

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

RELAÇÕES ENTRE PRODUTIVIDADE DE *Brachiaria brizantha* E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO DO CERRADO⁽¹⁾

Maria Cecília Cavallini⁽²⁾, Marcelo Andreotti⁽³⁾, Letícia Lisbôa Oliveira⁽⁴⁾, Cristiano Magalhães Pariz⁽⁴⁾ & Morel de Passos e Carvalho⁽³⁾

RESUMO

Em sistema de integração lavoura-pecuária, os diversos cultivos em sistema plantio direto alteram os atributos físicos do solo, refletindo sobre a produtividade e a composição vegetal. O objetivo deste trabalho foi indicar atributos do solo com melhor correlação com a produtividade e teor de proteína da *Brachiaria brizantha*. Foram analisadas as correlações lineares e espaciais entre a produtividade de matéria seca (MS) e o teor de proteína bruta (PB) de *Brachiaria brizantha* (cv. Marandu) e de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico (Oxisol), em três profundidades (zero-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30 m). Para isso, foi instalada a malha geoestatística (entre 20° 18' 05" S e 20° 18' 28" S, e entre 52° 39' 02" W e 52° 40' 28" W) para a coleta dos dados, contendo 124 pontos amostrais, numa área de 4.000 m². A produtividade e o teor de proteína bruta de *Brachiaria brizantha* não variaram aleatoriamente e seguiram padrões espaciais bem definidos, com semivariogramas do tipo esférico, com alcances da dependência espacial, aproximadamente, entre 40 e 50 m. O aumento da resistência mecânica à penetração e da umidade do solo na camada superficial, no cultivo de *Brachiaria brizantha*, promove a redução do teor de proteína bruta e da matéria seca. A porosidade total na camada de 0,20-0,30 m, é um importante indicador da qualidade física do solo e apresenta confiabilidade para estimativa da produtividade de matéria seca de *Brachiaria brizantha*.

Termos de indexação: resistência mecânica à penetração, manejo do solo, densidade do solo, porosidade do solo.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado em Agronomia área de concentração em Sistemas de Produção da primeira autora, apresentada à Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de Ilha Solteira. Recebido para publicação em abril de 2009 e aprovado em abril de 2010.

⁽²⁾ Mestre em Agronomia área de concentração Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil 56, Centro, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: cecicavallini@gmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, UNESP. Emails: dreotti@agr.feis.unesp.br; morel@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Mestrando do Curso de Agronomia área de concentração em Sistemas de Produção, UNESP. E-mails: leticiascarafici@gmail.com; cmpariz@hotmail.com.br

SUMMARY: RELATIONSHIPS BETWEEN YIELD OF *Brachiaria Brizantha* AND PHYSICAL PROPERTIES OF A SAVANNAH OXISOL

*Crop-livestock integration can affect soil physical properties, altering the yield and plant composition during the various no-tillage crop cycles. The objective of this study was to select the soil properties with the clearest relationship with yield and crude protein content of *Brachiaria brizantha*. Linear and spatial correlations were analyzed between dry matter yield and crude protein of *Brachiaria brizantha* and of some physical properties of a Dystroferric Red Latosol (Oxisol), in three layers (0–0.10; 0.10–0.20; 0.20–0.30 m). A geostatistical grid was installed for data collection, containing 124 points in an area of 4,000 m² (20° 18' 05" S–20° 18' 28" S and 52° 39' 02" W–52° 40' 28" W). No random variation was observed for the yield and crude protein content of *Brachiaria brizantha*, but well-defined spatial standards with spherical semivariograms reaching a spatial dependence of approximately 40–50 m. The increase of mechanical penetration resistance and of soil moisture in the surface layer of soil under *Brachiaria brizantha* resulted in lower crude protein content and dry matter. Total porosity in the 0.20–0.30 m layer is an important indicator of the soil physical quality and proved reliable for estimations of the dry matter yield of *Brachiaria brizantha*.*

Index terms: soil penetration resistance, soil management, soil density, soil porosity.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a degradação dos solos e os baixos índices médios de produtividades das pastagens têm merecido, por parte da classe agrônômica e dos produtores rurais, especial atenção. No Cerrado, pastagens com manejo inadequado conduzem à degradação do solo, levando a limitações tanto pela compactação como pela perda da fertilidade. Assim, entende-se por degradação de pastagem o processo evolutivo da perda de vigor, produtividade e capacidade de sua recuperação natural, tornando-a incapaz de sustentar a produção e qualidade exigida pelos animais, bem como de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas daninhas. Para frear esse processo e recuperar as pastagens já degradadas, um caminho eficaz tem sido o da exploração da pecuária integrada com a agricultura, pela utilização do sistema plantio direto – tecnologia fundamentada na ausência do revolvimento do solo, presença de cobertura morta e rotação de culturas. Por isso, para a consolidação e sucesso desse sistema, é de fundamental importância o estabelecimento de culturas para a produção de palhada, em quantidade adequada à cobertura do solo (Andreotti et al., 2008).

A integração agricultura-pecuária é uma das alternativas para viabilizar a agropecuária brasileira e aumentar a receita do agricultor e, ou, do pecuarista, além de fornecer nutrientes para as plantas, melhorar a fertilidade do solo, permitir a rotação de culturas, diminuir a incidência de pragas e doenças e gerar empregos. Para isso, existem vários caminhos, entre eles as culturas anuais adubadas, como o feijão e, ou, forrageiras produtoras de silagem (Borghi et al., 2008).

Os processos e atributos do solo que determinam o desempenho e a produção das culturas, bem como o impacto da agricultura no meio ambiente, variam no espaço e no tempo. Portanto, esses atributos físicos e químicos do solo podem ser espacialmente correlacionados, conduzindo para que a dependência espacial explique a influência dos fatores e processos de sua formação, assim como do seu manejo. Dessa forma, esse fato pode contribuir para o aumento da produtividade agrícola. Por outro lado, o mapeamento dos atributos do solo numa área agrícola é importante tanto para a recomendação de práticas de manejo do solo, como para a avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental. Assim, o efeito das alterações nos atributos físicos do solo e sua correlação com a variabilidade espacial da produtividade das culturas, provocada por diferentes manejos do solo, ainda não estão bem definidos (Silva et al., 2004).

A adoção da integração da agricultura com a pecuária, pelo uso do sistema plantio direto, altera a estrutura do solo, que por sua vez interfere nas características físicas da sua camada superficial, vindo a interferir na produtividade das culturas (Spera et al., 2004). Os efeitos desse sistema sobre a produtividade destas, e da própria pastagem, são muito dependentes das condições locais ou sazonais, apresentando resultados controversos. Por outro lado, um sistema de manejo do solo em agricultura de precisão é aquele no qual as limitações da produtividade das culturas e a proteção ambiental podem ser identificadas, caracterizadas e manejadas em tempo e local adequados. Assim, a caracterização da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos dos solos, associada a outras técnicas

estatísticas de tomada de decisões, pode contribuir para uma agricultura econômica e ecologicamente sustentável (Carvalho et al., 2002).

O presente trabalho teve por objetivos avaliar a variabilidade e caracterizar a dependência espacial entre alguns atributos físicos do solo, a produção de forragem e o teor de proteína bruta do capim-braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), assim como estudar as correlações lineares e espaciais entre tais atributos, visando identificar quais destes interferiram no aumento da produtividade, para um Latossolo Vermelho distroférico do Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/UNESP), localizada no município de Selvíria (MS), entre as latitudes de 20° 18' 05" S e 20° 18' 28" S e as longitudes de 52° 39' 02" W e 52° 40' 28" W. Sua precipitação média anual é de 1.300 mm, e a temperatura média, de 23,7°C. O tipo climático é Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O solo no qual a malha experimental foi instalada, classificado por Demattê (1980) e reclassificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), é um Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso (580 g kg⁻¹ de argila), caracterizado quimicamente antes da implantação de *Brachiaria brizantha* (Quadro 1).

O solo no qual foi estabelecida a pesquisa estava sendo utilizado em rotação de culturas em sistema plantio direto (SPD) por sete anos, tendo sido ocupado anteriormente por guandu-anão (*Cajanus cajan*). A planta-teste pesquisada foi *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, semeada em 26/01/2007, após a dessecação das plantas daninhas da área com o herbicida glyphosate, na dose de 5 L ha⁻¹ do produto comercial, com espaçamento entre linhas de 0,17 m e gasto de 12 kg ha⁻¹ de sementes, ou seja, 10–20 de sementes viáveis m⁻². As plantas foram cultivadas por 45 dias (12/03/2007) e ceifadas com auxílio de uma roçadora, a uma altura de 0,25 m, para nivelamento da área.

Após 50 dias do manejo inicial, as plantas foram dessecadas (2/05/2007) com o herbicida glyphosate, novamente na dose de 5 L ha⁻¹ do produto comercial. No dia anterior à dessecação foi realizada a coleta de solo para avaliação dos atributos físicos, bem como a coleta da parte aérea de plantas, para determinação da matéria seca e teor de proteína bruta.

Para instalação da malha experimental, foram definidas as direções *x* e *y* do sistema de coordenadas cartesianas, numa área com pastagem de *B. brizantha*, estabelecida entre dois terraços agrícolas. Para isso, foi utilizado o nível ótico comum, efetuando-se o estaqueamento global da malha experimental após o manejo inicial (12/03/2007) da forrageira. A grande malha experimental ficou constituída de cinco linhas e 10 colunas, de formato retangular e contendo 44 pontos amostrais, com espaçamento entre pontos de 10,0 x 10,0 m, numa área total de 4.000 m² (100 x 40 m). Os eixos, que foram as maiores transeções, continham 11 pontos cada, 100 m, em hipotenusa de 107,7 m. Entretanto, foram alocadas por sorteio, dentro da grande malha, submalhas de refinamento da distância entre os pontos, visando detalhar o estudo da dependência espacial dos dados, para espaçamento entre pontos menores que 10,0 m. Cada submalha ficou posicionada entre quatro pontos da grande malha, constituindo-se de um ponto no seu centro e mais quatro estabelecidos no sentido dos eixos cartesianos e na metade entre cada par, com espaçamentos de 5,0 e 1,67 m entre eles, totalizando 124 pontos.

Os atributos pesquisados foram do solo e da planta, todos individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral (estaca) da malha experimental. Os 15 atributos do solo, coletados em três profundidades (0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m), foram: densidade do solo (DS1, DS2 e DS3); porosidade total do solo (PT1, PT2 e PT3); resistência mecânica à penetração (RP1, RP2 e RP3); umidade gravimétrica (UG1, UG2 e UG3); e umidade volumétrica (UV1, UV2 e UV3). As amostras do solo foram originadas de monólitos com estrutura indeformada para a DS e a PT, ao passo que para a UG o foram com estrutura deformada, com auxílio de um trado de caneca. Dessa forma, a densidade do solo (kg dm⁻³) e a porosidade total (m³ m⁻³) foram determinadas pelo Método do Anel Volumétrico. Já a umidade gravimétrica, em balança analítica (+/- 0,005 g), foi dada em kg kg⁻¹. Esses

Quadro 1. Características químicas de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS), antes da semeadura de *Brachiaria brizantha*

Profundidade	P _{resina}	MO	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	CTC	V	m
m	mg dm ⁻³	g dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³							— % —	
0,00 - 0,10	12,5	18,0	5,1	3,2	19	11	22,2	0,5	33,3	55,5	60	0,9
0,10 - 0,20	6,7	14,1	4,6	1,9	10	6	25,5	1,8	17,9	43,4	41	4,1
0,20 - 0,30	3,5	11,8	4,7	1,7	10	6	21,8	1,0	17,7	39,5	45	2,5

atributos foram determinados conforme Embrapa (1997). A umidade volumétrica foi calculada conforme Kiehl (1979), por:

$$UV = UG \times DS$$

em que UV é a umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$); UG, a umidade gravimétrica ($kg kg^{-1}$); e DS, a densidade do solo ($kg dm^{-3}$). Os dados da RP foram obtidos com o penetrômetro de impactos (Stolf, 1991) e calculados segundo a expressão contida em Souza et al. (2001):

$$RP = \{5,581 + 6,891 \times [N/(P-A) \times 10]\} \times 0,0981$$

em que RP é a resistência mecânica à penetração (MPa); N, o número de impactos efetuados com o martelo do penetrômetro para obtenção da leitura; e A e P são as leituras antes e depois da realização dos impactos (cm), respectivamente.

Em relação aos atributos da planta, a matéria seca de *B. brizantha* foi obtida e calculada em função de amostras originadas da coleta de todas as plantas do ponto amostral. Na demarcação da área foi utilizado um quadrado metálico de 0,50 x 0,50 m (0,25 m²). As plantas foram ceifadas manualmente a uma altura de 0,25 m, pesadas para determinação da matéria fresca e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. A partir disso, foi determinada a matéria seca por ponto amostral, extrapolada para $kg ha^{-1}$. Das amostras de matéria seca efetuou-se a determinação do teor de N (digestão sulfúrica) e calculou-se o teor de proteína bruta ($PB = N \times 6,25$), conforme método contido em Silva & Queiroz (2002).

A análise estatística dos atributos estudados constituiu-se nas análises descritiva inicial, de correlação e geoestatística dos dados. Para cada atributo estudado, foi efetuada a análise descritiva inicial dos dados pelo emprego da estatística clássica; utilizando o SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997), foram calculados a média, mediana, moda, erro-padrão da média, valores mínimo e máximo, desvio-padrão, variância, coeficiente de variação, curtose e assimetria. Posteriormente, realizou-se a análise da distribuição de frequência dos atributos. Dessa forma, para testar a hipótese de normalidade, ou de lognormalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro & Wilk (1965) a 1 %.

A correção dos *outliers* foi realizada, atributo por atributo, exclusivamente da análise descritiva fornecida pelo SAS; essa correção foi procedida pelo cálculo da média aritmética dos valores dos pontos circunvizinhos na malha de estudo, em substituição ao valor de tal *outlier*.

A análise de correlação linear simples e entre todos os atributos estudados (solo e planta) permitiu selecionar aqueles com maior valor de “r” (correlação linear), objetivando a realização do semivariograma cruzado e a consequente cokrigagem. Também, conjuntamente para todas as camadas estudadas do solo, foi efetuada a regressão linear múltipla entre as variáveis dependentes da planta e as independentes

do solo, visando selecionar aquelas que, nos devidos casos, proporcionariam as melhores relações entre causa e efeito, avaliadas pelo aumento do coeficiente de determinação. Para isso, foram utilizados o Excel (Carvalho et al., 2002) e o pacote computacional SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997).

Quanto à análise geoestatística, para cada atributo, foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com base nos pressupostos de estacionariedade da hipótese intrínseca, com o pacote computacional *Gamma Design Sofyware* (GS⁺, 2004). Foram ajustados semivariogramas simples a todos os atributos estudados, da planta e do solo. Posteriormente, ajustaram-se semivariogramas cruzados entre os atributos: (a) planta *versus* planta e (b) planta *versus* solo. O objetivo foi definir os pares de melhor representatividade, isto é, qual atributo, tido como variável secundária, apresentou melhor correlação espacial explicativa do atributo tido como variável primária.

Os ajustes dos semivariogramas (simples e cruzados), em função de seus modelos, foram efetuados pela seleção inicial de: menor soma dos quadrados dos desvios (SQR); maior coeficiente de determinação espacial (r^2); e maior avaliador da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada por meio da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor rede de krigagem e, ou, cokrigagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Pimentel Gomes & Garcia (2002), a variabilidade de um atributo pode ser classificada segundo a magnitude de seu coeficiente de variação (CV). Suas classes foram determinadas como baixa ($CV \leq 10\%$), média ($10\% < CV \leq 20\%$), alta ($20\% < CV \leq 30\%$) e muito alta ($CV > 30\%$). A densidade do solo (DS) apresentou-se com baixa variabilidade (Quadro 2). Esses dados assemelham-se aos de Schaffrath et al. (2008) e Faraco et al. (2008), que também constataram baixa variabilidade para o mesmo atributo. Amaro Filho et al. (2007), Rosa Filho (2008) e Andreotti & Carvalho (2007), assim como Lima (2007), também encontraram baixa variabilidade para tal atributo. Portanto, verifica-se que esse atributo, independentemente da condição de cultivo em Latossolos, normalmente é de baixa variabilidade.

Para porosidade total (PT) houve baixa variabilidade (Quadro 2), semelhante ao constatado por Schaffrath et al. (2008) e Lima (2007). Em contrapartida, os atributos resistência à penetração (RP), umidade gravimétrica (UG) e volumétrica (UV) apresentaram coeficiente de variação entre baixo e muito alto (Quadro 2), sendo a RP o que apresentou maior variabilidade em profundidade. Já a

assim sua população e, conseqüentemente, reduzindo a digestibilidade e a ingestão de matéria seca; assim, um teor mais elevado de PB é necessário para o atendimento das exigências proteicas do organismo animal.

Os valores médios da PT foram muito semelhantes em todas as profundidades (Quadro 2). Para determinação da resistência mecânica à penetração, Bengough et al. (2001) relataram que a condição ideal de umidade do solo deve estar variando entre a capacidade de campo e um terço a menos de água, isto é, quando o solo ideal, conceituado por Kiehl (1979), apresentar umidade volumétrica na microporosidade oscilando entre 0,330 e 0,220 m³ m⁻³. Portanto, uma vez que a capacidade de campo do solo em questão, determinada por Martins (2002), foi de 0,351 m³ m⁻³, deve-se salientar que os dados da presente pesquisa foram coletados em ótimas condições de umidade volumétrica do solo (Quadro 2). Por outro lado, quando utilizada a classificação de Arshad et al. (1996), os altos valores da resistência mecânica à penetração (2,125, 4,557 e 6,075 MPa, respectivamente para RP1, RP2 e RP3) colaboraram para inferir que o solo estudado encontrava-se compactado, principalmente abaixo de 0,10 m.

As correlações entre a MS e os atributos do solo (Quadro 3) mostraram significâncias entre os pares MS x DS3 (r = 0,204*), MS x PT3 (r = -0,205*), MS x RP2 (r = -0,242**), MS x RP3 (r = -0,301**) e MS x UV3 (r = 0,193*). A relação inversa dos pares MS x RP2 e MS x RP3 evidenciou que com o aumento da RP houve diminuição da MS, proporcionada pelo aumento da compactação do solo na camada de 0,10–0,30 m de profundidade e, portanto, provavelmente pelas condições adversas ao crescimento radicular, uma vez que as raízes da braquiária apresentam maiores concentrações nas camadas mais profundas, se não forem superpastejadas. Assim, a relação

inversa da MS x PT3 (r = -0,205*) e a direta entre MS x DS3 (r = 0,204*), provavelmente, podem ser atribuídas ao maior contato solo/raiz, com maior eficiência de absorção de água e nutrientes, incrementando a MS.

Chaieb et al. (1996), trabalhando com o capim *Cenchrus ciliaris*, demonstraram, no caso de dois a três cortes (simulação de pastejo leve), que o seu sistema radicular permaneceu superficial, com cerca de 58 a 67 % das raízes localizadas nos primeiros 15 cm da camada superficial de solo. No entanto, para as gramíneas *Digitaria commutata* e *Stipa lagascae* houve aprofundamento das raízes, localizando-se 68 a 86 % delas a 30 cm de profundidade. Entretanto, quando somente um corte foi realizado, todas as três espécies se comportaram da mesma forma em relação ao tratamento controle (ausência de corte ou crescimento livre), ou seja, 85 % do sistema radicular posicionou-se nos primeiros 50 cm da camada de solo e os 15 % restantes, entre 50 e 75 cm. No caso de plantas forrageiras tropicais, padrão semelhante de resposta foi relatado por Kanno et al. (1999), que, ao compararem cinco gramíneas (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, *B. brizantha* cv. Marandu, *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *P. maximum* cv. Tobiatã e *Andropogon gayanus* cv. Baeti), concluíram que *Brachiaria brizantha* é a melhor opção a ser introduzida na rotação cultura-pastagem para melhorar a qualidade do solo no que se refere à quantidade e distribuição da biomassa radicular.

Analisando a correlação da PB com os atributos do solo (Quadro 3), pode-se constatar significância entre os pares PB x UG1 (r = 0,250**) e PB x UG2 (r = 0,207*). As correlações diretas entre os pares PB x UG1 e PB x UG2 permitiram inferir que, com maior teor de água no solo (UG), pode ter havido

Quadro 3. Matriz de correlação linear simples entre atributos de *Brachiaria brizantha* e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico de Selvíria (MS)

Atributo ⁽¹⁾	MS	PB	DS1	DS2	DS3	PT1	PT2	PT3	RP1	RP2	RP3	UG1	UG2	UG3	UV1	UV2
MS																
PB	-0.154 ^{ns}															
DS1	-0.067 ^{ns}	0.016 ^{ns}														
DS2	-0.131 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.218*													
DS3	0.204*	-0.046 ^{ns}	0.177*	0.256**												
PTd1	0.054 ^{ns}	-0.026 ^{ns}	-0.863**	-0.197*	-0.093 ^{ns}											
PTd2	0.122 ^{ns}	-0.080 ^{ns}	-0.095 ^{ns}	-0.610**	-0.051 ^{ns}	0.268**										
PTd3	-0.205*	0.167 ^{ns}	-0.060 ^{ns}	-0.154 ^{ns}	-0.486**	0.159 ^{ns}	0.241**									
RP1	-0.105 ^{ns}	-0.025 ^{ns}	-0.131 ^{ns}	-0.001 ^{ns}	-0.088 ^{ns}	0.158 ^{ns}	0.104 ^{ns}	0.055 ^{ns}								
RP2	-0.242 ^{ns}	-0.060 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.119 ^{ns}	-0.175 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.163 ^{ns}	0.294**							
RP3	-0.301**	-0.069 ^{ns}	-0.072 ^{ns}	-0.008 ^{ns}	-0.307**	0.068 ^{ns}	0.141 ^{ns}	0.295**	0.257**	0.622**						
UG1	0.000 ^{ns}	0.250**	-0.021 ^{ns}	-0.162 ^{ns}	0.023 ^{ns}	0.039 ^{ns}	0.194*	0.137 ^{ns}	-0.430**	-0.244**	-0.213*					
UG2	0.160 ^{ns}	0.207*	-0.075 ^{ns}	-0.224*	0.045 ^{ns}	0.082 ^{ns}	0.214*	0.081 ^{ns}	-0.252**	-0.504**	-0.380**	0.626**				
UG3	0.141 ^{ns}	0.171 ^{ns}	-0.053 ^{ns}	-0.123 ^{ns}	0.210*	0.060 ^{ns}	0.089 ^{ns}	-0.020 ^{ns}	-0.306**	-0.494**	-0.523**	0.628**	0.624**			
UV1	-0.064 ^{ns}	0.139 ^{ns}	0.504**	0.099 ^{ns}	0.201*	-0.422**	-0.024 ^{ns}	0.050 ^{ns}	-0.356**	-0.132 ^{ns}	-0.243**	0.610**	0.323**	0.491**		
UV2	0.113 ^{ns}	0.143 ^{ns}	0.089 ^{ns}	0.371**	0.268**	-0.082 ^{ns}	-0.141 ^{ns}	-0.049 ^{ns}	-0.314**	-0.438**	-0.389**	0.560**	0.684**	0.601**	0.412**	
UV3	0.193*	0.150 ^{ns}	0.088 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.509**	-0.040 ^{ns}	0.081 ^{ns}	-0.235**	-0.301**	-0.490**	-0.551**	0.503**	0.561**	0.882**	0.393**	0.620**

⁽¹⁾ MS, PB, DS, PT, RP, UG e UV de 1 a 3, são respectivamente a matéria seca, proteína bruta, densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração, umidade gravimétrica e umidade volumétrica nas profundidades 1(0–10 cm), 2(10–20 cm) e 3(20–30 cm). ⁽²⁾ ** e *: significativo a 1 e 5 %.

aumento na absorção de N, uma vez que há relação direta entre a PB e o teor de N na planta.

No quadro 4 encontram-se os parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para a produtividade de matéria seca de *Brachiaria brizantha*, juntamente com o teor de proteína bruta e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS). Assim, ficou atestado que, com exceção de RP1, RP2, UG1, UG2, UG3 e UV3, que apresentaram efeito pepita puro, todos os demais atributos mostraram dependência espacial.

Para UV1, o valor do r² determinado foi de 0,968, que indicou ser esse atributo o de melhor ajuste semivariográfico, corroborando os resultados de Rosa Filho (2008), cujo valor foi de 0,816. Em relação ao ADE, o alto valor constatado (71,8 %) diferiu dos de Rosa Filho (2008), no qual foi considerado moderado (66,15 %). O modelo gaussiano ajustado para a UV1 diferiu do modelo exponencial encontrado por Rosa Filho (2008); também o alcance da UV1 do presente trabalho (52,7 m) foi maior do que os 13,0 m de Rosa Filho (2008), numa malha de 40 x 88 m, semelhante aos 40 x 100 m da malha do presente trabalho.

Já em relação ao atributo RP3 (Figura 1a), foi notada uma inversa e elevada semelhança espacial com a MS (Figura 1b). Assim, nos sítios onde a RP3 foi menor, entre 4,060 e 5,748 MPa (parte superior do mapa abrangendo desde a região noroeste até a região nordeste), a MS apresentou os maiores valores (12.793 a 15.938 kg ha⁻¹). Já naqueles onde a RP3 foi maior, entre 6,310 e 7,998 MPa (parte inferior do mapa da região sudoeste até a região sudeste), a MS variou de 8.600 a 11.745 kg ha⁻¹. Esse comportamento atestou

que o aumento da resistência mecânica à penetração, mesmo numa camada de 0,20–0,30 m, pode ter prejudicado o crescimento radicular, inclusive de *Brachiaria brizantha*, espécie esta com sistema radicular considerado agressivo para crescimento em profundidade; portanto, com a provável maior demanda de energia para o crescimento radicular na camada mais compactada, houve redução na produtividade de MS.

Na análise das cokrigagens (Quadro 4), a mais interessante do ponto de vista agrônomo foi o ajuste MS=f(PT3), em que ficou evidenciado que 84,2 % da variabilidade espacial da produtividade de matéria seca de *Brachiaria brizantha* pode ser explicada pela variabilidade espacial da PT3. Também nesse caso pode-se, a partir dos dados desse atributo do solo, localizar as zonas de manejo para a pastagem que foi estabelecida na área experimental pesquisada. Assim, pode-se constatar que onde ocorreram os menores valores de PT3 foram mapeados os maiores valores de MS (Figura 1d). Em contrapartida, nos maiores valores da PT3, constataram-se os menores valores da MS. Assim, podem ser recomendadas práticas conservacionistas para as zonas de manejo, nas quais a PT3 apresentou seus maiores valores, visando elevar a respectiva produtividade de MS do local. Portanto, do ponto de vista espacial, a porosidade total do solo, avaliada na camada de 0,20–0,30 m (PT3), apresentou-se como um satisfatório indicador da qualidade física do solo estudado, quando destinado à pastagem de *B. brizantha*. Esse comportamento inverso da redução da PT na camada de 0,20–0,30 m, com aumento da produtividade de MS, provavelmente pode ser atribuído, como na correlação linear, a um provável maior contato solo/raiz e, portanto, com maior

Quadro 4. Parâmetros dos semivariogramas simples ajustados para alguns atributos de *Brachiaria brizantha* e de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS)

Atributo ⁽¹⁾	Modelo ⁽²⁾	Efeito pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (A ₀)	r ²	SQR ⁽³⁾	Avaliador da dependência espacial (ADE) ⁽⁴⁾	Classe
m								
γ(h) simples dos atributos da planta								
MS (kg ha ⁻¹)	esf	8,240.10 ⁶	1,649.10 ⁷	49,4	0,865	7,930.10 ¹²	50,0	moderada
PB (%)	esf	2,005	4,011	41,1	0,965	9,170.10 ⁻²	50,0	moderada
γ(h) simples dos atributos do solo								
DS1 (kg dm ⁻³)	esf	5,140.10 ⁻³	1,058.10 ⁻²	63,9	0,943	1,583.10 ⁻⁶	51,4	moderada
DS2 (kg dm ⁻³)	esf	1,179.10 ⁻³	2,768.10 ⁻³	14,3	0,391	2,221.10 ⁻⁶	57,4	moderada
DS3 (kg dm ⁻³)	exp	1,878.10 ⁻³	3,766.10 ⁻³	73,5	0,830	3,361.10 ⁻⁷	50,1	moderada
PT1 (m ³ m ⁻³)	exp	8,500.10 ⁻⁵	8,750.10 ⁻⁴	14,1	0,898	3,011.10 ⁻⁸	91,1	alta
PT2 (m ³ m ⁻³)	exp	5,500.10 ⁻⁵	4,320.10 ⁻⁴	17,4	0,606	1,245.10 ⁻⁸	87,3	alta
PT3 (m ³ m ⁻³)	esf	0,000	2,880.10 ⁻⁴	10,9	0,594	2,524.10 ⁻⁸	100,0	alta
RP3 (MPa)	esf	2,164	4,773	39,1	0,855	9,970.10 ⁻¹	54,7	moderada
UV1 (m ³ m ⁻³)	gau	3,610.10 ⁻⁴	1,282.10 ⁻³	52,7	0,968	3,250.10 ⁻⁸	71,8	alta
UV2 (m ³ m ⁻³)	esf	1,850.10 ⁻⁴	3,710.10 ⁻⁴	47,6	0,946	1,983.10 ⁻⁹	50,1	moderada
MS=f(PTd3) (kg ha ⁻¹)	gau	-1,00.10 ⁻²	-1,62.10	19,9	0,842	4,36.10	99,9	alta

⁽¹⁾ MS: matéria seca, PB: proteína bruta, DS: densidade do solo, PT: porosidade total determinada, RP: resistência à penetração e UV: umidade volumétrica. ⁽²⁾ esf: esférico, exp: exponencial, gau: gaussiano. ⁽³⁾ SQR: soma dos quadrados dos resíduos. ⁽⁴⁾ ADE: avaliador da dependência espacial.

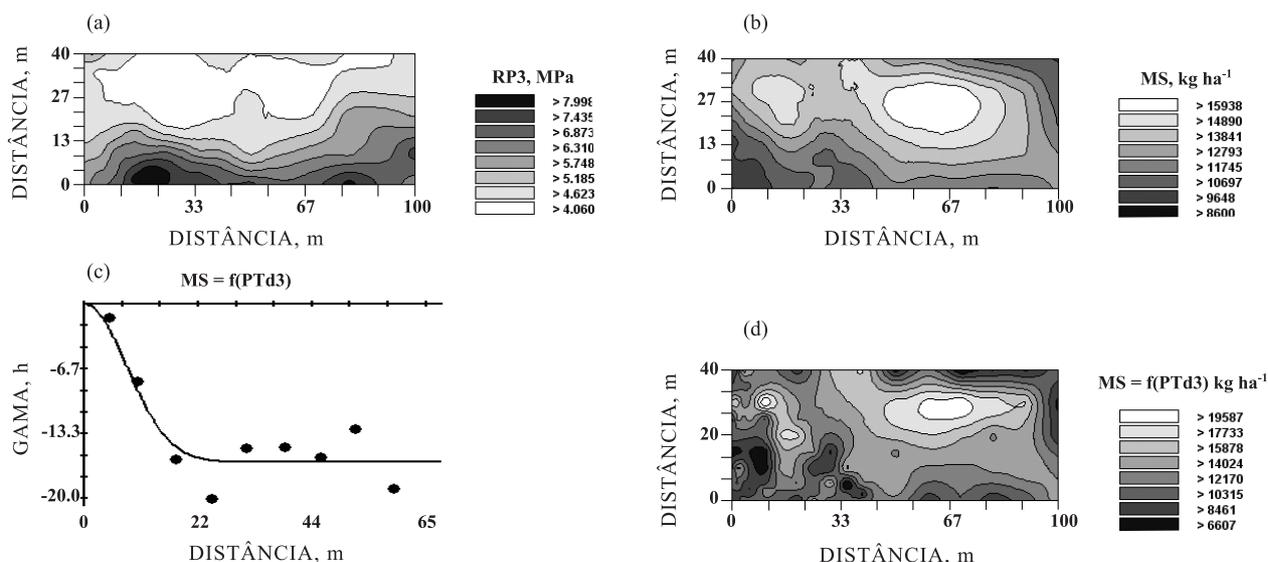


Figura 1. Mapas de krigagem do atributo RP3 do solo (a) e MS de *Brachiaria brizantha* (b) e semivariograma cruzado (c) e mapas de cokrigagem da produtividade de matéria seca (MS) de *Brachiaria brizantha* em função da porosidade total (PT3) (d) num Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS).

eficiência de absorção de água e nutrientes, incrementando a MS; daí a similaridade com o comportamento direto da redução de produtividade da forragem em função do aumento da resistência mecânica à penetração nessa mesma camada de solo (Figura 1a).

CONCLUSÕES

1. A produtividade e o teor de proteína bruta de *Brachiaria brizantha* não variam aleatoriamente e seguem padrões espaciais bem definidos, com semivariogramas do tipo esférico, com alcances da dependência espacial, aproximadamente, entre 40 e 50 m.

2. O aumento da resistência mecânica à penetração e da umidade do solo na camada superficial, no cultivo de *Brachiaria brizantha*, promove a redução do teor de proteína bruta e da matéria seca.

3. A porosidade total, na camada de 0,20–0,30 m, é um importante indicador da qualidade física do solo e apresenta confiabilidade para estimativa da produtividade de matéria seca de *Brachiaria brizantha*.

LITERATURA CITADA

AMADO, T.J. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 7., Foz do Iguaçu, 2000. Anais. Foz do Iguaçu, FBPD, 2000. p.105-111.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R.F.D.; ASSIS JÚNIOR, R.N. & MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. R. Bras. Ci. Solo, 31:415-422, 2007.

ANDREOTTI, M. & CARVALHO, M.P. Correlação linear e espacial entre a produtividade da soja com atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico do Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Gramado, 31., 2007. Anais. Gramado, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V.F.; FURLANI JUNIOR, E. & BUZZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um Latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. Acta Sci. Agron., 30:109-115, 2008.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: JONES, A.J. & DORAN, J.W., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

BASSO, F.C.; PARIZ, C.M.; AZENHA, M.V.; VERCESE, F.; ANDREOTTI, M. & CARVALHO, M.P. Produtividade de matéria seca do sorgo forrageiro correlacionada com a macroporosidade, teor de fósforo e matéria orgânica de um solo do Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., Gramado, 2007. Anais. Gramado, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.

BENGOUGH, A.G.; CAMPBELL, D.J. & O'SULLIVAN, M.F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: DEKKER, M., ed. Soil and environmental analysis: Physical methods. New York, Marcelo Dekker, 2001. p.377-403.

- BORGHI, E.; COSTA, N.V.; CRUSCIOL, C.A.C. & MATEUS, G.P. Influência da distribuição espacial do milho e da *Brachiaria brizantha* consorciados sobre a população de plantas daninhas em sistema plantio direto na palha. *Planta Daninha*, 26:559-568, 2008.
- BUTOLO, J.E. Qualidade de ingredientes na alimentação animal. Campinas, Edição do Autor, 2002. 430p.
- CARVALHO, M.P.; SORATTO, R.P. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob preparo convencional em Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Sci.*, 24:1353-1361, 2002.
- CHAIEB, M.; BELGACEM, H. & MAKKI, B. Impact of clipping on root systems of 3 grasses species in Tunisia. *J. Range Manage.*, 49:336-339, 1996.
- DEMATTÊ, J.L.I. Levantamento detalhado dos solos de "Campus experimental de Ilha Solteira". Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. 44p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Brasília, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GS+: Geostatistics for environmental sciences. 7.ed. Michigan, Gamma Desing Software, 2004. 159p.
- FARACO, M.A.; URIBE-OPAZO, M.A.; DA SILVA, E.A.A.; JOHANN, J.A. & BORSSOI, J.A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:463-476, 2008.
- KANNO, T.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; BONNO, J.A.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; ROCHA, M.C. & BERETTA, L.G.R. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian Savannas. *Grassland Sci.*, 45:9-14, 1999.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia: Relações solo-planta. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1979. 264p.
- LIMA, R.C. Produtividade da forragem do milho em função de atributos físicos do solo sob plantio direto na fazenda Bonança de Pereira Barreto (SP). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho, 2007. 73p. (Tese de Mestrado)
- MARTINS, B.C. Análise da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho distrófico em função do grau de umidade. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho, 2002. 50p. (Monografia de Conclusão de Curso)
- MARTINS NETTO, D.A. & DURÃES, F.O.M. Milheto: Tecnologias de produção e agronegócio. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 215p.
- MUZILLI, O. A adubação verde como alternativa para a melhoria da fertilidade do solo e racionalidade do uso de fertilizantes. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1986. 17p.
- PIMENTEL-GOMES, F.P. & GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais. Piracicaba, FEALQ, 2002. 309p.
- ROSA FILHO, G. Produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", 2008. 89p. (Tese de Mestrado)
- SCHAFFRATH, V.R.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. & GONÇALVES, A.C.A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1369-1377, 2008.
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS: System for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary, SAS, 1997. 441p.
- SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: Complete samples. *Biometrika*, 52:591-611, 1965.
- SILVA, D.J. & QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. *Ci. Rural*, 34:399-406, 2004.
- SOUZA, L.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *R. Bras. Ci. Solo*, 25:699-707, 2001.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:533-542, 2004.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:229-235, 1991.
- van SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. New York, Cornell University Press, 1994. 476p.