

Foto: Beáta Emöke Madari



## Atributos Biológicos do Solo numa Cronossequência de Pastagens em Sistema ILP no Cerrado

Luciano Cavalcante Muniz<sup>1</sup>

Beáta Emöke Madari<sup>2</sup>

José Benedito de Freitas Trovo<sup>3</sup>

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado<sup>4</sup>

Tarcísio Cobucci<sup>5</sup>

Aldi Fernandes de Souza França<sup>6</sup>

### Introdução

O solo constitui o principal componente relacionado à produção agropecuária. Dessa forma, a conservação, ou a melhoria de sua qualidade, é essencial para a sustentabilidade da atividade produtiva. A principal causa da degradação resulta da má utilização do solo, tendo como uma das consequências a redução da matéria orgânica e, por conseguinte, alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo (JAKELAITIS et al., 2008).

A qualidade do solo depende da natureza, dos fatores de formação e da interferência antrópica relacionada ao seu uso e manejo. A avaliação dessa qualidade requer informações, compreendendo a medida de vários atributos físicos, químicos e biológicos (GREGORICH et al., 1994). A fração viva da matéria orgânica do solo, a biomassa microbiana, é um importante componente na avaliação do

solo, pois atua nos processos de decomposição, interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (FRANZLUEBBERS et al., 1999).

A biomassa microbiana, por ser um dos primeiros componentes que é alterado devido a mudanças ocorridas no solo, pode ser utilizada como indicador do impacto imediato das práticas de manejo agrícola nos sistemas de produção (ANDERSON; DOMSCH, 1993) e, geralmente, apresenta forte correlação com a matéria orgânica do solo; ou seja, reflete mudanças na concentração e qualidade da matéria orgânica.

A atividade heterotrófica da biomassa microbiana pode ser avaliada pela liberação de carbono na forma de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>), sendo a quantidade de carbono liberado indicativa do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (DORAN; PARKIN, 1996).

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Ciência Animal, bolsista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, munizluciano@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira agrônoma, Doutora em Ciência do Solo e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, madari@cnpaf.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Melhoramento Genético Animal, pesquisador aposentado da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Planaltina, DF.

<sup>4</sup> Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, pmachado@cnpaf.embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, cobucci@cnpaf.embrapa.br

<sup>6</sup> Engenheiro agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, aldi@vet.ufg.br

Em vista das informações descritas anteriormente, a avaliação de atributos químicos, físicos e biológicos do solo tem suma importância para o monitoramento de manejos a serem adotados na produção de forrageiras, principalmente na região de Cerrado, na qual se encontra uma das maiores áreas de pastagem cultivada do Brasil, com aproximadamente 49,6 milhões de hectares (SANO et al., 1999).

Monitorando os atributos biológicos da qualidade do solo, é possível fazer uma identificação inicial do problema e afirmar se o manejo atual está contribuindo para potencializar o impacto positivo no ambiente. Se variações espaciais e temporais da qualidade do solo mostram que as estratégias atuais de manejo conduzem a manejo sustentável, não é necessário mudar para outro tipo de manejo. Contudo, se é identificado determinado declínio na qualidade do solo, é aconselhável passar por um processo de planejamento e implementação de práticas alternativas de manejo que sejam benéficas ao meio ambiente e lucrativa para os produtores (OLIVEIRA, 2000).

Neste estudo, objetivou-se avaliar as alterações exercidas pela dinâmica de rotação de culturas anuais e pastagem sobre o componente biológico do solo, com ênfase na cronossequência da fase pastagem, dentro do sistema de integração lavoura – pecuária.

## Material e Métodos

O local do estudo foi o experimento do Projeto de Integração Lavoura – Pecuária (PILP), localizado na Fazenda Capivara, da Embrapa Arroz e Feijão. A área está situada no Município de Santo Antônio de Goiás-GO, latitude 16°28'S, longitude 49°17'W e 823 m de altitude.

Segundo a classificação de Köppen (1948), o Município de Santo Antônio de Goiás-GO apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 23,0 °C, e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (15,1 °C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (32,2 °C) (Figura 1).

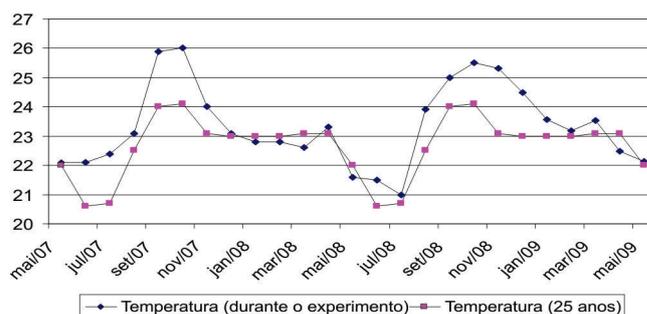


Figura 1. Temperatura média (°C) durante o período experimental comparada com a média de 25 anos (1983 a 2008).

O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1,487 mm (Figura 2), e a umidade relativa do ar, média anual, é de 71%, com o mês de agosto apresentando o menor índice (37,5%).

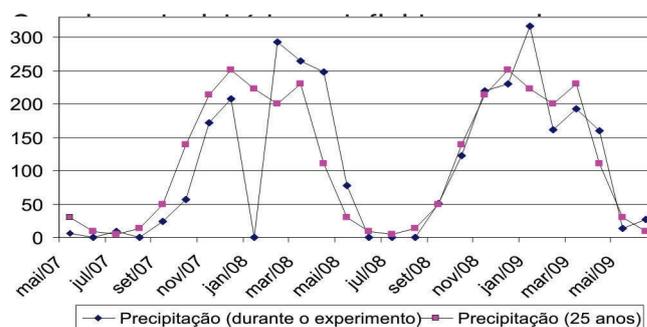


Figura 2. Precipitação mensal (mm) durante o período experimental comparada com a precipitação mensal média de 25 anos (1983 a 2008).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Acriférico típico (SANTOS et al., 2010), com horizonte A moderado e textura muito argilosa, fase cerradão subperenifólia, relevo plano.

O experimento foi realizado numa área de 92 ha, dividida em seis piquetes de aproximadamente 15 ha, onde foi feita a rotação de culturas anuais e pastagem. Para estabelecimento da pastagem de capim-Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) foram cultivadas as culturas anuais de soja (em palhada de capim-Marandu de três anos de formação), arroz (após a cultura da soja) e milho associado à forragem (após a cultura do arroz) no período chuvoso.

Nas áreas ocupadas com as culturas de soja e arroz, foi realizado o cultivo de feijão irrigado

durante o período de inverno. Os outros três piquetes foram utilizados para o manejo dos animais em pastagem de capim-Marandu, estabelecido pela técnica denominada Sistema Santa Fé, após 2,5 anos de rotação das culturas anuais, descritas anteriormente. As pastagens avaliadas variaram de um a três anos de formação, após a colheita do milho.

O manejo do solo e a média de adubação no período destinado ao cultivo das culturas anuais foram realizados da seguinte forma: o cultivo da soja foi realizado sob plantio direto, após a dessecação da pastagem de 3,5 anos, onde recebeu adubação de 495 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 02-20-20 no período de plantio. Em seguida, também sob plantio direto, foi cultivada a cultura de feijão irrigado no inverno, usando 105 kg ha<sup>-1</sup> de super simples como fonte de fósforo e 48 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio como fonte de potássio, na adubação de plantio. No ano seguinte, para o estabelecimento da cultura do arroz, foi feito um preparo do solo com uma aração e uma gradagem superficial, com adubação de 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-30-16 + micro no plantio e 208 kg ha<sup>-1</sup> de uréia na adubação de cobertura. Sendo neste mesmo ano cultivada, novamente, a cultura do feijão irrigado sob plantio direto no período do inverno. Antes do restabelecimento da pastagem, foi cultivada a cultura do milho consorciada com o capim-Marandu. O preparo do solo foi feito com uma aração e uma gradagem superficial e a adubação de plantio foi com 464 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-30-16 + Zi e 450 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia na adubação de cobertura.

Após a colheita do milho, ficou estabelecida a pastagem, sendo manejada pelos próximos 3,5 anos sem nenhum manejo do solo e adubação.

Nos tratamentos com pastagens oriundas de sistema de integração lavoura-pecuária foram manejados animais Nelore participantes da prova de ganho em peso da Embrapa. No ano de 2007, foram manejados nestes tratamentos um lote com 107 animais, com lotação média de 2,4 Unidades Animal por hectares (UA/ha) no período da seca e 3,6 UA/ha no período das águas. No ano de 2008, foram manejados 133 animais, com lotação média de 1,2 UA/ha no período da seca e 2,7 UA/ha no período das águas. No pasto degradado os animais foram manejados

em pastejo contínuo com lotação animal média de 0,85 UA/ha no período da seca e 1 UA/ha no período das águas.

O experimento foi avaliado no seu sexto ano de duração, com todas as áreas fechando um ciclo inteiro, embora em diferentes fases da rotação.

As análises foram feitas nos seguintes ambientes (tratamentos) (Tabela 1):

- Pastagem controle inicial (PCI) – Solo sob estabelecimento da pastagem após a colheita do milho em ILP;
- Pastagem de primeiro ano (P1) – Solo sob pastagem após um ano de formada em ILP;
- Pastagem de segundo ano (P2) – Solo sob pastagem após dois anos de formada em ILP;
- Pastagem de terceiro ano (P3) – Solo sob pastagem após três anos de formada em ILP;
- Pastagem controle final (PCF) – Solo após a dessecação da pastagem para plantio direto da soja em ILP;
- Controle com pastagem degradada (PCD) – Solo sob pastagem degradada (área vizinha ao experimento);
- Controle com vegetação nativa de Cerrado (Cerrado) – Solo sob Cerrado (área também vizinha ao experimento).

**Tabela 1.** Combinação dos tratamentos estudados ao longo dos dois anos de observação do experimento Integração Lavoura-Pecuária na Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás – GO.

Fator A (Ano)	Fator B (Estação)	Fator C (Piquetes)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1 (2007)	1 (maio)	P1	P2	P3	PCI	CPD	Cerrado	–**	–**
	2 (outubro)	P2	P3	PCF*	P1	CPD	Cerrado	–**	–**
2 (2008)	1 (maio)	P2	P3	–**	P1	CPD	Cerrado	–**	PCI
	2 (outubro)	P3	PCF*	–**	P2	CPD	Cerrado	–**	P1

\* Última amostragem de forragem, realizada antes da dessecação da pastagem de terceiro ano para ser feito o plantio da cultura da soja.

\*\* Não houve coleta de solo, pois estas áreas do experimento estavam ocupadas com culturas anuais (lavoura para grãos).

As propriedades de fertilidade do solo estão apresentadas na Tabela 2.

A classe textural do solo nas áreas de controle e sob ILP foi entre muito argilosa e argila arenosa (Tabela 3).

**Tabela 2.** Propriedades de fertilidade do Latossolo Vermelho sob o Cerrado natural, pastagem degradada e integração lavoura-pecuária, na camada de 0 cm - 10 cm.

Ambiente	MOS	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	Cu	Zn	Fe	Mn
	g/dm <sup>3</sup>	água	cmol/dm <sup>3</sup>			mg/dm <sup>3</sup>						
Cerrado <sup>1</sup>	26,5	5,3	0,18	0,12	0,1	10,23	1,8	51,5	1,6	1	10	85
Pastagem degradada <sup>2</sup>	16,4	5,9	1,89	0,62	0,0	4,08	0,8	59,3	2,0	2	8	66
ILP (PCI) <sup>3</sup>	13,7	5,6	1,68	0,63	0,1	4,75	17,6	115,5	2,3	3,7	27,4	43,4
ILP (P1) <sup>4</sup>	13,8	5,4	0,82	0,34	0,1	4,78	10,3	63,8	1,6	4,1	10,6	34,6
ILP (P2) <sup>5</sup>	13,8	5,5	0,98	0,39	0,1	4,51	5,5	63,5	1,6	2,5	17,7	33,5
ILP (P3) <sup>6</sup>	14,5	5,8	1,43	0,58	0,1	3,80	3,9	51,3	2,0	2,1	25,7	38,9
ILP (PCF) <sup>7</sup>	14,1	5,6	1,04	0,49	0,1	4,21	3,8	58,8	2,2	2,2	29,5	60,2

<sup>1</sup>Solo sob Cerrado nativo, <sup>2</sup>Solo sob pastagem degradada, <sup>3</sup>Solo sob estabelecimento da pastagem após a colheita do milho em ILP, <sup>4</sup>Solo sob pastagem após um ano de formada em ILP, <sup>5</sup>Solo sob pastagem após dois anos de formada em ILP, <sup>6</sup>Solo sob pastagem após três anos de formada em ILP, <sup>7</sup>Solo após a dessecação da pastagem para plantio direto da soja em ILP.

**Tabela 3.** Caracterização textural do Latossolo Vermelho sob o Cerrado natural, pastagem degradada e integração lavoura-pecuária, na camada de 0 cm - 10 cm.

Área	Textura			Classificação textural*
	Argila	Silte	Areia	
Cerrado <sup>1</sup>	709	67	224	Muito Argiloso
Pastagem Degradada <sup>2</sup>	514	26	460	Argila Arenosa
ILP (PCI) <sup>3</sup>	579	97	324	Argiloso
ILP (P1) <sup>4</sup>	599	97	304	Muito Argiloso
ILP (P2) <sup>5</sup>	709	80	211	Muito Argiloso
ILP (P3) <sup>6</sup>	596	100	304	Muito Argiloso
ILP (PCF) <sup>7</sup>	659	50	291	Muito Argiloso

\*Segundo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

<sup>1</sup>Solo sob Cerrado nativo, <sup>2</sup>Solo sob pastagem degradada, <sup>3</sup>Solo sob estabelecimento da pastagem após a colheita do milho em ILP, <sup>4</sup>Solo sob pastagem após um ano de formada em ILP, <sup>5</sup>Solo sob pastagem após dois anos de formada em ILP, <sup>6</sup>Solo sob pastagem após três anos de formada em ILP, <sup>7</sup>Solo após a dessecação da pastagem para plantio direto da soja em ILP.

Neste estudo, foram avaliados os atributos biológicos do solo. Para isso, amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 cm – 10 cm, quatro amostras compostas por tratamento, tomadas a partir de 20 tradagens ao final de cada estação. As amostras foram acondicionadas em geladeira a 4 °C por, no máximo, seis meses até a análise. Todas as análises biológicas foram realizadas nos laboratórios de Biologia do Solo e do Centro de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão.

Na análise biológica do solo foram medidos os atributos: carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método de fumigação-extração, descrito por Vance et al. (1987) e Brookes et al. (1985), a taxa de respiração basal (C-CO<sub>2</sub>) do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993), o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) e o quociente microbiano (q<sub>mic</sub>) do solo. O qCO<sub>2</sub> é a quantidade de C-CO<sub>2</sub> produzida por unidade de biomassa microbiana do solo por unidade de tempo (mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM hora<sup>-1</sup>) (ANDERSON; DOMSCH, 1993). Enquanto o q<sub>mic</sub> é a relação entre o carbono

microbiano (CBM) e o carbono orgânico total [(CBM/COT) \* 100] e fornece informação sobre a qualidade da matéria orgânica (POWLSON et al., 1987).

O carbono orgânico total (COT) do solo foi obtido pelo método Walkley-Black, conforme descrito em Claessen (1997), mas sem a multiplicação com o fator 1,724. Este fator é utilizado para transformar o valor medido de C oxidável por dicromato de potássio em MOS ou húmus. A base teórica para essa transformação é que na composição média do húmus, o carbono participa com 58% (SANTOS et al., 2008). O COT determinado com o método Walkley-Black representa uma fração do C orgânico do solo. Outra fração do C orgânico, que não seja oxidável por dicromato de potássio, representa o C em estruturas mais estáveis, inertes no solo como, por exemplo, o C pirogênico ou carvão vegetal, que pode estar presente em grandes quantidades nos solos do cerrado (ROSCOE; BUURMAN, 2003) como resultado de ocorrência de queimas naturais. Algumas estimativas chegam até 40% do COT (JANTALIA et al., 2007). Entretanto, esse C, sendo altamente refratário e em grande parte inerte, não é esperado ser influenciado por práticas de manejo do solo, no curto e médio prazo.

Os resultados para todos os atributos avaliados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento PROC GLM do programa SAS Institute (1986) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância, considerando no modelo geral de análise, o efeito aninhado do fator profundidade do solo dentro de cada tratamento. Com estas médias procedeu-se a análise bivariada de Pearson pelo procedimento PROC CORR do programa SAS Institute (1986).

## Resultados e discussão

Os resultados, na Tabela 4, permitem observar que houve aumento da população microbiana do solo decorrente da idade da pastagem, sendo demonstrado em razão do incremento dos teores de CBM do solo até o tratamento P3, com 454,57 mg kg<sup>-1</sup>, sendo esse o maior valor entre todos os tratamentos (com excessão do PCF ao qual foi igual), inclusive o Cerrado (337,8 mg kg<sup>-1</sup>). O menor CBM foi medido na pastagem degradada (CPD = 159,3 mg kg<sup>-1</sup>). Os outros tratamentos apresentaram valores medianos aos extremos, apresentados anteriormente e não foram diferentes ao nível de 5% de significância.

**Tabela 4.** Médias ajustadas por quadrados mínimos, da caracterização biológica do solo (0 cm - 10 cm) obtidas de um sistema de Integração Lavoura - Pecuária, implantado na Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás – GO.

Índice <sup>2</sup>	Ambientes <sup>1</sup>							F <sup>2</sup> e CV <sup>4</sup>
	Cerrado	CPD	PCI	P 1	P 2	P 3	PCF	
Atributos biológicos do solo								
C-CO <sub>2</sub>	1,56cb	0,61d	2,51a	1,79b	1,39bc	1,09cd	0,51d	10,52* 41,02
CBM	337,80b	159,30c	271,40b	294,90b	323,80b	454,60a	441,90a	24,43* 24,65
qCO <sub>2</sub>	5,03bc	4,44cd	9,27a	5,94b	4,49bc	2,40d	1,23d	9,94* 43,67
COT	14,03a	7,94d	9,89c	10,78bc	11,40bc	10,26bc	11,72b	33,70* 11,77
q <sub>mic</sub>	2,41b	2,01c	2,74b	2,73b	2,84b	4,43a	3,77a	14,26* 31,46

<sup>1</sup>Cerrado: Solo sob Cerrado nativo; CPD: Solo sob pastagem degradada; PCI: Solo sob estabelecimento da pastagem após a colheita do milho em ILP; P1: Solo sob pastagem após um ano de formada em ILP; P2: Solo sob pastagem após dois anos de formada em ILP; P3: Solo sob pastagem após três anos de formada em ILP; PCF: Solo após a dessecação da pastagem para plantio direto da soja em ILP.

<sup>2</sup>C-CO<sub>2</sub> = Respiração da Biomassa Microbiana (mg kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>); CBM = Carbono da Biomassa Microbiana (mg kg<sup>-1</sup>); qCO<sub>2</sub> = quociente metabólico (mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM hora<sup>-1</sup>); COT = Carbono Orgânico Total (g kg<sup>-1</sup>); q<sub>mic</sub> = quociente microbiano (%).

<sup>3</sup>Valor F da análise de variância; \* p < 0,01; ns = não significativo pelo teste Tukey.

<sup>4</sup> CV: Coeficiente de Variação.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha são estatisticamente iguais pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados similares foram encontrados por Carter (1986) e Powlson et al. (1987), que relataram grande sensibilidade da biomassa microbiana (BMS) às alterações no manejo e uso do solo e, que após as alterações serem introduzidas, a BMS sofre flutuações até atingir o equilíbrio.

Os resultados de CBM apresentam similaridade com os resultados do quociente microbiano (q<sub>mic</sub>), os quais fornecem indicações sobre a qualidade de matéria orgânica (POWLSON et al., 1987), uma vez que expressam a relação

do carbono orgânico total com o carbono da biomassa microbiana (COT:CBM) e quantificam o carbono ativo contido na matéria orgânica do solo (Tabela 4). O q<sub>mic</sub> pode ser utilizado como indicador para detectar se correções no manejo do solo devem ser propostas para que não ocorra comprometimento da qualidade biológica do solo e, conseqüentemente, da “saúde” do sistema de pastejo. Observando esse parâmetro (q<sub>mic</sub>), um estado de equilíbrio pode ser considerado quando os valores estão entre 2 e 5, ou seja, 2% a 5% do carbono do solo está na forma microbiana (JENKINSON; LADD, 1981). Segundo essa observação, todos os tratamentos se encontram dentro do equilíbrio, sendo a pastagem degradada o limite inferior desse parâmetro (CPD = 2,01%). No decorrer dos anos de experimentação, houve aumento no q<sub>mic</sub> do P1 (2,73%) até o P3 (4,43%), sugerindo que a pastagem formada e bem manejada promove vida microbiana no solo. O tratamento Cerrado apresentou quociente microbiano igual a 2,41%, resultado significativamente menor que o do solo sob pastagem de 3º ano (P3) e pasto controle final (PCF), os quais apresentaram médias de 4,55% e 3,70%, respectivamente. Isso indica que a quantidade de carbono na biomassa microbiana no solo sob pastagem foi relativamente alta, podendo ser o resultado da entrada de grande aporte de material orgânico no solo, tanto da parte aérea como do sistema radicular da planta forrageira.

Segundo Stenberg (1999), solos que mantêm alta quantidade de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar como também de ciclar mais nutrientes, pois o fato de muitos microrganismos utilizarem a fração disponível da matéria orgânica torna-os mais sensíveis às mudanças na sua qualidade. Em circunstâncias em que a biomassa se encontra sob alguma condição de estresse, a capacidade de utilização do carbono é diminuída e, nesse caso, a relação CBM ao COT diminui (menor q<sub>mic</sub>) (WARDLE et al., 1999). Ao contrário, com adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com mudança do fator limitante para condição favorável, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente (maior q<sub>mic</sub>), mesmo que os teores de carbono orgânico total (COT) permaneçam inalterados (POWLSON et al., 1987).

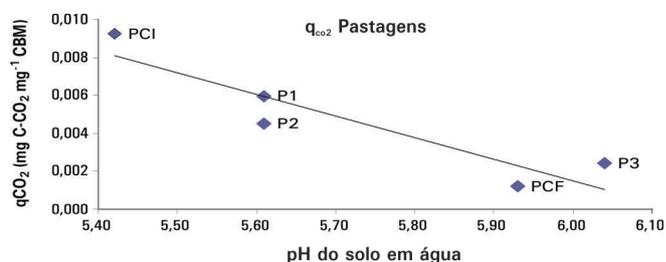
O maior valor para a respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) do solo foi medido na pastagem inicial

(PCI = 2,51 g kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) e esse valor diminuiu com a evolução da pastagem até a fase PCF (fase pastagem controle final, 0,51 mg kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>), porém não difere da pastagem degradada (Tabela 4). A respiração medida para o solo sob Cerrado (1,56 g kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) e pastagem degradada (CPD = 0,61 g kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) estava entre o valor máximo (PCI = 2,51 g kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) e mínimo (PCF = 0,51 g kg<sup>-1</sup> solo h<sup>-1</sup>) da pastagem em ILP. A respiração da biomassa microbiana pode ser influenciada por vários fatores e assim a sua avaliação independente é bastante dificultada. Entretanto, a combinação desse parâmetro com o CBM resulta num índice sensível da atividade microbiana. O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) é a proporção do CO<sub>2</sub> evoluído (respirado) por unidade de CBM por unidade de tempo. Esse índice é bastante utilizado para detectar condições de estresse para a biomassa microbiana (POWLSON et al., 1987). O maior valor encontrado para  $qCO_2$ , similarmente à respiração microbiana, foi na pastagem inicial (PCI = 9,27 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM) e os menores valores na pastagem em fase final (PCF = 1,23 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM) no P3 (2,04 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM) na pastagem degradada (CPD = 4,44 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM). No Cerrado (5,03 mg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> CBM) foram encontrados valores similares à pastagem degradada e ao P1 e P2 (Tabela 4).

Um atributo de interpretação aparentemente mais adequado como indicador da qualidade do solo, é o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), pois informa que, na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos carbono é perdido como CO<sub>2</sub> pela respiração e maior proporção de carbono é incorporado aos tecidos microbianos (TÓTOLA; CHAER, 2002). O baixo pH é limitante tanto ao crescimento da população microbiana, quanto à sua atividade no solo, representando um fator de estresse. Uma das respostas da biomassa microbiana ao estresse é o aumento na respiração e, conseqüentemente, no  $qCO_2$ . Assim, com o aumento do pH o  $qCO_2$  diminuiu.

No caso da cronossequência das pastagens do experimento ILP (PCI, P1, P2, P3 e PCF), onde o aumento de pH pode ser observado (Tabela 1) de PCI a P3 e PCF, houve correlação negativa entre a reação química do solo (pH) e  $qCO_2$ ,

$r = -0,9155$ ;  $p = 0,0291$  (Figura 3). O aumento de pH na evolução da pastagem em ILP (de PCI a PCF) pode ser devido à diminuição do efeito acidificador da adubação nitrogenada, que foi feito na fase do cultivo de culturas anuais (grãos), durante o tempo de evolução da pastagem. Outro fenômeno, que pode ter contribuído ao aumento do pH do solo durante a evolução da pastagem é a reciclagem de nutrientes de reação básica (Ca e Mg) pela pastagem (Tabela 1). Enwall et al. (2007) também observaram a correlação entre a respiração (atividade) microbiana e acidez no solo como resposta à adubação, principalmente nitrogenada e de lodo de esgoto. A maior respiração na fase inicial da pastagem (PCI), por outro lado, também pode ter sido induzida pela entrada de matéria orgânica através da introdução da braquiária (folhas e principalmente sistema radicular) junto com o milho (e como contraste na biomassa radicular), causando um efeito similar ao "mulching", como observado por Wardle et al. (1999). Esse efeito, com o passar do tempo e com o estabelecimento da pastagem, diminui e tende a um equilíbrio. Caminhando ao equilíbrio, cada vez menos C está sendo perdido do solo por respiração microbiana, o que contribui para seu acúmulo. No Cerrado, Carneiro et al. (2008) observaram, comparando diferentes sistemas de manejo do solo (pastagem, ILP, plantio direto com milho, soja, nabo e sorgo) e ecossistemas naturais (floresta fechada e pastagem nativo), que somente a pastagem proporcionou melhorias nos atributos biológicos do solo (CBM, C-CO<sub>2</sub>,  $qCO_2$ ,  $q_{mic}$ ), inclusive o ILP avaliado na fase pastagem.



**Figura 3.** pH versus  $qCO_2$  do solo nas diferentes fases de pastagem em ILP, sem os ambientes Cerrado e pastagem degradada (CPD). PCI = Controle Pasto Inicial em ILP; P1 = Pasto 1º ano em ILP; P2 = Pasto 2º ano em ILP; P3 = Pasto 3º ano em ILP; PCF = Controle Pasto Final em ILP.

## Conclusões

O sistema ILP melhora as características biológicas do solo em praticamente todos os aspectos avaliados, em comparação com a pastagem degradada. Os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) e de quociente microbiano ( $q_{mic}$ ) aumentam e de quociente metabólico ( $q_{CO_2}$ , reação para a estresse) reduzem nos ambientes da cronossequência da pastagem no sistema ILP, em comparação com a pastagem degradada. Também há melhora gradativa das propriedades biológicas dentro da cronossequência das pastagens do ILP, mostrando a importância da integração (rotação entre culturas anuais e pastagem) na promoção da vida microbiana e na imobilização do C no solo, e também o efeito positivo da pastagem dentro do sistema ILP para equilibrar os ocasionais efeitos negativos resultantes da produção de grãos sobre as propriedades biológicas do solo.

## Referências

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for  $CO_2$  ( $q_{CO_2}$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 25, n. 3, p. 393-395, Mar. 1993.
- BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. de C.; PERREIRA, H. S.; PAULINO, H. B., SILVEIRA NETO, A. N. da. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, out./dez. 2008.
- CARTER, M. R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 7, n. 1/2, p. 29-40, May 1986.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.
- ENWALL, K.; NYBERG, K.; BERTILSSON, S.; CEDERLUND, J. S.; HALLIN, S. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 39, n. 1, p. 106-115, Jan. 2007.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 31, n. 3, p. 395-405, Mar. 1999.
- GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 4, p. 367-385, Nov. 1994.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A. da; SANTOS, J. B. dos; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, jun. 2008.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1/2, p. 97-109, Sept. 2007.
- JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. M. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. p. 415-471.
- KÖPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- OLIVEIRA, J. R. A. de. **O impacto de sistemas integrados de lavouras e pastagens na biomassa-C e na atividade biológica de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado**. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTESEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 19, n. 2, p. 159-164, 1987.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, Apr. 2003.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. de O.; BEZERRA, H. S. **Área de distribuição espacial de pastagens cultivadas no Cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa, 3).

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. rev. atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 636 p.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. da; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; RIOS, A. J. W.; RODRIGUES, C. **Descrição morfológica de perfis de solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 52 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 258).

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT procedure guide for personal computers**: version 6. Cary, 1986. 846 p.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica. Section B. Soil and Plant Science**, Copenhagen, v. 49, n. 1, p. p. 1-24, Mar. 1999.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processo microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

VANCE, E. D.; BOOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 19, n. 6, p.703-707, 1987.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W.; NICHOLSON, K. S.; BONNER, K. I.; WATSON, R. N. Response of soil microbial biomass dynamics, activity and plant litter decomposition to agricultural intensification over a seven-year period. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 31, n. 12, p.1707-1720, Oct. 1999.

#### Comunicado Técnico, 198

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
**Embrapa Arroz e Feijão**  
Rod. GO 462 Km 12 Zona Rural Caixa Postal 79  
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO  
Fone: (62) 3533 2123  
Fax: (62) 3533 2100  
E-mail: sac@cnpaf.embrapa.br



Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



1ª edição  
Versão online (2010)

#### Comitê de publicações

**Presidente:** *Luís Fernando Stone*  
**Secretário-Executivo:** *Luiz Roberto R. da Silva*  
**Membro:** *Anderson Petrônio de Brito Ferreira*

#### Expediente

**Supervisão editorial:** *Camilla Souza de Oliveira*  
**Revisão de texto:** *Camilla Souza de Oliveira*  
**Normalização bibliográfica:** *Ana Lúcia D. de Faria*  
**Tratamento das ilustrações:** *Fabiano Severino*  
**Editoração eletrônica:** *Fabiano Severino*