. Brussaard and P. F. Hendrix (Eds.). *Earthworm management in tropical agroecosystems*. CABI International, Wallingford.
- Fragoso, C. & G. G. Brown.** 2007. Ecología y taxonomía de las lombrices de tierra en Latinoamérica: El primer Encuentro Latino-Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetas (ELAETA01). Pp. 33-75. In: G. G. Brown and C. Fragoso (Eds.). *Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia*. Embrapa Soja, Londrina.
- García, J. A. & C. Fragoso.** 2002. Growth, reproduction and activity of earthworms in degraded and amended tropical open mined soils: laboratory assays. *Applied Soil Ecology*. 20: 43-56.
- Guerra, R. T.** 1994 Sobre a comunidade de minhocas (Annelida, Oligochaeta) do Campus da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*. 54(4): 593-601.
- Gilot, C.** 1994. Determination of the origin of the different growing abilities of two populations of *Millsonia anomala* (Omodeo and Vaillaud), a tropical geophagous earthworm. *European Journal of Soil Biology*. 39: 135-141.
- Haimi, J. & M. Boucelham.** 1991. Influence of a litter feeding earthworm, *Lumbricus rubellus*, on soil processes in a simulated coniferous forest floor. *Pedobiologia*. 35: 247-256.
- Hamoui, V.** 1991. Life-cycle and growth of *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) (Oligochaeta, Glossoscolecidae) in the laboratory. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*. 28(4): 469-478.
- Hendrix, P. F.** 2006. Biological invasions belowground—earthworms as invasive species. *Biological Invasions*. 8: 1201-1204.
- Hernández-Castellanos, B.** 2000. *Modificaciones químicas de cuatro suelos de diferentes localidades de Veracruz, por dos especies de lombrices (Pontoscolex corethrurus y Glossoscolecidae sp.)* Tese. Universidad Veracruzana, Xalapa, México.
- Hernández, A. P. A. J. A. H.** 1983. *Efecto de la temperatura sobre el crecimiento, consumo de tierra y fecundidad de la lombriz de tierra Pontoscolex corethrurus Müller, 1857 (Oligoqueto Glossoscolecidae)*. Tese, Universidad Nacional Autónoma de México, Los Reyes Iztacala, México.

- Hullegalle, N. R., H. C. Ezumah.** 1991. Effects of cassava-based cropping systems on physical-chemical properties of soil and earthworm casts in a tropical Alfisol. *Agricultural Ecosystem Environment*. 35: 55-63.
- Hu, F., X. Q. Wu, H. X. Li & S. M. Wu.** 1998. Effects of earthworms and ants on the properties of a red soil. Pp. 276-285. In: *Research on the red soil ecosystem*. China Agricultural Science and Technology Publishing House, Beijing.
- Kale, R. D. & R. V. Krishnamoorthy.** 1980. The calcium content of the body tissues and castings of earthworm *Pontoscolex corethrurus*. *Pedobiologia*. 20: 309-315.
- Kobiyama, M., C. Barcik & H.R. Santos.** 1995. Influência da minhoca (*Amyntas hawayanus*) sobre a produção de matéria seca de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth). *Revista do Setor de Ciências Agrárias*. 13: 199-203.
- Lal, R. & D. de Vleeschauwer.** 1992. Influence of tillage methods and fertilizer application on chemical properties of worm castings in a tropical soil. *Soil Tillage Research*. 2: 37-52.
- Lavelle, P.** 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils*. 6: 237-251.
- Lavelle, P., Z. Zaidi & R. Schaefer.** 1989. Soil ingestion and growth in *Millsonia anomala*, a tropical earthworm, as influenced by the quality of the organic matter ingested. *Pedobiologia*. 3: 379-388.
- Lavelle, P., G. Meléndez, B. Pashanasi & R. Schaefer.** 1992. Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworms *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). *Biology and Fertility of Soils*. 14: 49-53.
- Lavelle, P., T. Decaens, M. Aubert, S. Barot, M. Blouin, F. Bureau, P. Margerie, P. Mora & J. P. Rossi.** 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42: S3-S15.
- Lee, K.E.** 1985. *Earthworms: their ecology and relations with soil and land use*. Academic Press, Sydney.
- Lee, K. E. & R. C. Foster.** 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*. 29: 745-776.
- Lopez-Hernández, D., P. Lavelle, J. C. Fardeau, M. Niño.** 1993. Phosphorus transformations in two P-sorption contrasting tropical soils during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta). *Soil biology and Biochemistry*. 25: 789-792.
- Martin, A.** 1991. Short- and long-term effects of the endogeic earthworm *Millsonia anomala* (Omodeo) (Megascolecidae, Oligochaeta) of tropical savannas, on soil organic matter. *Biology and Fertility of Soils*. 11: 234-238.
- Paoletti, M. G.** 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 74(1/3): 1-18.
- Peixoto, R. T. G. & A. I. Marochi.** 1999. A influência da minhoca *Pheretima* sp. nas propriedades de um Latossolo Vermelho escuro álico e no desenvolvimento de culturas em sistema de plantio direto, em Arapoti - PR. *Revista Plantio Direto*. Setembro/Outubro: 23-25.
- Quadros, R. M. B., A. F. J. Bellote & J. A. Dionísio.** 2002. Observações sobre propriedades químicas do solo e de excrementos de minhocas em plantios de *Eucalyptus grandis*. *Boletim de Pesquisa Florestal*. 45: 29-39.
- SAS.** 1999. *Procedure guide for personal computers*, 5th ed., SAS Institute, Cary.
- Soil Survey Staff.** 1994. *Keys to soil taxonomy*. 6ª Ed. AID, USA, SMSS, Soil Management Support Services Technical Monograph, No. 19, Washington, D.C.
- Stork, N. E. & P. Eggleton.** 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*. 7: 23-32.
- Thioulouse, J., D. Chessel, S. Dolédec & J. M. Olivier.** 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistic Computer*. 7: 5-83.
- Trigo, D., I. Barois, M. H. Garvín, E. Huerta, S. Irsson & P. Lavelle.** 1999. Mutualism between earthworms and soil microflora. *Pedobiologia*. 43: 866-873.