

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO SOLO E DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA DE *Brachiaria brizantha*, EM DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM<sup>1</sup>

Michelle Cristina dos Santos<sup>2</sup>, Hélio Ricardo Silva<sup>2</sup>,  
Salatier Buzetti<sup>3</sup>, Ana Maria Rodrigues Cassiolato<sup>3</sup>

### ABSTRACT

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL SOIL  
CHARACTERIZATION AND *Brachiaria brizantha* BIOMASS  
PRODUCTION, AT DIFFERENT SAMPLING PERIODS

This study aimed to characterize the chemical and microbiological soil as microbial carbon biomass (MCB), released carbon dioxide (C-CO<sub>2</sub>), mycorrhizal colonization (COL), and *Brachiaria brizantha* dry matter production (DMP), at different sampling periods. The test areas were located in four farms on the São Paulo State, Brazil: São José da Barra (51°07'59,02"W and 20°25'24,82"S), Valência (51°07'10,38"W and 20°27'59,96"S), Primavera (50°59'44,02"W and 20°31'17,42"S) and Gior (50°59'19,00"W and 20°31'25,31"S). The predominant soil was a eutrophic red-yellow podzolic, for the S. J. da Barra, Valência, and Primavera farms, and an alic red-yellow podzolic for the Gior farm. The highest values for MCB were found on Apr./2003, with no differences between areas; for released C-CO<sub>2</sub>, highest values were showed on Aug./2002, at S. J. da Barra; highest DMP values were found on Aug./2002, at the Primavera; the highest COL values were obtained in Jul./2003, and the highest spore numbers were counted on Apr./2003, both in the S. J. da Barra. Despite the acid soil condition in all farms, as well as low nutrient content and moderate organic matter levels, the values for microbiological variables and DMP ranges from satisfactory to highly satisfactory. However, considering the areas histories, the necessity of chemical management in those areas is evident.

KEY-WORDS: Arbuscular mycorrhizal fungi; microbial biomass carbon; released C-CO<sub>2</sub>; carbon; released C-CO<sub>2</sub>.

### INTRODUÇÃO

As pastagens constituem sistemas complexos formados pelos componentes solo-planta-animal, os quais estão sujeitos às modificações antrópicas causadas pelo manejo (Hynes & Williams 1993). Estima-se que o Brasil possua, atualmente, cerca de 100 milhões de hectares de pastagens cultivadas, das quais mais de 60% são cultivadas com espécies do

### RESUMO

O trabalho teve por objetivo a caracterização química e microbiológica do solo, em termos do carbono da biomassa microbiana (CBM), do dióxido de carbono (C-CO<sub>2</sub>) liberado e colonização micorrízica (COL), bem como da produção de massa seca da parte aérea (MSPA) por *Brachiaria brizantha*, em diferentes épocas de amostragem. As áreas de teste estiveram localizadas em quatro fazendas na região noroeste do Estado de São Paulo: São José da Barra (51°07'59,02"W e 20°25'24,82"S), Valência (51°07'10,38"W e 20°27'59,96"S), Primavera (50°59'44,02"W e 20°31'17,42"S) e Gior (50°59'19,00"W e 20°31'25,31"S). O solo predominante é o argissolo vermelho-amarelo eutrófico, para S. J. da Barra, Valência e Primavera, e álico para Gior. Os valores mais elevados de CBM ocorreram em abr./2003, não existindo diferenças entre áreas; os de C-CO<sub>2</sub> liberado, em ago./2002, para S. J. da Barra; os de MSPA, em ago./2002, para Primavera; os de COL, em jul./2003; e os de esporos, em abr./2003, para S. J. da Barra. Apesar da condição de solos ácidos predominante em todas as fazendas, bem como os baixos teores de nutrientes e níveis médios de matéria orgânica, os valores das variáveis microbiológicas e de MSPA podem ser considerados como satisfatórios ou altos. Entretanto, considerando o histórico das áreas, ficou evidente a necessidade de manejo químico adequado às áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Fungo micorrízico arbuscular; carbono de biomassa microbiana; carbono do CO<sub>2</sub> liberado.

gênero *Brachiaria* (Carvalho et al. 1991, Rao et al. 1996, Zimmer et al. 1994). A *Brachiaria brizantha* é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade (Bogdan 1977), porém a maioria de suas espécies é adaptada a solos de baixa fertilidade (Botrel et al. 1990, Rao et al. 1996). Na região noroeste do Estado de São Paulo, essa gramínea apresenta as fenofases de rebrota, desenvolvimento vegetativo

1. Parte da dissertação da primeira autora, apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de Ilha Solteira.

Trabalho recebido em jan./2006 e aceito para publicação em mar./2008 (nº de registro: PAT 680).

2. Faculdade de Engenharia/Unesp, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. E-mail: michelle@iq.unesp.br

3. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia/Unesp. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira, SP. E-mails: hrsilva@agr.feis.unesp.br; sbuzetti@agr.feis.unesp.br; anamaria@bio.feis.unesp.br

inicial, desenvolvimento vegetativo pleno, florescimento e maturação/dormência, que ocorrem, respectivamente, nos períodos out./nov., nov./dez., dez./abr., mar./jun. e jun./set.

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). 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 pode ser utilizada como indicador biológico do impacto 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 de matéria orgânica. A atividade heterotrófica da biomassa pode ser avaliada pela liberação do carbono do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub> liberado) em amostras de solo, sendo a quantidade de carbono liberado indicativa do carbono lábil ou prontamente metabolizável do solo (Doran & Parkin 1996).

As plantas terrestres estabelecem simbioses mutualísticas ou parasíticas com diversos microorganismos, os quais encontram ambientes favoráveis nas partes aéreas ou subterrâneas dos vegetais. Como simbioses obrigatórios, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) trazem benefícios à comunidade vegetal e ao ambiente, fornecendo nutrientes e água às plantas, bem como favorecendo a retenção de umidade, a agregação e a estabilidade dos solos (Sylvia 1992, Augé et al. 2001).

O trabalho teve por objetivo a caracterização química e microbiológica (carbono da biomassa microbiana (CBM) e do CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado e colonização micorrízica) do solo e produção de biomassa (massa seca da parte aérea) por *Brachiaria brizantha*, em cinco épocas de amostragem (ago., out. e dez./2002, abr. e jul./2003).

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de pastagens em estudo estão localizadas na região noroeste do Estado de São Paulo, onde as temperaturas médias mensais variam entre

20,5°C e 26,2°C, e as precipitações pluviométricas mensais, entre 20 mm e 254 mm. A vegetação original foi caracterizada como floresta latifoliada tropical. Atualmente, grande parte desta região está coberta com a gramínea *B. brizantha*, formando pastagens que, na maioria dos casos, estão muito degradadas.

Foram selecionadas quatro fazendas, onde foram demarcadas as áreas de teste, das quais uma está localizada no município de Ilha Solteira, SP, Fazenda São José da Barra (51°07'59,02"W e 20°25'24,82"S), doravante chamada simplesmente de Barra, e três no município de Suzanópolis, SP, as fazendas Valência (51°07'10,38"W e 20°27'59,96"S), Primavera (50°59'44,02"W e 20°31'17,42"S) e Gior (50°59'19,00"W e 20°31'25,31"S). Os limites de cada área teste, que possui 1,0 ha, e dos pontos de coleta de solo e forrageira dentro das parcelas foram demarcados com auxílio do Sistema de Posicionamento Global (GPS). As coordenadas foram representadas com base na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), tendo como *datum* horizontal de referência o "South American Datum - 1969" (SAD69) (Santos 1990).

O solo que predomina nas áreas selecionadas é o argissolo vermelho-amarelo, porém eutrófico, para Barra, Valência e Primavera, e álico para Gior. As pastagens das áreas Valência e Gior foram formadas em 1995 e 1998, respectivamente, porém as pastagens das áreas Barra e Primavera são mais antigas e foram reformadas pela última vez em 1997, utilizando-se as culturas de milho e feijão (Barra) e milho (Primavera). Desde estas datas, nenhuma adubação ou correção de acidez foi empregada.

Para análise das características químicas do solo, foram coletadas quatro amostras, compostas de oito amostras simples, por área teste, na camada de 0-0,10 m, em duas épocas (ago./2002 e jul./2003). O solo foi seco à sombra, peneirado (2 mm), homogeneizado e enviado para análises laboratoriais. O pH foi analisado em CaCl<sub>2</sub> e, para as demais análises, foram efetuadas as extrações: P, K, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, com resina trocadora de íons, na relação solo:água:resina de 1:10:1; Al<sup>+3</sup> com KCl 1N e C-orgânico, via oxidação da MO, com dicromato de sódio 0,4 N e titulação, com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N. As determinações foram efetuadas como se segue: P por colorimetria; K por fotometria de chama; Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> por espectrofotometria de absorção atômica; (H + Al<sup>+3</sup>) empregando o pH SMP; Al<sup>+3</sup> por titulação

com NaOH 0,025 N e C-orgânico por colorimetria, de acordo com Raij & Quaggio (1983).

Para análise microbiana, foram coletadas, ao longo de toda a parcela, oito amostras, compostas de cinco amostras simples de solo e raízes por área teste, por períodos de amostragem (ago., out. e dez./2002, abr. e jul./2003). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com oito amostras compostas por tratamento (áreas teste), sendo cada amostra considerada uma repetição. O solo, peneirado e homogeneizado, foi usado para análise do CBM, C-CO<sub>2</sub> liberado e número de esporos de FMA autóctones. As raízes, após terem sido separadas do solo, foram lavadas em água corrente e preservadas em álcool 50%, para posterior quantificação da colonização micorrízica (COL).

O carbono de biomassa microbiana (CBM) foi avaliado pelo método de fumigação-extração (Vance et al. 1987), que envolve a esterilização da microbiota do solo pelo clorofórmio. O carbono liberado pela morte dos microrganismos foi determinado por extração seguido de digestão, comparando as amostras de solo não-fumigadas com as fumigadas. Para a quantificação do C-CO<sub>2</sub> liberado, 100 g de solo foram colocados em jarros de vidro, com tampa de rosca, no centro do qual foi colocado um frasco com 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Os jarros foram fechados hermeticamente e mantidos em câmara climatizada a 27°C. O controle foi feito com jarros de vidro, sem solo, contendo frascos com NaOH. O tempo de incubação foi determinado por meio de uma curva de calibração, resultante de um monitoramento diário. A titulação da NaOH livre permitiu calcular, por saturação, a quantidade de CO<sub>2</sub> que combinava com NaOH (Anderson & Domsch 1982). Para os meses de agosto, dezembro e abril, os jarros permaneceram na câmara climatizada por 168 horas, enquanto para julho e outubro, por 144 e 120 horas, respectivamente.

Para a avaliação da porcentagem de colonização (COL) radicular por FMA autóctones, um grama de raiz preservada foi lavado em água corrente e clarificado em KOH 10%, seguido de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, acidificado com HCl 1%, corado com azul de tripano a 0,05%, sempre a 90°C (Phillips & Hayman 1970), e preservado em lactoglicerol. A determinação da colonização micorrízica foi feita avaliando-se cem segmentos de 1,0 cm cada, por repetição, pelo método da placa quadriculada (Giovanetti & Mosse 1980),

sob microscópio estereoscópio (40x). Para separação e contagem de esporos de FMA autóctones, foi empregada uma associação dos métodos de decantação e peneiramento por via úmida (Gerdeman & Nicolson 1963), seguida de centrifugação e flutuação em sacarose (Jenkins 1974). A análise quantitativa dos esporos de FMA foi realizada utilizando-se uma placa de acrílico com anéis concêntricos, sob o microscópio estereoscópio (40x).

Para avaliar a produção da massa da matéria seca (MSPA) da parte aérea, dentro de uma área de 1,0 m<sup>2</sup>, escolhida aleatoriamente, foram coletadas cinco amostras compostas de dez amostras simples, por área teste, e acondicionadas em sacos. No laboratório, as amostras foram colocadas na estufa de 60°C até massa constante.

Os dados foram analisados estatisticamente por comparação de médias entre os tratamentos e análises conjuntas, com desdobramento das interações significativas. O teste Tukey foi empregado após a análise de variância e a análise de correlação foi feita para todas as variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as características químicas (Tabela 1), diferenças significativas foram verificadas entre épocas, entre áreas e para a interação épocas x áreas (exceto para H+Al e Al). Entre épocas, somente foram verificadas diferenças para H+Al e CTC, com os maiores valores observados em ago./2002. Entre áreas foram detectadas diferenças para Ca, H+Al, Al, V % e saturação por Al. Para a interação épocas x áreas (Tabela 2), para ago./2002, a Valência apresentou os maiores valores para as variáveis P, pH, Ca, Mg, CTC, SB e V %, enquanto para a Barra foram verificadas as menores médias para P, MO, Mg, SB e CTC. Para jul./2003, não foram detectadas diferenças significativas entre áreas para P, MO e Mg e os maiores valores de Ca foram verificados para a Valência; de pH, K, SB e V %, para a Primavera.

Os médios teores de MO, altos para saturação por Al e baixos de P e demais variáveis revelam a baixa fertilidade e falta de manejo químico adequado. Esses resultados podem ser confirmados pelo histórico das áreas. As pastagens das áreas Valência e Gior foram formadas em 1995 e 1987, respectivamente, e as pastagens das áreas Barra e Primavera são mais

Tabela 1. Médias, valores de F, com suas significâncias estatísticas e coeficiente de variação (CV%), determinados nas análises para as características químicas do solo, coletado na camada de 0 - 0,10 m, em áreas de pastagens com *Brachiaria brizantha*, situadas nas fazendas São José da Barra, Valência, Primavera e Gior, no noroeste do Estado de São Paulo, em dois períodos de amostragem.

Causa de Variação	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	Sat. Al
	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>			mmol dm <sup>-3</sup>					%	
Ago./2002	2,93 <sup>1</sup>	19,46	4,51	1,97	10,18	6,12	24,15a	2,21	18,37	42,52a	42,71	11,89
Jul./2003	3,65	16,96	4,69	2,58	9,68	6,18	18,90b	1,87	18,48	37,39b	45,03	9,91
Barra	2,62	16,06	4,53	1,74	8,56a <sup>1</sup>	4,37	19,62b	1,81b	14,70	34,33b	42,87a <sup>1</sup>	11,25b
Valência	4,00	19,37	4,66	2,08	13,31a	7,43	22,93a <sup>1</sup>	1,25b	22,71	45,65a	49,68a <sup>1</sup>	5,24c
Primavera	3,56	18,37	4,78	3,53	10,81a <sup>1</sup>	6,81	18,56c	1,06b	21,30	39,86a <sup>1</sup>	53,50a	5,12c
Gior	3,00	18,56	4,42	1,77	7,06b	6,00	25,00a	4,06a	14,98	39,98a <sup>1</sup>	37,43b	21,98a
Épocas (E)	3,52 <sup>ns</sup>	6,20 <sup>ns</sup>	6,09 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	106,9 <sup>ns</sup>	3,16 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	10,37 <sup>ns</sup>	8,18 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>
Áreas (A)	2,51 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	5,10 <sup>ns</sup>	1,89 <sup>ns</sup>	14,14 <sup>ns</sup>	4,42 <sup>ns</sup>	34,21 <sup>ns</sup>	50,95 <sup>ns</sup>	6,31 <sup>ns</sup>	8,41 <sup>ns</sup>	10,46 <sup>ns</sup>	33,70 <sup>ns</sup>
E x A	4,33 <sup>ns</sup>	3,73 <sup>ns</sup>	3,36 <sup>ns</sup>	4,35 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	6,27 <sup>ns</sup>	4,04 <sup>ns</sup>	3,54 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>
CV (%)	22,33	11,41	3,30	51,65	15,88	19,04	9,83	38,96	14,41	7,93	10,21	45,54

<sup>1</sup> Médias de oito repetições seguidas por mesma letra, minúscula na coluna e dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

\*\* e \*: significativo a 1% e 5%, respectivamente; ns: não significativo.

antigas e foram reformadas pela última vez em 1997, utilizando-se das culturas de milho e feijão (Barra) e milho (Primavera). Desde estas datas nenhuma adubação ou correção de acidez foi empregada. Outro indicativo é a troca, pelo fazendeiro, do colônio pela *B. brizantha*, menos exigente às condições de solo. Como encontrado nas pastagens estudadas no presente trabalho, os baixos teores de nutrientes e de pH têm sido relatados por vários autores, como Muller et al. (2004) e Oliveira et al. (2004).

Tabela 2. Desdobramento da variação associada às médias obtidas nas análises para as características químicas do solo, coletado na camada de 0 - 0,10 m, em áreas de pastagens com *Brachiaria brizantha*, situadas nas fazendas São José da Barra, Valência, Primavera e Gior, no noroeste do Estado de São Paulo, em cinco períodos de amostragem.

Áreas / épocas	Ago./2002	Jul./2003	Ago./2002	Jul./2003
	P (mg dm <sup>-3</sup> )		MO (g dm <sup>-3</sup> )	
Barra	1,87bB <sup>1</sup>	3,37aA	16,00bA	16,12aA
Valência	4,12aA	3,87aA	22,00aA	17,75aB
Primavera	3,00abA	4,12aA	19,37aA	17,37aA
Gior	2,75bA	3,25aA	20,50aA	16,62aB
	pH (CaCl <sub>2</sub> )		K (mmol dm <sup>-3</sup> )	
Barra	4,43abA	4,63bA	1,80aA	1,68bA
Valência	4,67aA	4,66bA	2,26aA	1,90bA
Primavera	4,62aB	4,95aA	2,35aB	4,71aA
Gior	4,33bA	4,51bA	1,50aA	2,05bA
	Ca (mmol dm <sup>-3</sup> )		Mg (mmol dm <sup>-3</sup> )	
Barra	8,62bcA	8,50bcA	3,75cA	5,00aA
Valência	14,62aA	12,00aB	8,25aA	6,62aA
Primavera	10,75bA	10,87abA	6,87abA	6,75aA
Gior	6,75cA	7,37cA	5,62bA	6,37aA
	SB (mmol dm <sup>-3</sup> )		CTC (mmol dm <sup>-3</sup> )	
Barra	14,22cA	15,80bA	36,10cA	32,56bA
Valência	25,11aA	20,32aB	50,48aA	40,82aB
Primavera	20,07bA	22,53aA	41,07bcA	38,66aA
Gior	14,07cA	15,90bA	42,45bA	37,52abB
	V (%)			
Barra	39,37bB	46,37bcA	—	—
Valência	49,75aA	49,62bA	—	—
Primavera	48,87aB	58,12aA	—	—
Gior	32,87bB	42,00cA	—	—

<sup>1</sup> Médias de oito repetições, seguidas por mesma letra, minúscula na coluna e dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para C-CO<sub>2</sub> liberado, diferenças significativas foram observadas para a interação entre épocas e áreas, mas não entre épocas ou entre áreas (Tabela 3), com os menores valores sendo detectados em outubro, nas áreas Primavera e Gior (Tabela 4). Diferenças significativas para a interação entre épocas e áreas para respiração microbiana, como verificado no presente trabalho, também foram relatadas por Pekka (2002). O autor observou valores variando de 12 µL a 19 µL CO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> entre áreas, durante os meses de ago./out., e relatou, também, que a atividade microbiana do solo foi altamente dependente da umidade e temperatura no solo, as quais flutuaram consideravelmente durante as variações sazonais. No presente trabalho, o teor de C-CO<sub>2</sub> verificado para Gior (6,99 mg CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> de solo seco/dia), em out./2002, pode ser decorrente do fato de ser o final do período de seca na região, aliado à falta de manejo químico a que essas áreas têm sido submetidas, por aproximadamente dezessete anos. A cobertura descontínua da gramínea, observada nessas fazendas, pode acarretar perdas de solo e de água e, conseqüentemente, da atividade microbiana. Os valores de C-CO<sub>2</sub> mostraram correlação significativa e positiva com os números de esporos (r = 0,19\*).

Tabela 3. Médias, probabilidade de F e coeficiente de variação (CV%), determinados para os valores de carbono de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, do carbono de biomassa microbiana (CBM), produção da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), colonização micorrízica (COL) e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em áreas de pastagens com *Brachiaria brizantha*, situadas nas fazendas São José da Barra, Valência, Primavera e Gior, no noroeste Estado de São Paulo, em cinco períodos de amostragem.

Causas de Variação	C-CO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo seco/dia)	CBM (µg C g <sup>-1</sup> solo seco)	MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )	COL (%)	n. de esporos (100 g solo seco <sup>-1</sup> )
	Épocas				
Ago./2002	10,74 <sup>1</sup>	411,24b	5244,40	74,06b	43,59b
Out./2002	9,54	141,30d	4125,90	72,71b	33,96c
Dez./2002	9,87	406,55b	5360,70	73,43b	42,53b
Abr./2003	9,06	589,79a	5204,50	72,71b	57,62a
Jul./2003	10,28	245,24c	2674,10	78,18a	64,81a
	Áreas				
Barra	10,84	309,65	6024,80a	74,45	72,25a
Valência	10,19	361,47	4451,50b	74,57	53,57b
Primavera	9,48	392,31	6234,80a	73,57	29,42d
Gior	9,08	371,86	1376,60c	74,30	38,77c
Épocas (E)	1,16 <sup>ns</sup>	50,72 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>	4,39 <sup>ns</sup>	5,31 <sup>ns</sup>
Área (A)	2,08 <sup>ns</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	11,39 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	14,96 <sup>ns</sup>
E x A	10,76 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	11,65 <sup>ns</sup>	8,46 <sup>ns</sup>	7,62 <sup>ns</sup>
CV (%)	10,49	35,31	21,52	2,85	22,83

<sup>1</sup> Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna e dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. \*\* e \* significativo a 1% e 5%, respectivamente; ns: não significativo. Médias de cinco repetições para MSPA e de oito repetições para C-CO<sub>2</sub> liberado e CBM.

Tabela 4. Desdobramento das médias determinadas nas análises para análise de carbono de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) liberado, do carbono de biomassa microbiana (CBM), produção da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), colonização micorrízica (COL) e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, em áreas de pastagens com *Brachiaria brizantha*, situadas nas fazendas São José da Barra, Valência, Primavera e Gior, no noroeste do Estado de São Paulo, em cinco períodos de amostragem.

Áreas / Épocas	Ago./2002	Out./2002	Dez./2002	Abr./2003	Jul./2003
C-CO <sub>2</sub> liberado (mg CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> solo seco/dia)					
Barra	12,03aA <sup>1</sup>	11,84aA	11,34aA	8,54aB	10,45aA
Valência	9,62bAB	11,43aA	9,35bB	9,67aAB	10,88aAB
Primavera	10,55abA	7,90bB	9,91abA	9,52aA	9,52aA
Gior	10,75abA	6,99bB	8,89bAB	8,51aB	10,27aA
MSPA (kg ha <sup>-1</sup> )					
Barra	6511,76bAB	4984,31abB	6786,28aAB	7444,67aA	4417,17aB
Valência	4023,93cAB	3982,98bAB	5771,39aA	5192,45bAB	3289,49abB
Primavera	9510,89aA	6981,22aB	7519,00aAB	5510,28abB	1655,32bC
Gior	932,77dA	574,70cA	1368,50bA	2673,10cA	1336,46bA
Colonização micorrízica (%)					
Barra	71,62bB	72,25aB	72,75aB	73,00aB	82,62aA
Valência	74,50abB	73,37aB	72,87aB	72,25aB	79,87aA
Primavera	73,25abA	72,25aA	73,62aA	73,00aA	75,75bA
Gior	76,87aA	73,00aB	74,50aAB	72,62aB	74,50bAB
Número de esporos (100 g de solo seco <sup>-1</sup> )					
Barra	64,25aB	38,37abC	73,75aB	100,87aA	84,00aAB
Valência	50,12abB	47,87aB	40,75bB	53,87bAB	75,25abA
Primavera	29,75bA	25,87bA	19,37cA	33,12cA	39,00cA
Gior	30,25bB	23,75bB	36,25bcB	42,62bcAB	61,00bA

<sup>1</sup> - Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna e dentro de cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Médias de cinco repetições para MSPA e de oito repetições para C-CO<sub>2</sub> liberado e CBM.

Para CBM, foram detectadas diferenças significativas entre épocas (Tabela 3), com os maiores valores em abr./2003, seguidos por agosto e dezembro de 2002. Essa variável mostrou correlação significativa e positiva com MO ( $r = 0,37^*$ ) e CTC ( $r = 0,45^{**}$ ). Elevados valores de CBM, segundo Gama-Rodrigues (1999), conferem função de reserva à biomassa microbiana, por acumularem grandes quantidades de nutrientes. No presente trabalho, a maior taxa (589,79  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco/dia) foi verificada em abr./2003, na Primavera, e a menor (141,30  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco/dia) em out./2002, na Valência (Tabela 4), coincidindo com o final do período chuvoso e seco na região, respectivamente.

Valores próximos aos observados no presente trabalho foram relatados por D'Andréa et al. (2002), que encontraram 666,2  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco de CBM em pastagens de braquiária, valores estes superiores aos relatados por Alvarenga et al. (1999), em pasto

natural (207,1  $\mu\text{g C g}$  solo). Estes últimos autores justificaram os baixos valores pela excessiva pressão do pastejo, que deixa o solo muito exposto, favorecendo a erosão da camada superficial onde se concentra a maior atividade biológica. Da mesma forma, o fato de não ter havido diferenças significativas entre áreas para os valores de CBM verificados no presente trabalho pode, também, estar relacionado aos baixos teores de nutrientes, como relatado por Martens (1995), Bolton Júnior et al. (1993), Cattelan & Vidor (1990) e Tsai et al. (1992).

A MSPA de *B. brizantha* mostrou diferenças estatísticas significativas entre áreas e para interação entre épocas e áreas (Tabela 3). Entre áreas, Barra e Valência não diferiram entre si e apresentaram as maiores médias de MSPA. Para a interação épocas e áreas (Tabela 4), a Gior exibiu os menores valores para todas as épocas, que não diferiram entre si, enquanto os maiores valores foram verificados para Primavera em agosto, outubro e dezembro de 2002, e na Barra em abril e julho de 2003. Correlação significativa e positiva foi encontrada entre MSPA e COL ( $r = 0,21^*$ ) e negativas com Al ( $r = -0,40^*$ ) e saturação por Al ( $r = -0,34^*$ ) do solo.

Para a maioria das regiões pastoris dos estados da região Sudeste do Brasil, verifica-se a ocorrência da redução no crescimento das forrageiras tropicais, sobretudo no inverno seco, face à baixa umidade do solo, queda de temperatura e radiação solar (Pedreira 1973). Botrel et al. (2002) relataram 614,3 kg ha<sup>-1</sup> de MSPA de *B. brizantha*, no inverno, e 2.375 kg ha<sup>-1</sup> durante o verão. No presente trabalho, os teores de MSPA foram elevados, mesmo em julho de 2003, época de inverno seco e de período de dormência, apesar dos baixos teores de nutrientes nos solos.

Dessa forma, ficou evidente que as variáveis estudadas sofreram variação sazonal, e os altos valores verificados em agosto de 2002 podem ter ocorrido por interferência da chuva, visto que a ocorrência desta pode ter adiado a entrada da gramínea no período de dormência, garantindo resultados satisfatórios ainda nesta época. Da mesma forma, os valores também acompanharam as alterações das fenofases, com os menores valores em out./2002 (época seca e início da rebrota) e os maiores valores em abr./2003, fase de produção de sementes e final do período chuvoso.

As porcentagens de COL foram diferentes entre áreas e para a interação (Tabela 3), com as

maiores e menores porcentagens de colonização observadas em jul./2003 (82,62%) e ago./2002 (71,62%), respectivamente, para Barra (Tabela 4). Estes valores foram altos e mostraram uma pequena amplitude de variação. A alta COL, especialmente em jul./2003, fase de produção de sementes e entrada do período de seca, pode ter ocorrido em função da necessidade de aquisição de nutrientes pelas plantas, nestas áreas de baixa fertilidade. Para Janos (1996), plantas micorrizadas têm apresentado maior crescimento em solos de baixa fertilidade, mostrando, também, maior capacidade competitiva.

Para o número de esporos de FMA foram detectadas diferenças significativas entre áreas, entre épocas e para a interação entre épocas e áreas (Tabela 3). Caracterizando a interação, a fazenda Barra mostrou os maiores valores em abr./2003 e as demais áreas em jul./2003, enquanto os menores foram observados em Primavera, em dez./2002 (Tabela 4).

Os esporos de FMA podem ser a fonte mais importante de propágulos, devido à sua resistência aos estresses mais severos (Brundrett 1991, Cuenca et al. 1998). O maior número de esporos (100,8 por 100 g de solo seco), verificado em abr./2003, na fazenda Barra (final do período chuvoso) (Tabela 4), não pode ser considerado alto, mas foi semelhante aos relatados por Melloni et al. (2003), que observaram 67 esporos por 50 mL, em área recém minerada e coberta por braquiária, e inferior aos reportados por Martins et al. (1999), que encontraram 260 esporos por 50 g solo em áreas degradadas do cerrado.

Os números de esporos de FMA, no presente trabalho, para algumas áreas, foram bastante reduzidos, principalmente para Gior (23,75 por 100 g solo seco, em out./2002) e Primavera (19,37 por 100 g solo seco, em dez./2002), comparáveis aos relatados por Cuenca et al. (1998), para áreas muito degradadas, onde a densidade de esporos variou entre 4 a 24 esporos 100 g<sup>-1</sup> de solo, e ressaltando a falta de um manejo químico adequado às áreas estudadas.

## CONCLUSÕES

1. As variáveis microbiológicas apresentaram valores altos e foram influenciadas pela variação sazonal. Os maiores valores para C-CO<sub>2</sub> liberado, porcentagem de colonização e número de esporos de

fungos micorrízicos arbusculares (FMA) foram observados em S. J. da Barra.

2. A produção de massa seca da parte aérea MSPA foi considerada satisfatória, com os menores valores encontrados na Fazenda Gior.
3. Os teores baixos de nutrientes e de pH e os valores medianos de matéria orgânica, nas quatro áreas, evidenciam a necessidade de manejo químico mais adequado, para que as pastagens se tornem mais produtivas.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP e à FUNDUNESP, pelo apoio financeiro, e à CAPES pela concessão de bolsa de estudos à primeira autora.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.
- ANDERSON, J. P.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 25, n. 3, p. 393-395, mar. 1993.
- ANDERSON, T. H., DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 21, n. 3, p. 471-479, 1982.
- AUGÉ, R. M. et al. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant Soil*, The Hague, v. 230, n. 1, p. 87-97, 2001.
- BOGDAN, A.V. *Tropical pastures and fodder plants*. Londres: Longman, 1977.
- BOLTON JUNIOR, H.; FREDRICKSON, J. K.; ELLIOTT, L. F. Microbial ecology of the rhizosphere. In: METTING JUNIOR; BLANE, F. *Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management*. New York: M. Dekker, 1993. p. 27-63.
- BOTREL, M. A. et al. Potencial forrageiro de gramíneas em condições de baixas temperaturas e altitude elevada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 3, p. 393-398, 2002.

- BOTREL, M. A., ALVIM, M. S.; MOZZER, O. L. *Fatores de adaptação de espécies forrageiras: curso de pecuária leiteira*. Coronel Pacheco: EMBRAPA/CNPGL, 1990. (Documentos, v. 13).
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. *Advances in Ecology Research*, Toronto, v. 21, p. 171-313, 1991.
- CARVALHO, M. M. et al. Resposta de uma espécie de braquiária à fertilização com nitrogênio e potássio em solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, n. 2, p. 195-200, 1991.
- CATTELAN, A. J., VIDOR, C. Sistemas de culturas e a população microbiana do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 2, p. 125-132, 1990.
- CUENCA, G.; ANDRADE, Z.; ESCALANTE, G. Diversity of glomalean spores from natural disturbed and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 30, p. 711-719, 1998.
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 25-37.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M.. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. *Soil Biology & Biochemistry*, Elmsford, v. 31, p. 395-405, 1999.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Gênese, Porto Alegre, 1999. p. 227-243, .
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of British Mycological Society*, Cambridge, v. 46, p. 234-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, Cambridge, v. 84, p. 489-500, 1980.
- GREGORICH, E.G. et al. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 74, p. 367-385, 1994.
- HYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in grazed pasture ecosystem. *Advances on Agronomy*, San Diego, v. 49, p. 119-199, 1993.
- JANOS, D. P. Mycorrhizas, succession, and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. In: FRANKLAND, J. C.; MAGAN, N.; GADD, G. M. *Fungi and environmental change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 129-162. (British Mycological Society Symposium, v. 20).
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report*, Washington, v. 48, n. 9, p. 692, 1974.
- MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 19, p. 87-89, 1995.
- MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 4, p. 665-674, 1999.
- MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 267-276, 2003.
- MULLER, M. M. L. et al. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 103, Amsterdam, p. 279-288, 2004.
- OLIVEIRA, O. C. et al. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 103, p. 289-300, 2004.
- PEDREIRA, J. V. S. Crescimento estacional dos capins colônio (*Panicum maximum* Jacq), gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.), Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf) e Pangola Taiwan A-24, *Digitaria pentzsi* Stent. *Boletim da Indústria Animal*, Nova Odessa, v. 30, p. 59-146, 1973.
- PEKKA, V. Seasonal variation in the soil respiration rate in coniferous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 34, Elmsford, n. 9, p. 1375-1379, 2002.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. *Transaction of British Mycological Society*, Cambridge, v. 55, p. 158-161, 1970.

- RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. *Métodos de análises de solos para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. (Boletim técnico, v. 81).
- RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptation to acid soils. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. *Brachiaria: biology, agronomy and improvement*. Cali: CIAT/EMBRAPA-CNPQC, 1996. p. 53-71.
- SANTOS, M. C. S. R. *Manual de fundamentos de cartográficos e diretrizes gerais para a elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.
- SYLVIA, D. M. Quantification of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. *Methods in microbiology: techniques for the study of mycorrhiza*. New York: Academic Press, 1992. p. 53-66.
- TSAI, S. M., BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 59-72.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.
- ZIMMER, A. H. et al. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, 1994. p.153-208.