

VARIAÇÃO ESPACIAL DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E PRODUÇÃO DE GRAMÍNEA EM PASTAGENS DE CAPIM-MARANDU

SPATIAL VARIATION OF THE CONTENT OF SOIL ORGANIC MATTER AND PRODUCTION OF PASTURE GRASS MARANDU

Sabino Pereira da SILVA NETO¹; Antonio Clementino dos SANTOS²;
Raimundo Laerton de Lima LEITE³; Valdinéia Patrícia DIM⁴;
Durval Nolasco das NEVES NETO⁴; José Expedito Cavalcante da SILVA²

1. Professor, Mestre, Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Gurupi, TO, Brasil. sabino.pereira@ifto.edu.br 2. Professor, Doutor, Fundação Universidade Federal do Tocantins – UFT, Araguaína, TO, Brasil. 3. Professor, Mestre, Instituto Federal do Tocantins – IFTO, Araguaína, TO, Brasil. 4. Doutorando – UFT, Araguaína, TO, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste estudo foi quantificar e descrever a variabilidade espacial, visando o mapeamento das características agrônômicas da gramínea e do teor de matéria orgânica do solo (MOS) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivadas em Neossolo Quartzarênico Órtico típico com diferentes níveis de degradação. As coletas das plantas e do solo foram realizadas em malha de amostragem regular com distâncias de 5 x 5 m em área de 900 m². A produção de massa seca de folhas verdes (MSFV), colmo (MSC), material morto (MSMM), massa seca total (MST) e o teor de MOS das pastagens foram submetidos às análises de estatística descritiva, à comparação de média pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, ao estudo geoestatístico e interpolação por krigagem ordinária. A variabilidade espacial da produção de MSFV, MSC, MSMM e MST e a MOS foram observadas dentro e entre as áreas de pastagens de capim-Marandu com nível baixo, médio e alto de degradação. A grade de 5 x 5 m é adequada para quantificar e descrever a variabilidade espacial bem como mapear as características agrônômicas de pastagens de capim-Marandu com nível de degradação baixo e alto. O teor de MOS em todos os níveis de degradação da pastagem apresentou variabilidade espacial definida permitindo assim seu mapeamento. Já em área com nível médio de degradação a grade de 5 x 5 m é pouco eficiente para para quantificar, descrever e mapear a variabilidade espacial das variáveis MSC e MST devido aos baixos coeficientes de determinação e altas somas do quadrado dos resíduos além da ausência de dependência espacial para a MSMM.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia legal. Degradação de pastagem. Geoestatística. Carbono.

INTRODUÇÃO

A principal causa do desmatamento na região amazônica é a expansão da pecuária bovina que tem como consequência a remoção e conversão da floresta em áreas de pastagem (ARAÚJO et al., 2011). Desse modo, a principal forma de uso da terra na Amazônia brasileira é a pastagem, uma vez que aproximadamente 75% das áreas desmatadas foram ou estão sendo utilizadas como pastagens (CERRI et al., 2008). De acordo com Dias-Filho e Andrade (2006) estima-se que metade dessas áreas estejam degradadas e que a gramínea mais cultivada tem sido a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

Nesse sentido, a introdução da pastagem conduz com o passar do tempo, ao aumento na heterogeneidade dos atributos físicos, químicos e biológicos por meio da ruptura do estado de equilíbrio original provocada pelo desmatamento, preparo do solo e aplicação localizada de fertilizantes (SANTOS; SALCEDO, CANDEIAS, 2002; CAVALCANTE et al., 2007). No entanto, além desses agentes no ecossistema de pastagens a presença dos animais traz implicações que

favorecem a heterogeneidade no ambiente por meio da distribuição de dejetos, pastejo e pisoteio que normalmente não são constantes por toda a área (CARVALHO et al., 2009).

Segundo, Salton e Carvalho (2007), a presença dos animais nas pastagens leva à formação de manchas de vegetação e intensificação da variabilidade espacial de atributos do solo, em função da existência de locais com maior fertilidade e maior atividade biológica do solo. Isso devido à deposição de dejetos dos animais, acúmulo de material senescente, pastejo desuniforme pela seleção de plantas pelos animais e alterações dos atributos físicos do solo devido ao pisoteio dos animais.

Sabe-se, além disso, que nos ecossistemas nativos a matéria orgânica do solo (MOS) encontra-se em equilíbrio dinâmico onde as entradas e saídas se compensam (DIAS-FILHO, 2006). Entretanto, quando os ecossistemas nativos são utilizados para a criação de gado percebe-se que o equilíbrio dinâmico antes encontrado é quebrado, e normalmente ocorrem reduções na quantidade de MOS, visto que as entradas de MOS tornam-se

menores que as saídas (CERRI et al., 2008). No entanto, resultados constatam que os estoques de carbono, com a implantação de pastagens, podem decrescer nos primeiros anos da conversão, e aumentar nos anos seguintes até atingir concentrações iguais ou muito superiores aos encontrados antes da retirada da floresta (FEIGL et al., 1995; SALIMON et al., 2007).

Desse modo, a MOS bem como outros atributos do solo, determinam o impacto da atividade pecuária no meio ambiente variando com tempo e também no espaço, razão pelo qual o conhecimento da sua variabilidade espacial e temporal se torna relevante, sobretudo para o ajuste fino das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da criação de gado sobre a qualidade ambiental (CAMPARDELLA et al., 1994). Além disso, partindo da hipótese de continuidade espacial, é importante conhecer a variabilidade das características produtivas das pastagens para melhorar as práticas de manejo e gerenciamento desse recurso.

O objetivo deste estudo foi quantificar e descrever a variabilidade espacial da produção de biomassa da gramínea e do teor de MOS em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com diferentes níveis de degradação, visando assim o seu mapeamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está situada entre as latitudes 7° 6' 49" S e 7° 5' 36" S e longitudes 48° 11' 48" W e 48° 11' 35" W na fazenda da Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína. De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta clima tipo Aw (quente úmido) com estação seca de abril a outubro. As precipitações pluviométricas apresentam médias anuais de 1.800 mm e temperatura média de 28°C. O solo do local foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, de acordo com metodologia da Embrapa, (2006).

A área experimental foi composta de vinte piquetes utilizados em lotação contínua sobre pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu estabelecida no ano de 2006. Dentre esses piquetes foram selecionadas áreas, por meio de critério visual, com níveis de degradação baixo (bom vigor e boa qualidade), médio (baixo vigor, qualidade e baixa população) e alto (baixo vigor, qualidade e baixa população, associada com a presença de invasoras e/ou cupins), conforme a classificação de Spain e Gualdrón (1988) que considera a coberuta

vegetal do solo, a presença de plantas invasoras e de termiteiros como indicadores do processo de perda da capacidade produtiva das pastagens. Os três piquetes selecionados eram pastejados por seis novilhos zebuínos com peso médio de 300 kg que permaneciam nestas áreas por 35 dias.

Em cada piquete foi demarcada uma área de 900 m² (30 x 30 m) que continham 36 pontos de amostragem georreferenciados dispostos em malha de 5 x 5m. Em cada ponto georreferenciado realizou-se a coleta de solo na profundidade de 0-20 cm, com sonda de amostragem e da forragem com quadro de amostragem de 0,5 m² (0,5 x 1 m).

As amostras de solo após as coletas foram secas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm e então obtidas amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), para posteriores análises. Nessas amostras de solo, foi determinado o teor de MOS conforme Embrapa (2009).

A forragem foi colhida rente ao solo e colocada em sacos identificados, levados para pesagem e separação manual dos componentes morfológicos (folhas verdes, colmo + bainha foliar e material morto) e botânico (plantas daninhas). Em seguida, esses componentes foram acondicionados em sacos de papel identificados, e levados à estufa para secagem a 55°C por 72 horas. Após secagem as amostras foram pesadas e seus pesos (kg 0,5m²) foram então convertidos para produções de massa seca de folhas verdes (MSFV), massa seca de colmo (MSC), massa seca de material morto (MSMM) e massa seca total (MST) expressas em Mg ha⁻¹.

Inicialmente o teor de MO do solo e a produção de biomassa da gramínea foram, submetidos à análise exploratória dos dados para verificar se esses ocorrem de maneira aleatória ou agregadas calculando-se a média, mediana, mínimo, máximo e os coeficientes de assimetria, curtose e de variação bem com o tipo de distribuição. Utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância para testar a hipótese de normalidade. Foram adotados os limites do coeficiente de variação (CV) classificados em baixa (CV<12%), média (12 < CV < 60%) e alta (CV > 60%) propostos por Warrick e Nielsen (1980), para classificar a variabilidade dos teores de MOS e produção de biomassa da gramínea.

Para avaliar estatisticamente as áreas com níveis baixo, médio e alto de degradação da pastagem de capim-Marandu, foi realizada a análise de variância de um fator, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância utilizando-se o programa Assistat versão 7.5 beta. A comparação foi realizada entre as

áreas por meio das médias encontradas para as variáveis MOS, MSFV, MSC, MSMM e MST.

O padrão de dependência espacial foi caracterizado por meio de análise geoestatística (VIEIRA, 2000) onde foi calculada a semivariância por meio da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

sendo $N(h)$ o número de pares de valores experimentais medidos em $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados pelo vetor h . No presente estudo, os valores de Z foram os teores de MOS e as variáveis MSFV, MSC, MSMM e MST, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ foram definidos de acordo com a localização geográfica das amostras realizadas no campo.

Inicialmente foi realizado o ajuste visual do modelo selecionado à nuvem de pontos do semivariograma experimental, verificando assim se ocorria ou não continuidade espacial dos teores de MOS e produção de biomassa da gramínea. Nesse estudo foram testados os modelos de semivariogramas: 1) esférico, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/a) - 0,5 (h/a)^3]$ para $(0 < h < a)$ e $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$ para $h \geq a$; 2) exponencial, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h/a)]$ para $(0 < h < d)$; e 3) gaussiano, $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$ para $(0 < h < d)$ em que d é a distância máxima na qual o semivariograma é definido. O ajuste dos semivariogramas possibilitou definir os valores do efeito pepita (C_0), do alcance (A) e do patamar ($C + C_0$) (VIEIRA, 2000). O efeito pepita é o valor da semivariância para a distância zero e representa o componente da variação ao acaso, o alcance é a distância máxima até onde ocorre dependência espacial e o patamar é o valor da semivariância onde a curva se estabiliza sobre um valor constante. Os valores da semivariância experimental foram determinados pelo programa GS^+ (Robertson, 2008).

Posteriormente, a escolha do modelo ajustado dos semivariogramas foi realizada com base na menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), no maior coeficiente de determinação (R^2) e maior grau de dependência espacial (GDE) onde a proporção dada pela equação:

$$GDE = \left[\frac{C}{C + C_0} \right] 100 \quad (2)$$

permiti classificar o GDE em: dependência espacial fraca em $GDE \leq 25\%$, dependência espacial moderada quando $25\% < GDE \leq 75\%$ e dependência espacial forte em $GDE > 75\%$ (Robertson, 2008).

Finalmente, a interpolação dos valores foi realizada por meio de krigagem ordinária, de modo a definir o padrão espacial do teor de MOS e da produtividade da gramínea, o que permitiu a elaboração dos mapas de contorno, utilizando-se o software Surfer 8.0 (Golden Software, 2002) com o auxílio da equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

em que $Z^*(x_0)$ é o teor de MO do solo e as variáveis da produtividade da gramínea, λ_i é o peso da i -ésima localidade vizinha; $Z(x_i)$ é o valor da variável para a i -ésima localidade; e N é o número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto (VIEIRA, 2000). A criação dos mapas de contorno é importante para compreender a variabilidade espacial do teor de MOS e da produção MSFV, MSC, MSMM e MST. Permitindo assim, aplicar práticas de manejo da pastagem que possam melhorar o teor e MOS e a produção da gramínea.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva e comparação de médias para os teores de MOS, dos componentes morfológicos da gramínea bem como da produção de massa seca total (MST) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com diferentes níveis de degradação são apresentados na Tabela 1. A comparação de médias indica que a pastagem de capim-Marandu reduziu a produção de MSFV com o aumento do nível de degradação. Já nos níveis baixo e médio de degradação da pastagem a MST foi maior que o nível alto. No entanto ao observar o teor de MOS verifica-se que o nível baixo e alto de degradação da pastagem manteve maior concentração de MOS em relação ao nível. De acordo com Dias-Filho (2006) a diminuição da produção da gramínea na região Amazônica necessariamente não deteriora as propriedades físico-químicas do solo podendo até em certos casos melhorar devido à regeneração da cobertura arbóreo-arbustiva.

A aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov ao conjunto de dados mostra que a produção MSFV e de MSC no nível médio e a MOS no nível baixo de degradação da pastagem não apresentam distribuição normal (Tabela 1). No entanto, o estudo geoestatístico de um conjunto dados não exige que esses tenham distribuição normal (CORÁ; BERALDO, 2006). Desse modo, mais importante que a normalidade na distribuição dos dados, é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos

dados são constantes na área de estudo (SILA et al., 2009). Esse evento não ocorreu neste estudo, uma vez que os semivariogramas apresentam patamares bem definidos (Figura 1 e 2) e a distribuição não apresentou caudas muito alongadas, o que poderia

comprometer as estimativas da krigagem ordinária, as quais são baseadas nos valores médios (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Tabela 1. Estatística descritiva e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade da massa seca de folhas verdes (MSFV), colmo (MSC), material morto (MSMM), da massa seca total (MST) e da matéria orgânica do solo (MOS) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diferentes níveis de degradação.

Nível de degradação	Média Mediana Mínimo Máximo			Coeficiente			p-valor ¹	
	-----Mg ha ⁻¹ -----			Variação	Assimetria	Curtose		
MSFV								
Baixo	3,09 a	3,02	0,00	5,63	43,18	-0,19	0,13	0,27*
Médio	2,16 b	1,86	1,20	4,48	38,73	0,65	1,32	0,002**
Alto	0,92 c	0,91	0,00	2,72	79,80	0,56	-0,43	0,44*
MSC								
Baixo	2,92 a	2,70	0,00	6,60	51,09	0,28	-0,10	0,36*
Médio	2,67 a	2,35	1,28	4,48	42,94	1,40	1,54	0,01**
Alto	1,02 b	0,99	0,00	3,26	87,34	0,64	-0,37	0,16*
MSMM								
Baixo	2,17 b	2,21	0,00	4,78	47,05	-0,01	0,24	0,88*
Médio	3,02 a	2,71	1,13	8,21	49,65	1,36	2,48	0,13*
Alto	1,06 c	1,09	0,00	3,11	85,27	0,51	-0,68	0,23*
MST								
Baixo	8,18 a	7,77	0,00	16,30	38,54	0,14	0,61	0,18*
Médio	7,87 a	7,26	3,83	15,88	37,11	0,91	0,24	0,06*
Alto	3,03 b	2,73	0,00	7,74	75,11	0,32	-0,95	0,51*
-----g kg ⁻¹ -----								
MOS								
Baixo	20,96 a	20,46	9,66	35,47	30,61	0,88	0,11	0,0002**
Médio	16,20 b	16,46	4,58	34,68	34,48	0,87	2,15	0,31*
Alto	19,66 a	19,09	11,96	32,38	21,69	0,57	0,82	0,57*

Médias seguidas de mesma letra na coluna para cada variável não diferem entre si (Tukey, 5%).⁽¹⁾: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, (*) : significativo a 5%, (**): não-significativo a 5%

Os coeficientes de assimetria e curtose demonstram que as variáveis estudadas têm distribuições simétricas. Entretanto, no nível médio de degradação da pastagem a produção de MSFV, MSC, MSMM e MST do capim-Marandu e no baixo o teor de MOS os valores de coeficiente de assimetria são positivos e altos. Apesar disto, os valores da média e mediana das variáveis estudadas estão bem próximos, indicando que o conjunto de dados não apresentam assimetria acentuada.

Os valores de coeficiente de variação (CV) indicam que as produções de biomassa do capim-Marandu no nível alto de degradação da pastagem apresentam elevada heterogeneidade tendo em vista à alta variabilidade (CV > 60%) dos dados de acordo com a classificação do CV proposta por Warrick e Nielsen (1980). Situação esperada, pois em certos momentos foram identificados locais que

praticamente não apresentavam plantas e outros com elevada densidade dessas, como pode ser observado ao analisar os valores máximo e mínimo da produção de biomassa da gramínea no nível alto de degradação da pastagem conforme apresentados na tabela 1. Nas demais variáveis e nos diferentes níveis de degradação da pastagem o CV teve média variabilidade.

Esses resultados do CV indicam que a utilização de valores médios não caracteriza adequadamente a produtividade de pastagens de capim-Marandu com nível alto de degradação da pastagem. Acarretando assim erros na distinção da área devido ao uso desses valores médios com alta variabilidade. Essas condições podem levar à sub ou superestimativas das características produtivas (SOUZA et al., 2004).

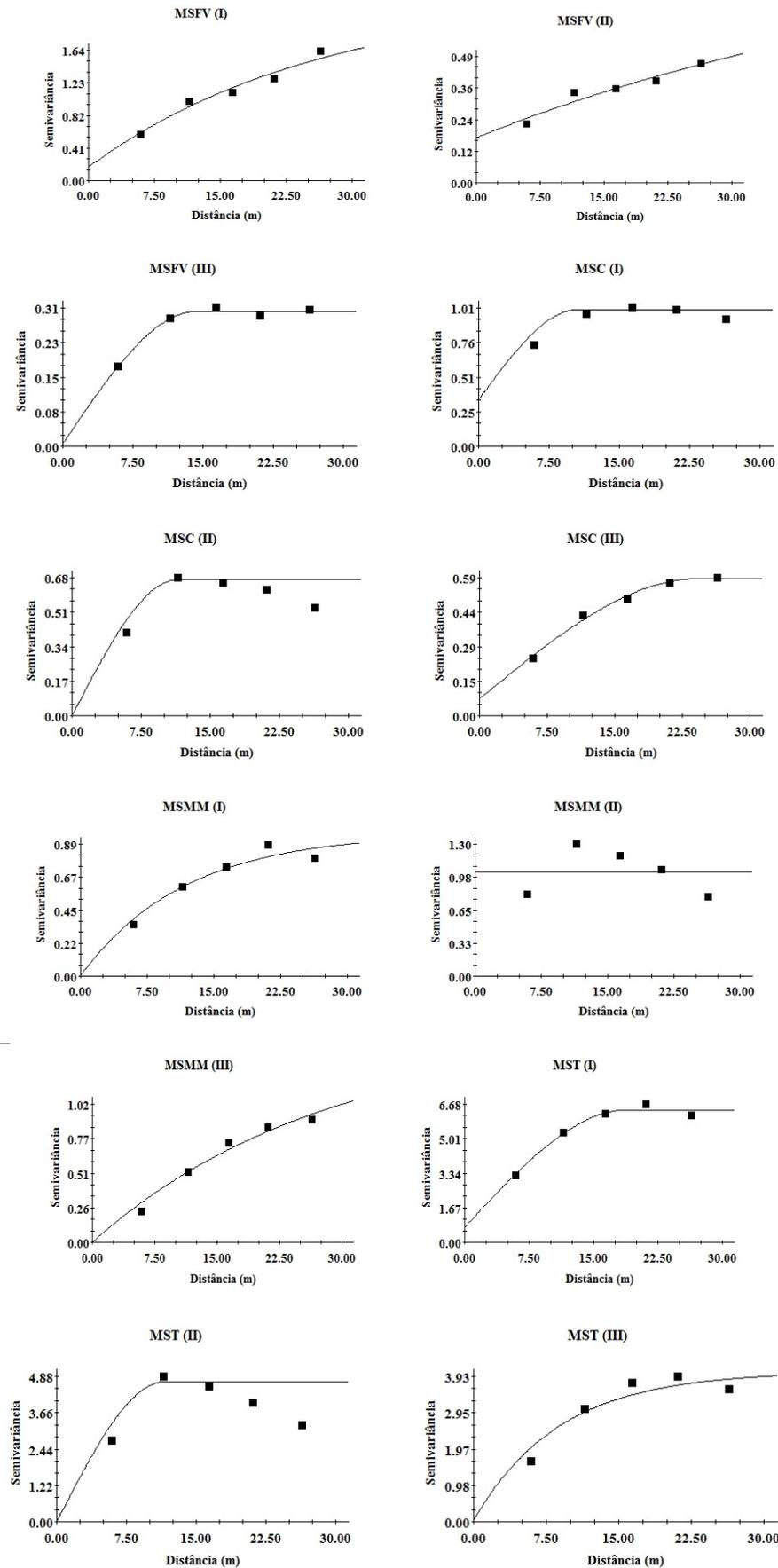


Figura 1. Semivariogramas isotrópicos experimentais e teóricos da massa seca de folhas verdes (MSFV), colmo (MSC), material morto (MSMM) e da massa seca total (MST) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com nível baixo (I), médio (II) e alto (III) de degradação.

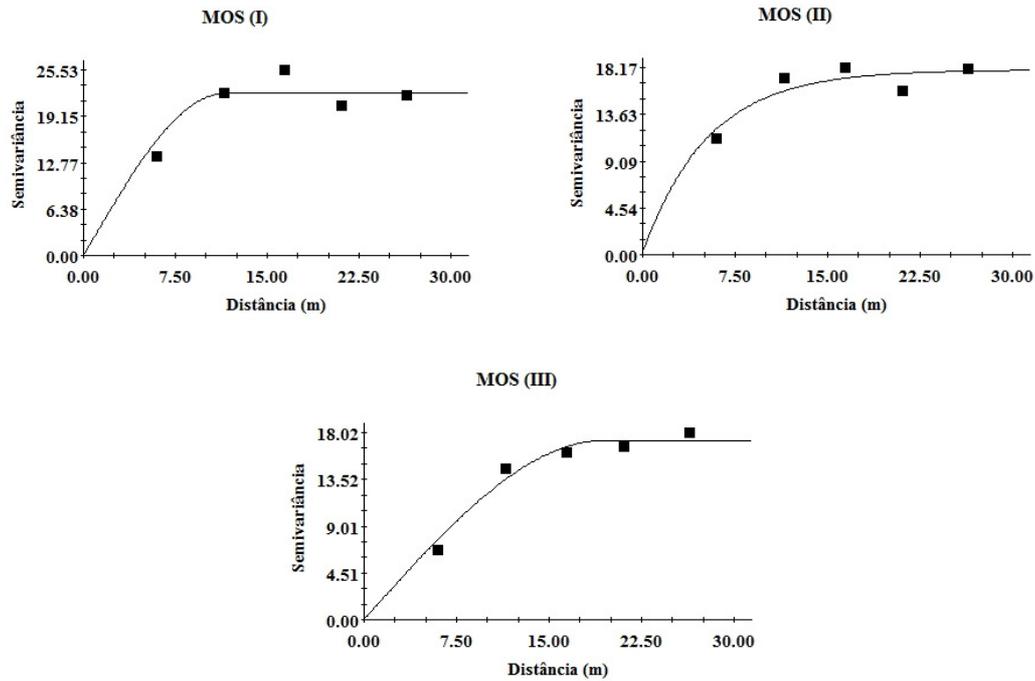


Figura 2. Semivariogramas isotrópicos experimentais e teóricos do teor de matéria orgânica do solo (MOS) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com nível baixo (I), médio (II) e alto (III) de degradação.

Analisando os semivariogramas observa-se que apenas a produção de MSMM no nível médio

de degradação da pastagem não apresenta dependência espacial (Figura 1, 2 e Tabela 2).

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos valores da massa seca de folhas verdes (MSFV), colmo (MSC), material morto (MSMM), da massa seca total (MST) e da matéria orgânica do solo (MOS) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em diferentes níveis de degradação.

Nível de degradação	Parâmetro							
	Modelo	C_0^1	C_0+C^2	A^3 (m)	GDE ⁴ (%)	Classe	R ^{2*}	SQR ⁵
MSFV								
Baixo	Exponencial	0,17	2,35	26,60	93	Forte	0,96	0,02
Médio	Exponencial	0,17	0,96	59,87	82	Forte	0,93	$2,10 \times 10^{-3}$
Alto	Esférico	0,00	0,30	14,37	98	Forte	0,98	$1,84 \times 10^{-4}$
MSC								
Baixo	Esférico	0,34	1,00	10,58	66	Moderada	0,92	0,01
Médio	Esférico	0,00	0,67	11,50	100	Forte	0,74	0,02
Alto	Esférico	0,07	0,58	24,30	88	Forte	0,99	$7,38 \times 10^{-4}$
MSMM								
Baixo	Exponencial	0,00	0,97	11,75	100	Forte	0,94	0,01
Médio	EPP [†]	-	-	-	-	-	-	-
Alto	Exponencial	0,00	1,57	28,47	100	Forte	0,97	$9,41 \times 10^{-3}$
MST								
Baixo	Esférico	0,71	6,41	18,93	88	Forte	0,98	0,15
Médio	Esférico	0,00	4,70	11,60	100	Forte	0,52	3,01
Alto	Exponencial	0,03	4,07	8,82	99	Forte	0,92	0,38
MOS								
Baixo	Esférico	0,00	22,30	11,50	100	Forte	0,83	17,6
Médio	Exponencial	0,24	17,96	5,32	98	Forte	0,81	6,44
Alto	Esférico	0,01	17,28	19,45	100	Forte	0,96	3,35

⁽¹⁾C₀: efeito pepita; ⁽²⁾C₀+C: patamar; ⁽³⁾A: alcance; ⁽⁴⁾GDE: grau de dependência espacial; ⁽⁵⁾SQR: Soma do quadrado dos resíduos; ^(*)R²: coeficiente de determinação; ^(†)EPP: efeito pepita puro.

As demais áreas e variáveis investigadas apresentaram estrutura espacial com dependência classificada como forte e moderada (Tabela 2). Nesse sentido, o grau de dependência espacial (GDE) apresentou em 13 das 14 situações analisadas, classe forte que variou de 82 a 100% nos três níveis de degradação da pastagem. Maiores GDE indicam que se tem melhor estrutura espacial e que maior precisão pode ser obtida no mapeamento das propriedades estudadas usando-se técnicas de geostatística como a krigagem ordinária (KRAVCHENKO et al., 2006b) ou seja os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais. Cambardella et al. (1994) e Castrignanò et al. (2000) sugerem que a forte dependência espacial das características do solo são atribuídas aos fatores intrínsecos tais como material de origem, clima, relevo, processos físicos, químicos e atividade biológica (componentes de formação do solo) e a dependência espacial moderada aos fatores extrínsecos como o manejo exercido pelas práticas agrícolas.

Os semivariogramas se ajustaram aos modelos esférico e exponencial, exceção foi a variável MSMM que não apresentou dependência espacial, ocorrendo assim efeito pepita puro (EPP). Os modelos esféricos e exponenciais são os modelos teóricos comuns aos atributos do solo e de plantas (SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2004; CORÁ et al., 2004; CORRÊA et al., 2009; CHIBA et al., 2010).

Os semivariogramas da MSFV nos níveis baixo e médio de degradação da pastagem de capim-Marandu se ajustaram ao modelo exponencial. O alcance nos níveis baixo e médio de degradação da pastagem apresentaram os maiores valores (26,60 e 59,87 m, respectivamente) e o menor (14,37 m) foi observado no nível alto de degradação da pastagem. Diante disso o processo de degradação da pastagem diminui a continuidade espacial da MSFV possivelmente devido a formação de manchas de plantas com diferentes portes em função da existência de locais com maior fertilidade do solo (SALTON; CARVALHO, 2007).

Na MSC os semivariogramas se ajustaram ao modelo esférico nos níveis baixo e médio de degradação da pastagem os quais tiveram alcances bem próximos (10,58 e 11,50 m, respectivamente). Já na área com alto nível de degradação da pastagem o semivariograma da MSC também se adequou ao modelo esférico mas teve alcance bem superior (20,05 m) as demais áreas investigadas.

Nos níveis baixo e alto de degradação da pastagem os semivariogramas da MSMM se ajustaram ao modelo exponencial. Os alcances

destes locais foram de 11,75 m para o nível baixo e de 28,47 m para o nível alto de degradação da pastagem. No nível médio a MSMM não apresentou dependência espacial diante disso o semivariograma apresentou efeito pepita puro (EPP). Segundo Cambardella et al. (1994) a variabilidade não explicada ocorre devido a erros de medida e microvariações que não podem ser detectadas pela malha de amostragem utilizada. Assim, isso pode indicar que o valor do alcance desta variável pode ser menor que o espaçamento entre amostras utilizado (5 x 5 m.)

Os ajustes dos semivariogramas da produção de MST da gramínea nas áreas com nível baixo e médio de degradação da pastagem se adequaram ao modelo esférico enquanto no nível alto esse se ajustou ao exponencial. Os alcances foram de 18,93 m para o nível baixo, de 11,60 m no nível médio e de 8,82 m na área com alto nível de degradação da pastagem. Cavallini et al. (2010) em estudo num Latossolo Vermelho Distroférico verificaram que o semivariograma da MST do capim-Marandu se ajustou ao modelo esférico e teve alcance de 49,4 m bem superior ao encontrado na presente investigação. No entanto, neste estudo a gramínea não tinha sido pastejada por animais e a coleta foi realizada aos 50 dias após o corte de estabelecimento da pastagem. Nesse sentido, essas condições de manejo manteve a maior continuidade espacial, pois ao pastejar os animais rejeitam algumas estações alimentares (pastejo desuniforme), depositam dejetos e alteram os atributos físicos do solo com o pisoteio (CARVALHO et al., 2009).

O modelo dos semivariogramas do teor de MOS do nível baixo e alto de degradação da pastagem foi o esférico com alcances iguais a 22,30 e 17,28 m respectivamente. Silva et al. (2003) encontraram em Argissolo Vermelho cultivado com milho alcance de 9,50 m no teor de MOS. No entanto, em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar Souza et al. (2004); Corá et al. (2004) e Montanari et al. (2005) encontraram alcances de 77, 126 e 426 m respectivamente. Na área com médio nível de degradação da pastagem o semivariograma da MOS se ajustou melhor ao modelo exponencial com alcance de 17,96 m. A maior continuidade da MOS no nível baixo de degradação da pastagem pode ser reflexo direto dos maiores alcances encontrados para a MSFV e MST que quando não consumidos pelos animais logo esses retornam ao solo (resíduo vegetal) (THUILLE et al., 2000) ou pela decomposição do sistema radicular da pastagem (KOUTIKA et al., 2000; FARIA et al., 2010) mais uniformemente que nas áreas com média e alta degradação.

O alcance da MSFV no nível médio de degradação da pastagem esta provavelmente, subestimado devido às limitações do tamanho das parcelas (30 x 30 m). Assim, é provável que a dependência espacial continue em escala ainda maior que a captada pelo presente experimento, o que pode permitir intervalos entre amostras ainda maiores. Pois o alcance de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com raio de igual valor são tão similares que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (MACHADO et al., 2007). Além disso, os valores do alcance relativos aos semivariogramas têm importância considerável na determinação do limite da dependência espacial, podendo ser também indicativo do intervalo entre unidades de mapeamento (GREGO; VIEIRA, 2005).

Os ajustes dos semivariogramas na área com nível médio de degradação da pastagem apresentaram baixos coeficientes de determinação (R^2) e altos de soma do quadrado dos resíduos (SQR) para as variáveis MSC e MST e ocorrendo EPP para a variável MSMM. O que indica que à ausência completa de correlação espacial, no caso da MSMM, ou baixa correlação espacial, para as demais variáveis, entre os pontos amostrados. Assim sendo pontos de amostragem menores que 5 m podem melhorar o ajuste e a confiabilidade dos semivariogramas em pastagens de capim-Marandu com nível médio de degradação.

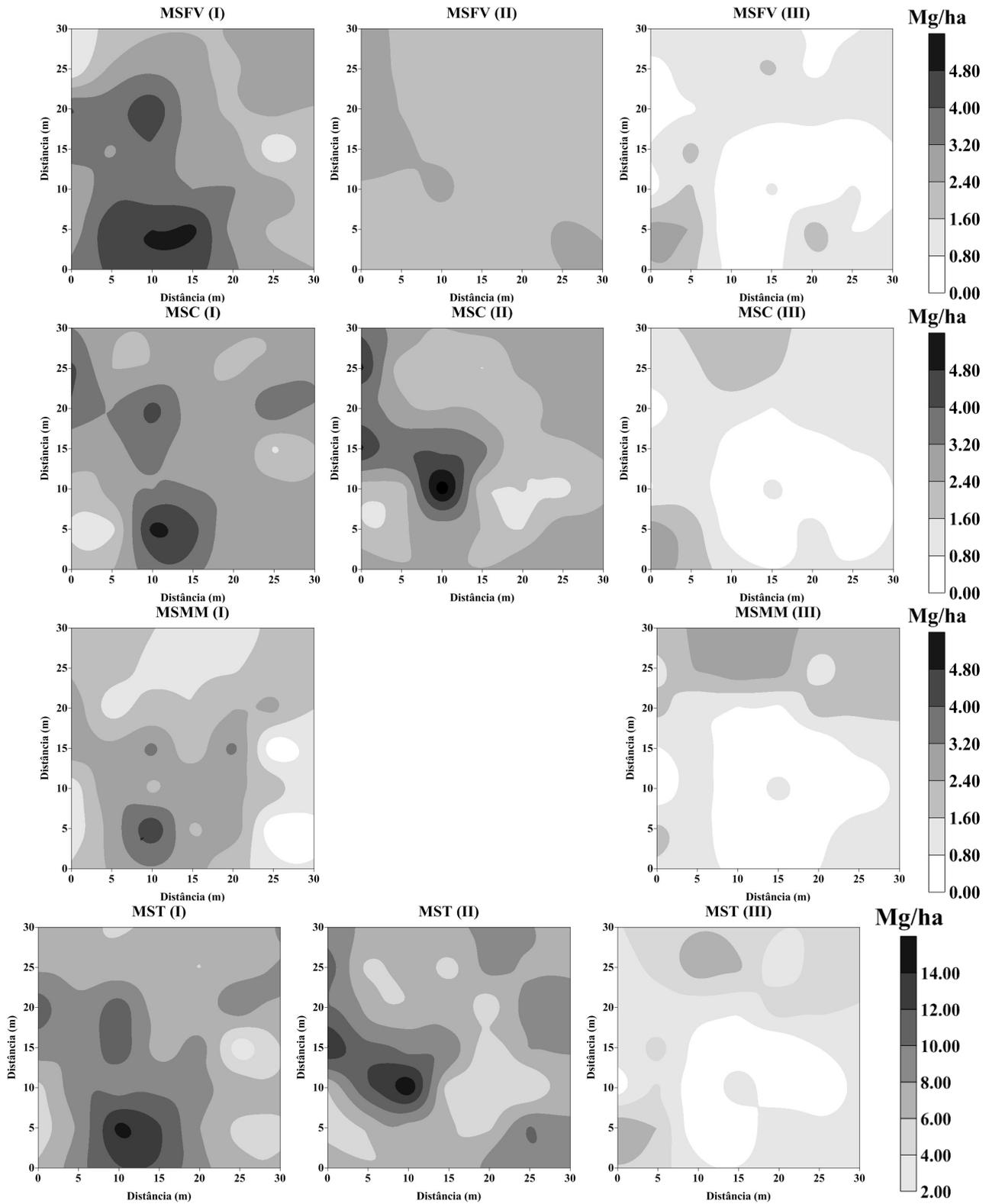
A partir dos modelos obtidos (Figura 1 e 2), para os semivariogramas ajustados para cada variável do estudo, estimaram-se os valores das variáveis para locais não amostrados por meio do método de interpolação de krigagem Ordinária. Assim, com os valores estimados foi possível construir mapas de isolinhas que expressam a variabilidade das características avaliadas em função do nível de degradação da pastagem. As superfícies de krigagem (Figura 3) ilustram os padrões gerais dos semivariogramas discutidos acima permitindo visualizar os arranjos da distribuição espacial da produtividade da gramínea e do teor de MOS das pastagens investigadas no presente estudo.

Vale ressaltar que de acordo com Feng et al. (2004) a geoestatística permiti caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, desenvolver interpolação racional e estimar a variância dos valores interpolados. Mas, no entanto, a eficiência dos estudos em agricultura de precisão depende do mapeamento preciso das propriedades observadas (KRAVCHENKO, 2003).

Os mapas confeccionados (Figura 3) permitem identificar unidades de aplicação

diferentes quanto à produtividade da gramínea e o teor de MOS. Essa regionalização surge como ferramenta auxiliar para definir zonas homogêneas de aplicação o que facilita o monitoramento de diferentes áreas em função da real situação da pastagem permitindo assim a reposição de nutrientes extraídos do solo para reestabelecer a produção da gramínea. Além disso, essas informações podem integrar sistemas de Zootecnia de precisão que buscam compreender a relação solo x planta x animal para explorar a multifuncionalidade das pastagens (CARVALHO et al., 2009; LACA 2009). Diante disso, práticas de manejo tais como adubação, ajuste da taxa de lotação e do período de descanso devem ser adotadas nas áreas com nível médio e alto de degradação da pastagem que priorizam aumentar a proporção da produção de MSFV, pois é a porção mais nutritiva e preferencialmente selecionada pelos animais em pastejo (CÂNDIDO et al., 2005). Essas medidas além elevar a produção da gramínea também minimizam a variabilidade espacial da produtividade da pastagem e do teor de MOS o que

evita a formação de locais onde as plantas apresentam maior vigor de rebrota o que ocasiona a formação de manchas (patches) que serão preferencialmente selecionadas pelos animais (SALTON; CARVALHO, 2007). Resultando assim, em superpastejo que têm como consequência a menor oferta de forragem e menor cobertura do solo o que causa perda gradual da sustentabilidade do sistema (DIAS-FILHO, 2006).



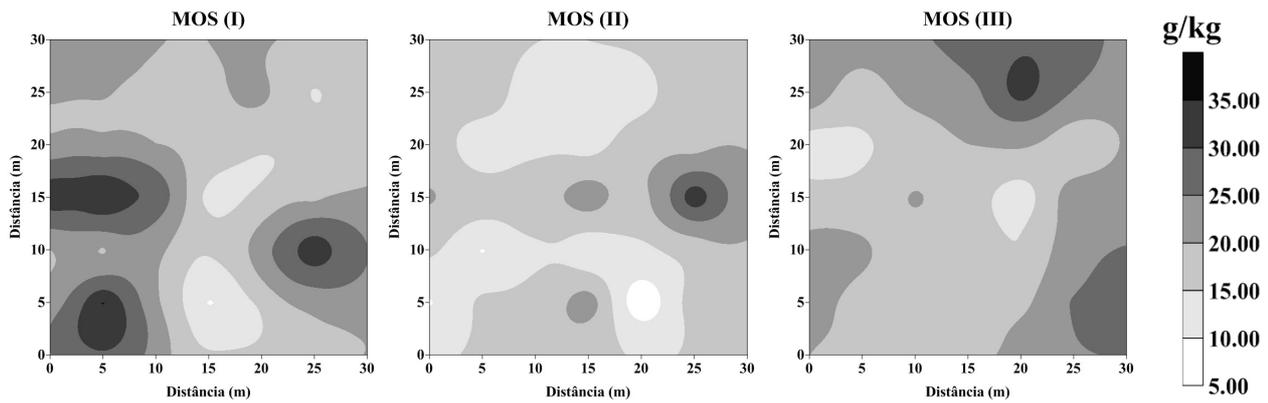


Figura 3. Mapas de contorno da distribuição espacial da massa seca de folhas verdes (MSFV), colmo (MSC), material morto (MSMM), massa seca total (MST) e teor de matéria orgânica do solo (MOS) em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com nível baixo (I), médio (II) e alto (III) de degradação.

CONCLUSÕES

A variabilidade espacial das características agrônomicas da gramínea e do teor de MOS foram observadas dentro e entre as áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com nível baixo, médio e alto de degradação.

A grade de 5 x 5 m é adequada para quantificar e descrever a variabilidade espacial bem como mapear as características agrônomicas de pastagens de capim-Marandu com nível de degradação baixo e alto.

O teor de MOS em todos os níveis de degradação da pastagem apresentou variabilidade espacial definida permitindo assim seu mapeamento.

Em áreas de pastagens de capim-Marandu com nível médio de degradação a grade de 5 x 5 m é pouco eficiente para quantificar, descrever e mapear a variabilidade espacial das variáveis MSC e MST tendo em vista os baixos coeficientes de determinação (R^2) e altas somas do quadrado dos resíduos (SQR) além da ausência de dependência espacial para a MSMM.

ABSTRACT: The aim of this study was to quantify and describe the spatial variability, with a view to mapping of the agronomic properties of the grass and organic matter content of soil in *Brachiaria brizantha* grass cultivar Marandu grown in Typic Quartzipsamment with different level of degradation. The collections of plants and soil were carried out in regular grid with distances of 5 versus 5 m area of 900 m². The dry mass of green leaves (MSFV), stem (MSC), dry matter (MSMM) and total dry mass (MST) and the content of soil organic matter (MOS) of pasture were analyzed for descriptive statistics, comparison of average by Tukey at 5% significance, geostatistical analyses and interpolation by ordinary kriging. Spatial heterogeneity of production MSFV, MSC, MSMM, MST and MOS were observed within and between areas of Marandu grass with low grade, middle and high degradation. The grid of 5 versus 5 m is adequate to quantify, describe and map of spatial variability of agronomic properties and the content of pasture grass MOS level of degradation with low and high. The MOS content in all levels of degradation of pasture was defined spatial variability thus allowing its mapping. Already in the area with the average level of degradation of the grid 5 x 5 m is ineffective for to quantify, describe and map the spatial variability of variables MSC and MST because of low coefficients of determination and large sums of squared residuals and the absence of spatial dependence for MSMM.

KEYWORDS: Legal Amazon. Degradation of pastures. Geostatistics. Carbon.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*, v. 41, n. 1, pp. 103-114, 2011.

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CÂNDIDO, M. J. D.; GOMIDE, C. A. M.; ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, W. E. Morfofisiologia do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente com três períodos de descanso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 406-415, 2005.
- CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 109-122. 2009 (supl. especial).
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.
- CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v. 97, n. 2, p. 39-60, 2000.
- CAVALLINI, M. C.; ANDREOTTI, M.; OLIVEIRA L. L.; PARIZ, C. M.; CARVALHO, M. P. Relações entre produtividade de *Brachiaria brizantha* e atributos físicos de um Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 1007-1015, 2010.
- CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. Ed. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 325-358.
- CHIBA, M. K.; GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial e temporal de plantas daninhas em Latossolo Vermelho argiloso sob semeadura direta. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringa, v. 32, n. 4, 735-742. 2010.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.
- CORRÊA, A. N.; TAVARES, M. H. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 81-94, 2009.
- DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Doc. 241, 2006. 30 p.
- DIAS-FILHO, M. B. **Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas**. Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 31p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises de solo, planta e fertilizante**, Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELLA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em toposequência na bacia do Rio Araguaia estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 517-524, 2010.

FEIGL, B. J.; MELILLO, J.; CERRI, C. C. Changes in the originand quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia. **Plant and Soil**, v. 175, n. 1, p. 21-29, 1995.

FENG, Q.; LIU, Y.; MIKAMI, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 58, n. 3, p. 357-372, 2004.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows version 8.0**. Colorado: Golden, 2002.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561p.

KOUTIKA, L.S.; CHONÉ, TH.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C. Carbon decomposition of the topsoils and soil fractions under forest and pasture in the western Brazilian Amazon basin, Rondônia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 4, p. 284-287, 2000.

KRAVCHENKO, A.N. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 5, p. 1564-1571, 2003.

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; SMUCKER, A.J.M. Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 3, p. 823-829, 2006.

LACA, E.A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 123-132, 2009 (supl. especial).

MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005.

ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 152 p.

SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. **Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Doc. 91. 2007. 41p.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na microbacia hidrográfica de Vaca Brava, PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 1, p. 86-94, 2002.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJO, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

- SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004
- SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C. E.; SPAIN, J. M. (Ed.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. CIAT. Cali, p. 269-283, 1988.
- THUILLE, A.; BUCHMANN, N.; SCHULZE, E. D. Carbon stocks and soil respiration rates during deforestation, grassland use and subsequent Norway spruce afforestation in the southern Alps, Italy. **Tree Physiology**, v. 20, n. 13, p. 849–857, 2000.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-53, 2000.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soil physics**. New York: Academic Press, p. 319-344, 1980.