



Variabilidade Espacial de Estoque de Carbono Orgânico em um Latossolo sob pastagem degradada

Patrícia Carvalho da Silva⁽¹⁾; Manoel Ribeiro Holanda Neto⁽²⁾; Marco Aurélio Barbosa Alves⁽³⁾; Wesley dos Santos Souza⁽⁴⁾; Fernando Silva Araújo⁽⁵⁾; Tamires Soares da Silva⁽⁶⁾

⁽¹⁾Graduando do curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual do Piauí, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti, Bairro Aeroporto, Corrente-PI, CEP 64980-000. E-mail: patriciacarvalhoagro@gmail.com. ⁽²⁾Professor Assistente - DE da UESPI, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti Barros. E-mail: mrholandaneto@hotmail.com. ⁽³⁾Graduando do curso de Engenharia Agrônômica da UESPI, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti Barros. Email: marcoaurélio.monitor@gmail.com. ⁽⁴⁾Graduando do curso de Engenharia Agrônômica da UESPI, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti Barros. E-mail: agrowesley95@gmail.com. ⁽⁵⁾Professor Adjunto - DE da UESPI, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti Barros. E-mail: agronando18@hotmail.com. ⁽⁶⁾Graduando do curso de Engenharia Agrônômica da UESPI, Campus Deputado Jesualdo Cavalcanti. E-mail: tamyres-soares@hotmail.com.

RESUMO: A substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas, como pastagens, modifica o estoque de carbono orgânico do solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espacial de Estoque de Carbono em uma área sob pastagem degradada. O experimento foi conduzido na área experimental do campus Dep. Jesualdo Cavalcanti Barros, município de Corrente, PI (10° 26' de latitude sul e 45° 09' de longitude oeste, 438 m de altitude). A amostragem do solo foi realizada nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 10 m em uma área de 0,54 ha, perfazendo o total de 78 pontos amostrais. Após a identificação dos pontos procedeu-se a coleta das amostras deformadas e indeformada nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do programa computacional SAS. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas. Os resultados referentes ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov indicam que o atributo em estudo apresenta distribuição normal apenas na camada de 0,0 a 0,10 m. Para a variável em estudo o CV nas duas profundidades apresentou valor médio e grau de dependência espacial Forte na camada de 0,0 a 0,10 m e moderado 0,10 a 0,20 m. O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas foi o esférico com R²=97.3% e 76.4% para as camadas 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m respectivamente. O atributo em estudo apresentou dependência espacial na área de estudo.

Termos de indexação: agricultura, geoestatística, meio ambiente.

INTRODUÇÃO

A substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas e pastagens, modifica o estoque de

carbono orgânico do solo. Este processo é resultado da nova quantidade de carbono que passa a ingressar no sistema e da taxa de mineralização desse carbono no solo, que tende a um equilíbrio após vários anos, sendo controlado por fatores edafoclimáticos, o que facilita a decomposição, contribuindo para acelerar a oxidação do carbono orgânico (Urquiaga et al., 2010).

Atualmente cresce o interesse na identificação de sistemas de manejo de culturas e pastagens que promovam o aumento no estoque de carbono no solo. Estudos recentes têm demonstrado que pastagens bem manejadas no Cerrado possuem estoques de carbono igual ou até mesmo superiores do que os apresentados pelas diferentes fitofisionomias do cerrado (Rosendo & Rosa, 2012; Silva et al. 2004), devido a um maior acúmulo de biomassa em pastagens do que na vegetação nativa do cerrado, no entanto, se as pastagens estão degradadas, produzem menores quantidades de serapilheira, matéria orgânica e biomassa nos solos (Rosa et al, 2014), pois o processo de degradação também altera significativamente os estoques de carbono do solo (Smith et al. 2008).

O estoque de carbono de um solo representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (Scholes et al., 1997). Este estoque, calculado a partir dos dados de carbono orgânico, como outros atributos do solo, que determinam o impacto da agricultura ao meio ambiente, além de variar no tempo, varia também no espaço, razão por que o conhecimento da sua variabilidade espacial é importante, sobretudo, para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994). Objetivou-se com este trabalho avaliar a dependência espacial de Estoque de Carbono em uma área sob pastagem degradada.



MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do campus Dep. Jesualdo Cavalcanti Barros, município de Corrente, PI (10° 26' de latitude sul e 45° 09' de longitude oeste, 438 m de altitude). A área de estudo possui topografia suave ondulada, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo típico, textura média.

Tratamentos e amostragens

A amostragem do solo foi realizada nos pontos de cruzamento de uma malha, com intervalos regulares de 10 m em uma área de 0,54 ha, perfazendo o total de 78 pontos amostrais. Em cada ponto desta malha foi levantada a sua cota, com o auxílio de um teodolito e georreferenciado com GPS. Após a identificação dos pontos procedeu-se a coleta das amostras deformadas nas camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m para análise de Matéria Orgânica (MO) e amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, sendo estas coletadas com anéis volumétricos de 50 mm de altura e 50 mm de diâmetro. A Matéria orgânica (MO) foi obtida pelo método Walkley-Black Modificado (Embrapa, 1999). O teor de MO foi convertido em Carbono Orgânico (CO), considerando que a matéria orgânica do solo possui 58% de CO (Fageria et al., 1999). A densidade do solo foi determinada, obtida segundo (Embrapa, 2011). O estoque de carbono orgânico nas respectivas camadas de solo foi transformado pelos métodos da camada (Bayer et al., 2000). O estoque de carbono foi estimado a partir da expressão:

$$EC = Ds \times h \times C$$

Onde: EC = estoque de carbono (Mg ha⁻¹); Ds = densidade aparente do solo (g cm⁻³); h é a espessura da camada de solo amostrada (cm); C = teor de C (%).

Análise estatística

O atributo foi avaliado por meio da análise da estatística descritiva, sendo calculados a média, mediana, variância, valores máximos e mínimos, os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, por meio do programa computacional SAS. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

Em que N (h) é o número de pares experimentais de observações Z(xi) e Z (xi + h) são separados por uma distância h. O semivariograma é representado

pelo gráfico, *versus* h. Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C0; patamar, C0+C1; e o alcance, (a). Os semivariogramas foram ajustados por meio do programa GS+ (versão 7.0). Posteriormente, os modelos foram usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem). Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis, foi utilizado o programa Surfer 8.0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao teste de normalidade de Kolmogorov- Smirnov indicam que o atributo em estudo apresenta distribuição normal apenas na camada de 0,0 a 0,10 m, e o mesmo não foi observado na camada de 0,10 a 0,20 m. Segundo Corá et al. (2006), o estudo geoestatístico de um conjunto de dados não exige que eles tenham distribuição normal.

Os valores da média e mediana estão próximos nas duas profundidades (**Tabela 1**) denotando distribuição assimétrica aos valores de Estoque de Carbono.

Tabela 1. Estatística descritiva e modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais de Estoque de Carbono do solo em área de pastagem degradados nas camadas 0 a 0,10m e 0,10 a 0,20 m.

0,0 a 10 m			
Parâmetro	Ec (Mg ha ⁻¹)	Parâmetro	Ec (Mg ha ⁻¹)
Média	20.17	Modelo	Esférico
Mediana	18.67	C ₀	15.80
Mínimo	4.94	C ₀ +C ₁	72.91
Máximo	57.41	a (m)	42.60
S	8.27	GDE (%)	21.67
CV (%)	41.00	R ²	97.3
Cs	1.50	SQR	6.94 E ⁻⁰⁴
Ck	4.67	N	78
P	0,1381 ^{ns}	outlier	7
0,10 a 0,20 m			
Parâmetro	Ec (Mg ha ⁻¹)	Parâmetro	Ec (Mg ha ⁻¹)
Média	13.62	Modelo	Esférico
Mediana	12.09	C ₀	11.10
Mínimo	2.72	C ₀ +C ₁	43.22
Máximo	35.83	a (m)	32.30
S	6.75	GDE (%)	25.68
CV (%)	49.55	R ² (%)	78.0
Cs	1.16	SQR	6.163 E ⁻⁰⁴
Ck	1.25	N	78
P	0,1381 [*]	outlier	7

EC= estoque de carbono; C0= efeito pepita; C0+C1= patamar; a= alcance; GDE= grau de dependência espacial; R2= coeficiente de determinação do modelo; SQR= soma de quadrados do resíduo; n= tamanho da amostra; S= desvio padrão; CV= coeficiente de variação; Cs= assimetria; Ck= curtose; p= estatística do teste Kolmogorov-Smirnov; *Significativo

A variabilidade do atributo foi classificado segundo os critérios estabelecidos por Warrick &



Nielsen (1980), para a variável em estudo o CV nas duas profundidades apresenta valor médio. Mesmo que os valores de CV sejam moderados, este não é um bom indicador da variabilidade espacial de atributos do solo, pois podem ocorrer no campo valores extremamente altos ou baixos, podendo não caracterizar adequadamente a variabilidade de Estoque de Carbono em pastagem.

As alterações do EC provocadas pela degradação das pastagens e pela variabilidade dos dados de acordo com os CVs encontrados (**Tabela 1**) sugerem que as informações a respeito da variabilidade espacial devem ser incorporadas, por meio de estudos de autocorrelação espacial (Kravchenko et al. 2006), que ajudaria a reduzir o erro padrão das estimativas médias (Cerri et al. 2004).

Levando em consideração a classificação de Cambardella et al. (1994), a relação efeito pepita e patamar para a variável em estudo apresentou dependência Forte, GDE (%) < 25% na camada de 0,0 a 0,10m, e moderada na camada de 0,10 a 0,20m GDE (%) >25% < 75%. Portanto, as distribuições dos atributos microbiológicos do solo não são aleatórias uma vez que este apresentou grau de dependência forte e moderado.

O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas foi o esférico (**Tabela 1**) esférico com $R^2=97.3\%$ e 76.4% para as camadas 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m respectivamente. O alcance obteve valores de 42,60 e 29,70 m para as camadas de 0,0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m respectivamente. Cabe salientar que o alcance é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância na qual uma variável regionalizada apresenta continuidade espacial, sendo que a partir desta distância, o comportamento espacial da variável passa a ser totalmente aleatório (Lemos Filho et al., 2008)

Os maiores valores de COT foi observado na camada mais superficial, decrescendo de acordo a profundidade. Chaves e Farias (2008) observaram em seu estudo que o EC não apresentou um comportamento homogêneo na sua distribuição, sugerindo a existência de diferentes zonas de manejo na área. Esses autores observaram ainda que os maiores valores de estoque de carbono se encontram na camada superficial do solo e que eles diminuem com a profundidade.

Baseado nos modelos de semivariância e levando-se em consideração os parâmetros ajustados para o atributo estudado, utilizando a técnica de krigagem ordinária, foram interpolados os valores amostrados a fim de se construir os mapas da variabilidade espacial do atributo no solo nas diferentes profundidades (**Figura 1 a e b**). Os mapas de variabilidade espacial foram

confeccionados utilizando 05 classes de divisão, afim de buscar uma melhor representação da distribuição dos valores na área de estudo.

De acordo com Feng et al. (2004) a geoestatística permite caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, desenvolver uma interpolação racional e estimar a variância dos valores interpolados. Os mapas confeccionados (**Figura 1 a e b**) permitiram observar arranjos de variabilidade espacial, do EC, bem distintos nas pastagens o que possibilitou à identificação de zonas de concentração de carbono em função da degradação da pastagem. Além disso, permitiu observar o efeito da degradação das pastagens no sequestro de carbono.

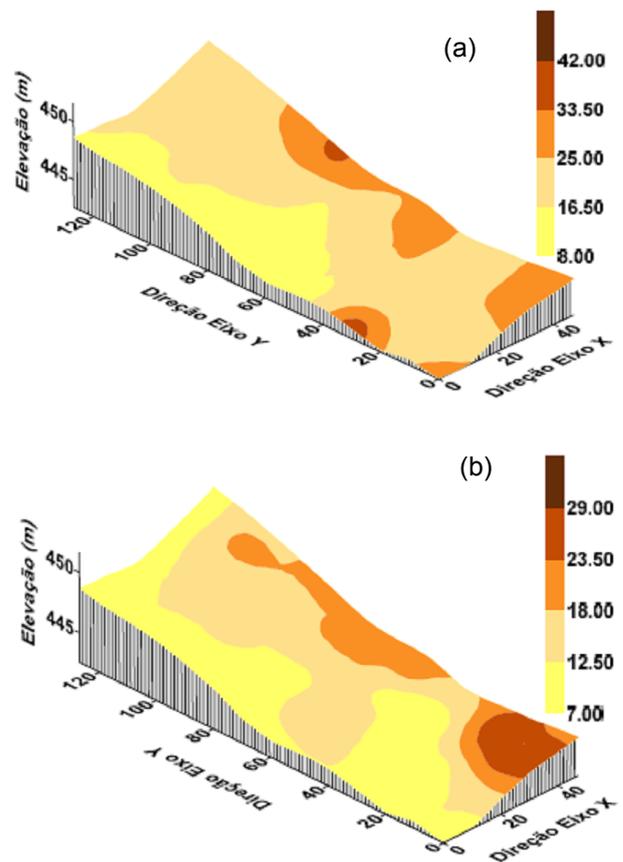


Figura 1– Distribuição espacial de EC em área de pastagem degradada nas profundidades de 0 a 0,10m (a) e 0,10 a 0,20m (b).

CONCLUSÃO

O atributo Estoque de Carbono apresentou dependência espacial na área em estudo, mostrando a necessidade de considerar a distância entre as amostras para avaliação da qualidade do solo.



REFERÊNCIAS

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. e MARTIN-NETO, L. (2000) -Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:599-607.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 58:1501-1511, 1994.

CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C.; PAUSTIAN, K. et al. Combining soil C and N spatial variability and modeling approaches for measuring and monitoring soil carbon sequestration. *Environmental Management*, 33:274-288, 2004.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência Agrárias*, 3:20-25, 2008.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T. et al. 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, 28:1013-1021, 2004. 2000.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). *Manual de métodos de análise de solos*. 2.ed. rev. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011, 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de análises de solo, planta e fertilizante*, Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos*. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Maximização da eficiência de produção das culturas. In: *Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia*, 1999. Santo Antônio de Goiás, 1999. p. 294 (Embrapa Arroz e Feijão).

FENG, Q.; LIU, Y.; MIKAME, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. *Journal of Arid Environments*, 58: 357-372, 2004.

KRAVCCENKO, A.N.; ROBERTSON, G.P.; HAO, X. et al. 2006. Management practice effect on surface total carbon: Differences in spatial variability patterns. *Agronomy Journal*, 98: 1559-1568, 2006.

LEMO FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A. et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*L.). *Revista Ciência Agronômica*, 39:193-202, 2008.

Scholes, M.C.; Powlson, D.; Tian, G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, 79:25-47, 1997.
SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103:357-363, 2004.

ROSA, R.; SANO, EDSON E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de Carbono em Solos sob pastagem cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. *Sociedade & Natureza*, 26:333-351, 2014.

ROSENDO, J.S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagem e vegetação nativa de cerrado. *Sociedade & Natureza*, 24:359- 379, 2012.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z. et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological*, 363: 789-813, 2008.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; JANTALIA, C.P.; BODDEY, R. M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. *informações agronômicas* nº130; p. 21.; junho. 2010.

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.