

# **CARBONO ORGÂNICO E FÓSFORO MICROBIANO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A DIFERENTES INTENSIDADES DE PASTEJO EM PLANTIO DIRETO<sup>(1)</sup>**

**Edicarlos Damacena de Souza<sup>(2)</sup>, Sergio Ely Valadão Gigante de Andrade Costa<sup>(3)</sup>, Christina Venzke Simões de Lima<sup>(4)</sup>, Ibanor Anghinoni<sup>(5)</sup>, Egon José Meurer<sup>(5)</sup> & Paulo César de Faccio Carvalho<sup>(6)</sup>**

## **RESUMO**

Sistemas de integração agricultura-pecuária têm despertado maior interesse de pesquisadores nos últimos anos por proporcionarem maior estabilidade e sustentabilidade à produção agropecuária, em relação ao modelo de produção mais especializado atualmente predominante. Um dos indicadores desta estabilidade e sustentabilidade que vem sendo utilizado é o teor de C do solo. Neste sentido, o presente estudo objetivou avaliar os estoques nas frações do C orgânico total e P da biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho distroférico, sob sistema de integração agricultura-pecuária, em plantio direto submetido a diferentes intensidades de pastejo, no inverno, por seis anos. As amostras de solo foram coletadas em novembro de 2006, em área experimental sob sistema de integração instalado em maio de 2001. Anteriormente, a área, localizada no município de São Miguel das Missões – RS, vinha sendo cultivada há 10 anos sob sistema plantio direto. O delineamento foi o de blocos completos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram intensidades de pastejo de 10, 20 e 40 cm de altura do pasto aplicadas no ciclo da pastagem, durante o período hibernal, em uma pastagem constituída por aveia e azevém, além de uma área testemunha sem pastejo. Foram determinados os estoques de C orgânico total e particulado, os

---

<sup>(1)</sup> Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq e Agrisus. Recebido para publicação em abril de 2007 e aprovado em fevereiro de 2008.

<sup>(2)</sup> Pós-doutorando em Solos. Universidade Federal de Goiás – UFGO. Campus de Jataí., Rod. BR 362, km 192, CEP 75800-000 Jataí (GO). E-mail: edidamacena2000@yahoo.com.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). E-mail: sergioelycosta@hotmail.com

<sup>(4)</sup> Bióloga, Doutoranda, PPG, Ciência do Solo, UFRGS. E-mail: chris.solos@yahoo.com.br

<sup>(5)</sup> Professor do Departamento de Solos, UFRGS. Bolsista CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br; egon.meurer@ufrgs.br

<sup>(6)</sup> Professor do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, UFRGS. Bolsista CNPq. E-mail: paulocfc@ufrgs.br

teores de P e C da biomassa microbiana, bem como a atividade da biomassa microbiana. Os estoques de C orgânico total não foram influenciados pelas intensidades de pastejo, porém os estoques de C orgânico particulado foram menores na área com maior intensidade de pastejo. Neste tratamento, o estímulo à biomassa microbiana e ao crescimento radicular foram maiores. O teor de P da biomassa aumentou com a diminuição da intensidade de pastejo, ocorrendo o inverso com a biomassa microbiana. O C orgânico particulado foi o atributo mais sensível em demonstrar variações no C orgânico do solo sob as condições de manejo da pastagem adotadas.

**Termos de indexação: biomassa microbiana, quociente metabólico, fracionamento do carbono.**

#### SUMMARY: ORGANIC CARBON AND MICROBIAL PHOSPHORUS IN A NO-TILL INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER DIFFERENT GRAZING INTENSITIES

*Integrated crop-livestock systems have attracted more interest in the last few years due to their capacity of improving stability and sustainability of agricultural systems as compared to more specialized production systems. Soil organic carbon content has been used as an indicator of soil sustainability and stability. In this sense, this study aimed to measure the stocks of total organic carbon fractions and phosphorus in the microbial biomass in a Rhodic Hapludox (Oxisol) under integrated crop-livestock system with different grazing intensities in the winter. Soil samples were collected in November 2006 in São Miguel das Missões, state of Rio Grande do Sul, Brazil. The experimental area had been cultivated under no-tillage for 10 years before implementing the integrated system in 2001. The experimental design was completely randomized blocks with three replicates. The treatments consisted of grazing intensities represented by sward heights of 10, 20 and 40 cm during the pasture cycle in winter. This pasture was composed of a black oat (*Avena strigosa* Schreb) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) mix, and a control area with no grazing. Total and particulate organic matter (POM) carbon stocks, phosphorus and carbon content in the microbial biomass, as well as microbial biomass activity were evaluated. The total organic stocks carbon were not affected by grazing intensities; however, the stocks of POM carbon were smaller in soils under the highest grazing intensity. The microbial biomass was stimulated at the highest grazing intensity, in which greater root growth was observed. The phosphorus content in the microbial biomass increased linearly with the decrease of the grazing intensity, while an inverse pattern was observed for the microbial biomass. Particulate organic matter carbon was more sensitive to changes in soil organic carbon under the experimental pasture management.*

*Index terms: microbial biomass, metabolic quotient, carbon fractioning.*

## INTRODUÇÃO

Sistemas de integração agricultura-pecuária têm recebido maior atenção por parte de pesquisadores em diversos ecossistemas ao redor do mundo, por serem capazes de proporcionar maior estabilidade e sustentabilidade da produção agrícola em relação aos sistemas produtivos altamente especializados predominantes. No entanto, essa mudança na maneira de se pensar o sistema de produção agrícola carece ainda de muita pesquisa, sobretudo com relação a aspectos, tais como: o manejo e os efeitos desses sistemas nas relações solo-planta-animal (Franzluebbers, 2007). Neste particular, as

conseqüências sobre o solo, que é o componente que potencialmente pode ser o mais alterado, necessitam ser investigadas. Tais alterações no solo, provocadas pelo sistema de manejo adotado, podem ser detectadas por atributos químicos, físicos e biológicos. Dentre esses, destacam-se o C orgânico (Larson & Pierce, 1994), a biomassa microbiana do solo e sua atividade (Moreira & Siqueira, 2003).

Por ter papel essencial na sustentabilidade do sistema solo, o C orgânico total (COT) e seu estoque têm sido utilizados como indicadores de sua qualidade. Esses atributos, porém, têm-se mostrado poucos sensíveis às mudanças promovidas pelos sistemas de manejo na dinâmica do C do solo, o que

levou à utilização dos compartimentos do COT mais sensíveis ao manejo do solo, como melhores indicadores dessa dinâmica (Xavier et al., 2006). Nesse sentido, Conceição et al. (2005) avaliaram os compartimentos do COT e verificaram que o C orgânico particulado (COP) foi mais sensível em detectar as alterações promovidas no solo por diferentes sistemas de manejo.

A biomassa microbiana do solo é a fração viva da matéria orgânica, sendo assim responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e, por conseguinte, sensivelmente influenciada pelas condições impostas pelo meio (Moreira & Siqueira, 2003). Em áreas com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes, ocorre aumento populacional e da atividade da biomassa microbiana (Cattelan & Vidor, 1990). A biomassa microbiana também representa o compartimento central do ciclo do C no solo e pode funcionar como compartimento de reserva de nutrientes, dentre eles o P orgânico, ou como catalisador na decomposição do C orgânico. Desta forma, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente sua população microbiana.

Outra maneira de mensurar o efeito de práticas de manejo e de condições ambientais sobre a biomassa microbiana é pela avaliação do seu quociente metabólico. O quociente metabólico é importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a biomassa microbiana do solo (Anderson & Domsh, 1993), que, sob estresse, utiliza maior quantidade de C para sua manutenção. À medida que a biomassa microbiana torna-se mais eficiente, menos C é perdido na forma de CO<sub>2</sub> pela respiração e uma fração significativa desse elemento é incorporada ao tecido microbiano (Gama-Rodrigues 1999). Assim, pelo tipo de informação fornecida por essa avaliação, diversos autores (D'Andréa 2001; Souza et al., 2006) têm utilizado o quociente metabólico para avaliar as condições do solo sob diversos sistemas de manejo.

O P orgânico é uma fonte potencial de P às plantas graças à ciclagem biológica e à síntese e exsudação de enzimas fosfatases pelos microrganismos e raízes das plantas, as quais transformam o P orgânico em P inorgânico disponível no solo (Ross et al., 1995). Com a lise das células microbianas, após a morte da biomassa microbiana, decorrente de variações climáticas, ciclo de vida e manejo, ocorre liberação de diversos nutrientes no solo (Buchanan & King, 1992), dentre eles o P. Nas células da biomassa microbiana o P fica protegido, diminuindo sua retenção por períodos prolongados em minerais do solo (Paul & Clark, 1996); no entanto, esse processo é temporário e o P microbiano pode atuar, posteriormente, como fonte de P inorgânico para a solução do solo.

Este trabalho investigou a hipótese de que sistemas integrados de agricultura-pecuária, em que o manejo da pastagem é realizado com intensidades de pastejo moderadas, ocorre maior aporte de resíduos ao solo e

aumento do C orgânico particulado, incrementando, assim, o estoque de C no solo, a biomassa microbiana, sua atividade e, conseqüentemente, o P microbiano do solo. Neste sentido, avaliaram-se os estoques nas frações do C orgânico total e do P da biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária, sob plantio direto, submetido a diferentes intensidades de pastejo no inverno.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras de solo coletadas em um experimento de integração agricultura-pecuária sob sistema plantio direto, localizado no município de São Miguel das Missões, região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, pertencente à Agropecuária Cerro Coroado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2006) textura argilosa (0,54 kg kg<sup>-1</sup> de argila, 0,17 de silte, 0,29 de areia, na camada de 0-20 cm) e vinha sendo utilizado sob sistema plantio direto desde 1990. A área foi utilizada, pela primeira vez, com pastejo em julho de 2000, com bovinos, os quais nela permaneceram apenas por três semanas, sendo retirados na seqüência, para permitir o rebrote e a produção de sementes de aveia.

Em maio de 2001, foi dado início ao experimento, quando a área experimental, de aproximadamente 22 ha, foi dividida em 12 piquetes (parcelas) com tamanhos variando de 1 a 2,5 ha. No outono desse ano e dos anos seguintes, a pastagem era estabelecida em semeadura direta, sendo composta por aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes) e azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), cuja população originava-se em parte do plantio de sementes (30 kg ha<sup>-1</sup>), em parte da ressemeadura natural. Os tratamentos constavam de diferentes alturas (intensidades) de manejo do pasto, de: 10, 20 e 40 cm (P-10, P-20 e P-40, respectivamente), mais um tratamento de testemunha sem pastejo (SP), distribuídos num delineamento em blocos casualizados com três repetições. O método de pastejo adotado era o pastejo contínuo com carga variável, de modo que as alturas pretendidas do pasto fossem obtidas pela variação da carga animal nas parcelas. A pastagem era utilizada por bovinos machos, com idade ao redor de nove meses e peso vivo inicial em torno de 190 kg. Os animais entravam na área quando o pasto já tivesse acumulado pelo menos 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de MS, o que ocorria, normalmente, na primeira quinzena de julho, onde permaneciam por 115 dias, em média. Após a saída dos animais, na primeira quinzena de novembro e início de dezembro, a cultura de soja era semeada em plantio direto, vindo a ser colhida entre o final de abril e o início de maio, quando se iniciava novo ciclo de pastagem. Após o primeiro ciclo de pastejo (dezembro de 2001), foram aplicados 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de

calcário (PRNT 62 %) em superfície. Esse cronograma de sucessão soja-pastagem repetiu-se, de forma muito similar, até novembro de 2006, quando se coletou o material necessário a este estudo. Portanto, quando da obtenção do mesmo, cinco sucessões completas de pastagem de inverno/lavoura de soja já haviam ocorrido, estando no exato momento de transição entre ciclos da sexta sucessão.

As amostras de solo e de raízes para o presente trabalho foram coletadas na camada de 0–10 cm para realização das análises referentes à biomassa microbiana, nas camadas de 0–5 e 5–10 cm para fracionamento do C, e na camada de 0–5, 5–10 e 10–15 cm, para as análises de P. As amostras analisadas foram compostas por oito subamostras coletadas em cada parcela, as quais foram acondicionadas em caixas térmicas a fim de preservar o máximo a biomassa microbiana do solo. Em laboratório, as amostras foram tamisadas em peneira com malha de 2 mm, armazenadas em geladeira e posteriormente realizadas as análises microbianas. Para determinação das demais análises químicas, as amostras de solo foram secas ao ar, moídas e passadas em peneiras de 2 mm. O P disponível foi determinado, utilizando-se resinas em lâminas (Tedesco et al., 1995). A matéria de raízes foi determinada em amostras coletadas em cilindros (10 cm de altura e 5 cm de diâmetro) tomados em oito pontos por parcela. As raízes foram lavadas, secas e pesadas para posterior mensuração da sua massa. A massa seca da parte aérea foi determinada, coletando-se plantas e resíduos remanescentes sobre o solo contidos num metro quadrado, repetindo-se o procedimento cinco vezes por parcela. Posteriormente, esse material foi seco em estufa até peso constante e, então, foi calculada a massa de material vegetal na superfície do solo.

O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992), sendo os procedimentos assim descritos brevemente: foram pesados 20 g de solo, colocados em frascos do tipo “snap-cap” de 180 mL e adicionados 80 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L<sup>-1</sup>); as amostras foram então agitadas por 15 h em agitador horizontal; posteriormente, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água, sendo o material retido na peneira seco em estufa a 50 °C até massa constante; depois de mensurada a massa, o material foi moído em gral de porcelana e, posteriormente, teve o seu teor de C orgânico determinado, sendo este considerado o C orgânico particulado (COP); o C orgânico associado aos minerais (CAM) foi calculado pela diferença entre o COT e o COP.

Para determinar os teores de C, tanto do COT como do COP, foi utilizado um analisador Shimadzu TOC-V CSH. Os estoques de COT no solo foram calculados, utilizando dois procedimentos: (1) em camadas equivalentes de solo, e (2) em massas equivalentes de solo. Já os estoques de COP e CAM foram calculados somente pelo segundo procedimento. O método da

camada equivalente leva em consideração a densidade do solo e a espessura da camada avaliada (Bayer et al., 2000), enquanto o método da massa equivalente leva em consideração a massa do solo dos tratamentos em relação ao solo com a maior massa, o qual é tomado como referência (Ellert & Bettany, 1995). No presente estudo, tomou-se como referência o solo do tratamento com maior intensidade de pastejo (P-10), o qual apresentou maior densidade do solo (Quadro 1), com conseqüente maior massa.

O C da biomassa microbiana foi obtido pelo método da fumigação-extração, após incubação em ausência de luz por 24 h, extração com sulfato de potássio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, oxidação com dicromato de potássio 0,0667 mol L<sup>-1</sup> e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L<sup>-1</sup> (Vance et al., 1987). A respiração microbiana foi estimada pelo CO<sub>2</sub> evoluído a partir de 20 g de solo durante 72 h, com extração por NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup> e titulação com HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> (Alef & Nannipieri, 1995). O quociente metabólico foi determinado pela relação entre a respiração microbiana e a biomassa microbiana (Anderson & Domsh, 1993).

Avaliou-se o conteúdo de P da biomassa microbiana pelo método da fumigação-extração (Brookes et al., 1982). Foram pesadas amostras de solo em triplicata, sendo as amostras de 5,0 g de solo distribuídas em frascos de vidro e fumigadas, por 24 h, num dessecador com clorofórmio. Outras três amostras de cada tratamento não foram submetidas à fumigação. A extração do P foi realizada pela adição de 50 mL de uma solução de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> (pH 8,5) e, posteriormente, quantificado, pelo método colorimétrico do molibdato-ácido ascórbico. Para a correção da fixação do P inorgânico durante a extração, foi estimada a taxa de recuperação de uma quantidade conhecida de P adicionado ao solo juntamente com o extrator NaHCO<sub>3</sub>. O fator de correção para o cálculo do P da biomassa foi de 0,4.

**Quadro 1. Densidade do solo em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo**

Camada	Intensidade de pastejo			
	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20 <sup>(1)</sup>	P-40 <sup>(1)</sup>	SP <sup>(2)</sup>
cm	kg dm <sup>-3</sup>			
0–5	1,35 aA	1,25bA	1,28 bA	1,15cA
5–10	1,34 aA	1,23 bA	1,26 bA	1,12 cA

<sup>(1)</sup> Altura de manejo do pasto, em cm. <sup>(2)</sup> Área não pastejada. Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.



Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo Teste F, teste de comparação de contrastes entre médias (Duncan 5 %) e correlação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estoques de carbono orgânico no solo

Com relação aos estoques de COT, os métodos da camada equivalente e da massa equivalente de solo resultaram em valores diferentes, considerando a diferença de densidade do solo entre os tratamentos (Quadro 2). Enquanto o método da camada equivalente indicou acúmulo médio, para todas as intensidades de pastejo, de 20,35 Mg ha<sup>-1</sup>, o método da massa equivalente de solo indicou acúmulo médio de 22,33 Mg ha<sup>-1</sup>, demonstrando que o primeiro método subestimou em, aproximadamente, 2 Mg ha<sup>-1</sup> o estoque de COT no solo. Assim, o efeito das intensidades de pastejo sobre o estoque de C no solo será discutido com base nos resultados referentes à massa equivalente de solo, por se considerar esse o método mais adequado às condições deste estudo (Bayer, 2003).

Não foram observadas diferenças nos estoques de C orgânico total entre as áreas pastejadas em relação à área não pastejada (Quadro 2), mesmo após seis ciclos de pastejo. Os estoques mantiveram-se estáveis, mesmo nos tratamentos com menores intensidades de pastejo, em que há maior acúmulo de resíduos

vegetais (Figura 1). A proteção física da matéria orgânica contra a ação microbiana verificada em solos argilosos, como é o caso do solo do presente estudo, pode explicar a ausência de efeito das intensidades de pastejo sobre o estoque de COT (Balesdent et al., 2000). Em relação à distribuição em profundidade, os estoques de COT foram maiores na camada de 0–5 cm em relação à camada de 5–10 cm, uma vez que, não havendo revolvimento do solo, ocorre acúmulo deste elemento na camada mais superficial (Bayer, 2003). Esse comportamento pode ser relacionado com o baixo acúmulo de COP na camada de 5–10 cm. Contudo, ainda que não tenham sido verificadas diferenças entre as intensidades de pastejo com relação aos estoques de COT, Reicosky et al. (1995) destacam o importante papel dos resíduos culturais e da matéria orgânica acumulados na superfície e nas camadas superficiais do solo, nos diversos processos que levam à alta qualidade do solo e, conseqüentemente, à maior produtividade das culturas.

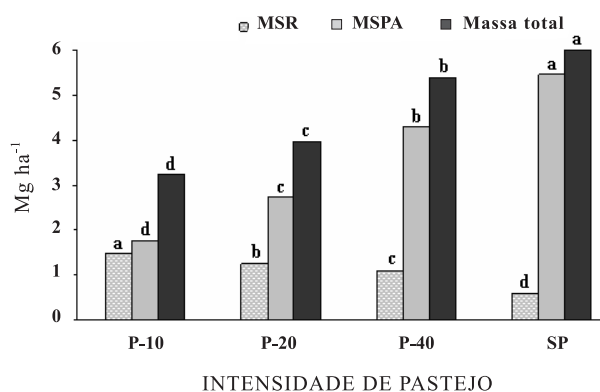
O estoque de COP representou de 27 a 33 % do COT, para os tratamentos do P-10 e SP, na camada de 0–5 cm, e de 12 a 16 %, para as intensidades P-10 e P-40, na camada de 5–10 cm (Quadro 2), sendo esses os valores máximos e mínimos dentro de cada camada, respectivamente. Isto indica que esse atributo mostrou-se indicador mais sensível do que o COT às alterações causadas pelo manejo. Resultados obtidos por Conceição et al. (2005) também indicam que o COP é mais sensível às práticas de manejo e uso do solo do que o COT. A área com maior intensidade de pastejo (P-10) apresentou o menor estoque de C com relação

**Quadro 2. Estoques de carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado aos minerais (CAM), em camada equivalente de solo e em massa equivalente de solo, de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo**

Intensidade de pastejo	Camada equivalente de solo			Massa equivalente de solo						
	Camada	Massa <sup>(1)</sup>	COT	Camada <sup>(2)</sup>	Massa <sup>(3)</sup>	COT <sup>(4)</sup>	COP	CAM		
	cm	Mg ha <sup>-1</sup>		cm	Mg ha <sup>-1</sup>		% COT	Mg ha <sup>-1</sup>	% COT	
P-10 <sup>(5)</sup>	0–5,0	675	25,39	0–5,0	675	25,39 a <sup>ns</sup>	6,86 aB	27	18,53 a <sup>ns</sup>	73
	5,0–10,0	670	18,53	5,0–10,0	670	18,53 b	2,24 bA	12	16,29 b	88
P-20 <sup>(5)</sup>	0–5,0	625	24,20	0–5,4	675	26,17 a	8,10 aA	31	18,07 a	69
	5,0–10,0	615	17,80	5,4–10,8	670	18,95 b	2,70 bA	14	16,26 b	86
P-40 <sup>(5)</sup>	0–5,0	640	25,10	0–5,3	675	26,62 a	8,15 aA	31	18,48 a	69
	5,0–10,0	630	18,50	5,3–10,6	670	19,38 b	3,04 bA	16	16,34 b	84
SP <sup>(6)</sup>	0–5,0	575	21,40	0–5,9	675	25,23 a	8,29 aA	33	16,94 a	67
	5,0–10,0	560	15,10	5,9–11,9	670	17,62 b	2,66 bA	15	14,96 b	85

<sup>(1)</sup> Valores calculados de acordo com a densidade e a camada de solo. <sup>(2)</sup> Valores calculados segundo a camada equivalente levando em consideração a maior densidade do solo. <sup>(3)</sup> Massa equivalentes de solo = corresponde à massa de solo na camada do sistema de referência, o qual corresponde ao sistema de manejo que apresenta a maior massa de solos na camada integral da amostra.

<sup>(4)</sup> Calculado em função da massa equivalente de solo e a massa de COP. <sup>(5)</sup> Alturas de manejo do pasto, em cm. <sup>(6)</sup> Área não pastejada. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na dentro da intensidade (mesma camada) e maiúscula entre intensidades, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.



**Figura 1. Matéria seca de raízes (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (massa total) de aveia e azevém em um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo. Médias seguidas de mesma letra, dentro das variáveis e entre as intensidades, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %. P-10, P-20 e P-40 são alturas de pastejo, em cm, e SP área não pastejada.**

aos demais tratamentos, sendo o seu estoque 17 % menor do que o da área SP. Isto se deve à menor adição de resíduos vegetais (Figura 1) e ao aumento da atividade microbiana (Quadro 3) no tratamento P-10, bem como pela menor proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados (Bayer et al., 2004). Assim como observado para o COT, na camada de 5–10 cm, houve menor estoque de COP em relação à camada de 0–5 cm em todas as intensidades avaliadas, sendo esse estoque, em média, três vezes menor, visto que o aporte de matéria orgânica nesta camada ocorre lentamente, o que se deve principalmente à decomposição das raízes e à biota do solo. Por ser lábil, o acúmulo de C nesta fração é um componente de fundamental importância para o sistema solo, pois pode ser facilmente decomposto pela ação da microbiota, liberando compostos orgânicos para a

solução do solo (Christensen, 2000), os quais podem estar envolvidos na dinâmica da acidez, no processo de agregação e na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

O estoque de C associado aos minerais não foi influenciado pelos tratamentos, o que pode ser explicado pela alta estabilidade dessa fração do COT do solo (Bayer, 2003). A alta estabilidade do CAM pode ser verificada pelas percentagens que essa fração representa do COT do solo (Quadro 2), variando de 67 a 73 %, na camada de 0–5 cm, e de 84 a 88 %, na camada de 5–10 cm. Observou-se efeito do fator profundidade em todos os tratamentos, uma vez que em camadas de solo de menor aporte de resíduos, verificou-se tendência de acúmulo de material com maior recalcitrância e maior dificuldade de decomposição (Bayer et al., 2004). Isto também se deve à menor atividade microbiana em profundidade, acarretando maior acúmulo desta fração. Por ser uma fração de ciclagem muito lenta, longos períodos de tempo sob determinado manejo do solo, superiores ao período de realização deste experimento, são necessários para a observação de alterações no CAM (Bayer et al., 2004), sendo isto benéfico ambientalmente, visto que ocorre alto acúmulo de C no solo nessa fração.

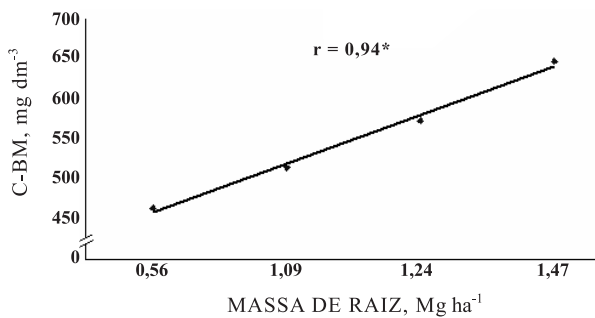
### Biomassa e atividade microbiana do solo

A biomassa microbiana do solo (BMS) aumentou de forma contínua da área sem pastejo (SP) para a área com maior intensidade de pastejo (P-10, Quadro 3). De acordo com Cattelan & Vidor (1990), a biomassa microbiana é estimulada a crescer em áreas com maior deposição de resíduos orgânicos no solo. Neste trabalho, isto não ocorreu com relação ao resíduo da parte aérea, mas, sim, com a massa de raízes (Figura 1 e Quadro 2), resultando em uma relação direta e linear (Figura 2), com alta correlação ( $r = 0,94$ ), entre as duas variáveis. A diminuição da massa de raízes, com o aumento da intensidade de pastejo (Figura 1), pode ser devido a uma resposta fisiológica da planta ao distúrbio pelo qual está sendo submetida (Chen et al., 2006). No caso, maiores intensidades de

**Quadro 3. Biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e relação biomassa microbiana/carbono orgânico total de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo**

Atributo microbiológico	P-10 <sup>(1)</sup>	P-20 <sup>(1)</sup>	P-40 <sup>(1)</sup>	SP <sup>(2)</sup>
Biomassa microbiana (mg kg <sup>-1</sup> de C no solo)	648 a	574 b	515 c	465 d
Respiração basal (mg kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> de C-CO <sub>2</sub> no solo)	8,1 a	7,6 b	7,4 b	6,3 c
Quociente metabólico (mg CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> C dia <sup>-1</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	12,5 <sup>ns</sup>	13,2	14,3	13,5
C-BM/COT (%)	1,98 a	1,82 a	1,51 b	1,47 b

<sup>(1)</sup> Altura de manejo do pasto, em cm. <sup>(2)</sup> Área não pastejada. Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.



**Figura 2. Correlação entre carbono da biomassa microbiana e massa de raízes em um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo. \* significativo a 5 % pelo teste T.**

pastejo favorecem uma menor área foliar para captura da radiação solar. Com a menor quantidade de radiação interceptada, menor é o crescimento vegetal, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular e, com isso, a massa de raízes nos diferentes tratamentos é afetada. Quanto maior a presença de raízes (com maior intensidade de pastejo), maior deve ser a exsudação de compostos orgânicos, o que pode promover aumento da BMS, uma vez que os compostos exsudados servem como fonte de energia para os microrganismos.

Segundo Tisdall & Oades (1979), o corte da parte aérea de plantas de azevém promove aumento na exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, além do aumento da rizosfera, o que favorece a BMS. A maior massa de resíduos da parte aérea sobre o solo nos tratamentos com menores intensidades de pastejo (Figura 1) pode ter influenciado, em algum grau, os resultados obtidos, uma vez que eles podem ter influenciado a temperatura do solo, sendo essa menor com maior quantidade de resíduo na superfície. Deve-se ter cuidado em utilizar as informações geradas em áreas puramente de lavouras nos sistemas de integração agricultura-pecuária, dada a maior complexidade dos processos que ocorrem no sistema solo-planta-animal. Como exemplo disso, podem-se citar os resultados aqui observados para a BMS, a qual tem sido considerada como adequado indicador de qualidade do solo (Souza et al., 2006). Se os resultados da BMS fossem tomados, isoladamente, como indicador de qualidade do solo, chegar-se-ia à conclusão de que o sistema de uso da pastagem com maiores intensidades de pastejo proveria a melhor qualidade do solo. Porém, é nessa situação que, ao longo do tempo, ocorrem as condições mais propícias à degradação do solo, como a maior densidade nas camadas superficiais do solo (Quadro 1) que podem, eventualmente, comprometer o estabelecimento e o rendimento da cultura da soja (Cassol, 2003). Deve-se também levar em consideração o momento da amostragem do solo, o qual influencia grandemente a

BMS. Diante disso, surge a necessidade de se avaliar a biomassa microbiana no decorrer do ciclo de pastejo, a fim de melhor entender a BMS nestes sistemas de integração.

O C contido na BMS aumentou de 1,47 para 1,98 % das áreas SP a P-10 (Quadro 3), respectivamente, sendo observada a formação de dois grupos. O primeiro formado pelos tratamentos P-10 e P-20, e o segundo formado pelos tratamentos P-40 e SP, os quais diferiram entre si. Valores de C da BMS, de forma geral, representam em torno de 2 a 4 % do COT (Gama-Rodrigues, 1999), podendo os valores inferiores a esses indicar perdas de C no sistema solo. No entanto, por ser uma fração muito dinâmica, os valores desse atributo podem apresentar grandes variações, até mesmo valores menores do que aqueles tidos como referência, citados acima, sem, no entanto, haver perdas efetivas de C do solo. Como exemplo, citam-se Souza et al. (2006), que observaram teores de 0,5, 0,7 e 1,1 % em áreas sob plantio direto, convencional e pastagem, respectivamente, em Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado.

A respiração basal seguiu o mesmo comportamento da BMS (Quadro 3). Ela foi maior na área P-10 do que na área SP, indicando que, no primeiro tratamento, a BMS está utilizando altas quantidades de C para sua manutenção. Esta alta atividade também pode depender da alta decomposição dos resíduos do solo, o que pode significar rápida liberação de nutrientes para a solução do solo e, a longo prazo, perda de COT do solo (D'Andréa, 2001).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) não apresentou diferenças entre os tratamentos (Quadro 3), variando de  $12,5 \times 10^{-3}$  a  $14,3 \times 10^{-3}$  mg CO mg<sup>-1</sup> C dia<sup>-1</sup>. O  $qCO_2$  é importante na avaliação da perda de qualidade do solo, em que a observação de maiores valores poderia indicar condições ambientais estressantes. À medida que a BMS torna-se mais eficiente, menos C é perdido via respiração e uma fração considerável pode ser incorporada ao tecido microbiano, colaborando para o aumento dos teores de C do solo. A falta de efeito nessa propriedade, no presente trabalho, pode ser explicada pelo fato de que apenas 15–30 % da BMS é catabolicamente ativa (Mac Donald, 1986), uma vez que o restante dos microrganismos está sob formas inativas ou latentes, apresentando baixa atividade no solo (Moreira & Siqueira, 2003).

### Fósforo na biomassa microbiana

Os teores de P microbiano (PM) variaram, entre as intensidades de pastejo, de 19,6 a 43,4 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3), sendo observados os maiores e menores teores na área SP e na intensidade máxima de pastejo, respectivamente. Martinazzo et al. (2007) encontraram valores de PM muito inferiores aos obtidos no presente estudo, provavelmente pelo menor conteúdo de C do solo utilizado por esses autores em relação ao solo utilizado no presente trabalho. Esses autores afirmam que a quantidade de P do solo, na

forma de PM, é aumentada pela adição de fertilizantes fosfatados, pois o armazenamento de P na BMS atua como dreno de P do solo. Os teores de P imobilizados na BMS são considerados altos (Martinazzo et al., 2007), estando próximos aos teores de P disponível no solo extraído com resina. Isto tem grande relevância, pois o P permanece em forma lábil no solo, podendo ser absorvido pelas plantas após a lise das células microbianas ou transferido à próxima geração de microrganismos. Neste contexto, o P temporariamente imobilizado na biomassa microbiana exerce importante papel na nutrição do P para as plantas, visto que retarda o processo de adsorção de P aos argilominerais do solo, que, muitas vezes, pode atingir níveis de irreversibilidade.

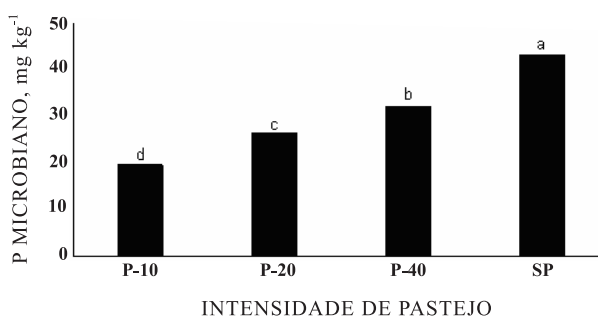
Os teores de PM correlacionaram-se positivamente ( $r = 0,8$ ) com os de P disponível no solo, extraídos por resina de troca aniônica (Quadro 4 e Figura 3). A diminuição no teor de P-resina e o decréscimo no teor de PM foram observados por Martinazzo et al. (2007) na cultura do azevém e por Guerra et al. (1995) com *Brachiaria decumbens*. Todavia, as interações observadas entre o PM e as demais características avaliadas foram intrigantes, embora de difícil explanação. Como já citado, com o aumento na intensidade de pastejo, verificou-se aumento na massa de raízes e na BM, ao passo que o PM apresentou comportamento inverso. Tal comportamento é coerente, visto que o acúmulo do PM só ocorre mediante a manutenção metabólica dos microrganismos que, de modo geral, necessitam manter uma relação  $C_{mic}:P_{mic}$  em torno de 14 (Moreira & Siqueira, 2003); entretanto, esta relação pode variar de 12 a 45 (Brookes et al., 1984).

A estreita relação entre o COP e o PM (Mafongoya et al., 2000) é empírica no entendimento desse processo, visto não haver imobilização do P mediante a ausência de energia, requerido pelos diversos

**Quadro 4. Fósforo disponível no solo extraído por resina em lâminas de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo**

Intensidade de pastejo	P resina		
	0-5	5-10	10-15
	————— mg dm <sup>-3</sup> —————		
P-10 <sup>(1)</sup>	54 aB	12 bB	11 aB
P-20 <sup>(1)</sup>	68 aA	24 aB	8 aC
P-40 <sup>(1)</sup>	64 aA	23 aB	12 aC
SP <sup>(2)</sup>	71 aA	21 aB	9 aC

<sup>(1)</sup> Altura de manejo do pasto, em cm. <sup>(2)</sup> Área não pastejada. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, na coluna e maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 %.



**Figura 3. Fósforo na biomassa microbiana na profundidade de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto manejado sob diferentes intensidades de pastejo. P-10, P-20 e P-40 são alturas de manejo do pasto, em cm, e SP área não pastejada.**

processos metabólicos. Chapuis-Lardy et al. (1998), porém, observaram que com o aumento do COP houve aumento da atividade radicular e incremento da densidade microbiana, posto que este foi preponderante na mesofauna. A imobilização do P ocorre quando a relação C:P no solo está acima de 100-300:1 (White & Ayoub, 1983), sendo influenciada principalmente pelo teor de P dos resíduos. Entretanto, Salas et al. (2003) advertem que, além da relação C:P, outros fatores inerentes à planta regulam o processo de imobilização, dentre os quais citam as variações sazonais e a competição entre microrganismos e as raízes. A relação inversa entre a massa de raízes e o PM traz a tona este último ponto, que, embora ainda não tenha sido avaliado, terá grande influência nesta dinâmica, uma vez que há um equilíbrio funcional entre parte aérea e raízes alterando constantemente a repartição dos nutrientes nesses compartimentos (van der Werf & Nagel, 1996).

O maior valor de PM observado no SP ilustra a importância do aumento da adição de resíduos, o que acarreta aumento da fração orgânica de P, a qual está intimamente relacionada com o PM (Brookes et al., 1984). O PM exerce papel crucial no suprimento de P para as plantas, principalmente em sistemas com baixa adição de P (Gatiboni et al., 2007) e com pastagens. Segundo Tian et al. (1992), a mobilização do P em resíduos em decomposição pode ser responsável por até 70 % de incremento de P nos resíduos. Contudo, considerando a difícil quantificação do PM, faz-se necessária uma sazonalidade amostral, além de avaliações mais detalhadas quanto à distribuição das frações do P no solo, que servirão de alicerce para detalhamentos sobre as interações entre microrganismos, MO e P no solo.

## CONCLUSÕES

1. Após seis ciclos de pastejo em que foi adotado o sistema de integração agricultura-pecuária, o estoque



de C orgânico total do solo não foi alterado pelo manejo da pastagem de inverno em diferentes alturas.

2. O estoque do C orgânico particulado foi mais sensível em demonstrar as alterações causadas por essas intensidades de pastejo, podendo ser utilizado como bom indicador de qualidade do manejo do sistema.

3. A biomassa microbiana do solo foi influenciada pelas intensidades de pastejo, apresentando relação inversa com a intensidade de pastejo e relação direta com a massa de raízes.

4. O P microbiano aumentou com a diminuição na intensidade de pastejo, apresentando comportamento similar ao do P extraído por resina de troca aniônica.

### AGRADECIMENTOS

Ao técnico Adão Luís Ramos dos Santos, pela contribuição nas análises laboratoriais; ao doutorando João Paulo Cassol Flores, pelas sugestões na revisão deste artigo, e à Agropecuária Cerro Coroadó, por prover as condições de campo para realização do experimento.

### LITERATURA CITADA

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, Academic Press, 1995.
- ANDERSON, J.P.E. & DOMSH, K.H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- BALESDENT, J.; CHENU, C. & BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Till. Res.*, 53:215-230, 2000.
- BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. *R. Ci. Agrovet.*, 2:81-87, 2003.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:677-683, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTINNETO, L. & FERNANDES, S.A. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 54:101-109, 2000.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16:169-175, 1984.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:319-329, 1982.
- BUCHANAN, M. & KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems. *Biol. Fert. Soils*, 13:211-217, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p. (Tese de Doutorado)
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Sistemas de cultura e a população microbiana no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:125-132, 1990.
- CHAPUIS-LARDY, L.; BROSSARD, M.; LAVELLE, P. & SCHOULLER, E. Phosphorus transformations in a Ferralsol through ingestion by *Pontosclex corethrurus*, a geophagous earthworm. *Eur. J. Soil Biol.*, 34:61-67, 1998.
- CHEN, Y.; LEE, P.; LEE, G.; MARIKO, S. & OIKAWA, T. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. *Plant Ecol.*, 183:265-275, 2006.
- CHRISTENSEN, B.T. Organic matter in soil: Structure, function and turnover. Tijele, DIAS, 2000. (DIAS Report. Plant Production, 30)
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:777-788, 2005.
- D'ANDRÉA, A.F. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2001. (Tese de Mestrado)
- ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.*, 75:529-538, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FRANZLUEBBERS, A.S. Integrated crop-livestock systems in the Southeastern USA. *Agron. J.*, 99:361-372, 2007.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-244.
- GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. & FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:691-699, 2007.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C. & ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana do solo de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:543-551, 1995.

- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable mangement. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.37-51.
- Mac DONALD, R.M. Extraction of microorganisms from soil. *Biol. Agric. Hortic.*, 3:361-365, 1986.
- MANFOGOYA, P.L.; BARAK, P. & REED, J.D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biol. Fert. Soils*, 30:298-305, 2000.
- MARTINAZZO, R.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONE, L.C. & KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:563-570, 2007.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2003. 626p.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic, 1996. 340p.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS, C.L. & RASMUNSEN, P.E. Soil organic matter changes result from tillage and biomass production. *J. Soil Water Conserv.*, 50:253-261, 1995.
- ROSS, D.J.; SPEIR, T.W.; KETTLES, H.A. & MACKAY, A.D. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: Influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1431-1443, 1995.
- SALAS, A.M.; ELLIOTT, E.T.; WESTFALL, D.G.; COLE, C.V. & SIX, J. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:181-189, 2003.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. *Acta Sci. Agron.*, 28:323-329, 2006.
- TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- TIAN, G.; KANG, B.T. & BRUSSARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions - Decomposition and nutrient release. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1051-1060, 1992.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Austr. J. Soil Res.*, 17:429-441, 1979.
- van der WERF, A. & NAGEL O.W. Carbon allocation to shoots and roots in relation to nitrogen supply is mediated by cytokinins and sucrose. *Plant Soil*, 185:21-32, 1996.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 9:703-707, 1987.
- WHITE, R.E. & AYOUB, A.T. Decomposition of plant residues of variable C/P ration and the effect on soil phosphate availability. *Plant Soil*, 74:163-173, 1983.
- XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S. & MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:247-258, 2006.