

Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos em área degradada de Gilbués, PI

Savio B. C. Branco¹, Adeodato A. C. Salviano², Sammy S. R. Matias³,
José Marques Júnior⁴ & Hélio L. Santos²

¹ Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Laboratório de Análises de Combustíveis - LAPETRO, Avenida Ininga, s/n, Ininga, CEP 64049-550, Teresina-PI, Brasil. E-mail: saviobraga@gmail.com

² Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Campus da Socopo, CEP 64049-500, Teresina-PI, Brasil. E-mail: adeodatosalviano@hotmail.com; santosheliolima@yahoo.com.br

³ Universidade Estadual do Piauí, Prof. Joaquina Nogueira Oliveira, s/n, Aeroporto, CEP 64980-000, Corrente-PI, Brasil. E-mail: ymmsa2001@yahoo.com.br

⁴ Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14884-900, Jaboticabal-SP, Brasil. E-mail: marques@unesp.br

RESUMO

A degradação do solo pode ser definida como um processo que reduz a capacidade do solo para produzir bens ou serviços. Com isto, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência do relevo e a erodibilidade na distribuição dos atributos químicos de um Argissolo vermelho-amarelo em área degradada do município de Gilbués, PI; na área escolhida foi demarcada uma malha de amostragem de um hectare, com pontos espaçados 10 x 10 m, sendo coletados 121 pontos amostrais nos cruzamentos, na profundidade de 0-0,20 m; cada ponto foi georreferenciado como forma de demarcar a área e ser realizado o mapa de relevo; nas amostras foram determinados: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e hidrogênio + alumínio. A estimativa da erodibilidade foi calculada com base na equação proposta por Denardin e, com base no experimento e nos resultados obtidos, conclui-se que o número de amostras utilizado foi suficiente para determinar a variabilidade do solo em áreas degradadas do município de Gilbués. A descontinuidade do relevo na paisagem e a erodibilidade causam um moderado grau de heterogeneidade na maioria dos atributos químicos do solo estudado, permitindo que se estabeleçam zonas de manejo específico.

Palavras-chave: paisagem, solo, variabilidade espacial

Influence of topography and erodibility in chemical properties in a degraded area of Gilbués, PI-Brazil

ABSTRACT

Soil degradation can be defined as a process that reduces the ability of soil to produce property or services. Thus, the objective was to study the influence of topography and erodibility in the distribution of the chemical attributes of an Alfissol in degraded areas of Gilbués in the State of Piauí, Brazil. In the chosen area a sampling grid of 1 ha was demarcated, with points spaced at 10 x 10 m, and 121 samples were collected at intersections, in 0-0.20 m depth. Each point was georeferenced as a way to demarcate the area and prepare a topography map. For all samples pH, organic matter, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, hydrogen and aluminum were determined. The estimate of erodibility was calculated from the equation proposed by Denardin. Based on the experiment and the results obtained it is concluded that the number of samples used was sufficient to determine the variability of soil in degraded areas of the Gilbués municipality. The discontinuity in the topography of the landscape and erodibility cause a moderate degree of heterogeneity in most chemical properties of the studied soil, establishing specific management zones.

Key words: landscape, soil, spatial variability

Introdução

O estudo das relações entre os atributos do solo e as formas do relevo utilizando-se os conceitos de paisagem, transeções (ou topossequências) ou grid, possibilitam relacionar a variabilidade espacial de atributos dos solos com compartimentos do relevo. A compreensão dessas relações facilita a previsão da ocorrência dos diferentes corpos de solo na paisagem e se mostram favoráveis ao uso desses critérios como base para mapeamento pedológico detalhado, ao invés de propriedades quantitativas taxonomicamente estabelecidas uma vez que as últimas são consideradas artificiais (Minasny & Mcbratney, 2007; Siqueira et al., 2010).

Por outro lado, Souza et al. (2007), Campos et al. (2007) e Campos et al. (2009) vêm demonstrando, em seus trabalhos, que o relevo tem sido a variável que define a distribuição de atributos químicos do solo ao longo da paisagem e tem apresentado altas correlações com a produtividade de culturas e outros atributos porém a tentativa de quantificar ou modelar a distribuição dos atributos do solo na paisagem não se deve basear apenas no relevo e sim em amostragens de solo em malha, mapeamento de plantas daninhas, condutividades elétricas do solo e suscetibilidade magnética (Souza et al., 2007; Minasny & Mcbratney, 2007; Siqueira et al., 2010). Com isto, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é ainda mais importante em áreas como a de Gilbués, considerada um “núcleo de desertificação” no sudoeste piauiense. A escassez de estudos nesta área tem dificultado a compreensão das causas da degradação, impossibilitando intervenções mais eficientes na região (Santos et al., 2011).

De acordo com Mendes et al. (2008) e Santos et al. (2011) em áreas tropicais, nas quais os processos geomórficos e climáticos favorecem a erosão natural dos solos, é relevante se estabelecer linhas de estudo visando à geração de programas conservacionistas que reconheçam a necessidade de se utilizar o relevo e seus compartimentos como base dos estudos e do planejamento. Mendes et al. (2008) afirmam, pesquisando em duas áreas desérticas do Salino, no Estado do Rio Grande do Norte, que as posições da paisagem provocam variações nos processos de erosão e deposição dos solos que, por sua vez, afetam a gênese do solo e o desenvolvimento da vegetação.

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial de atributos do solo e fatores de erosão em diferentes pedofomas sob cultivo de cana-de-açúcar em Campinas, Sanchez et al. (2009) verificaram que as maiores perdas de solo, risco de erosão e potencial natural de erosão e menor espessura do solo, ocorreram na pedofoma convexa, indicando forte dependência espacial com a forma do relevo.

Cavalcante et al. (2007) porém, estudando a variabilidade espacial da matéria orgânica (MO), fósforo (P), do potássio (K) e a capacidade de troca catiônica (CTC) em um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes usos e manejos, observaram que as maiores variabilidades medidas por meio do coeficiente de variação foram para o fósforo e o potássio sendo que a matéria orgânica e a CTC apresentaram coeficiente de variação médio nos diferentes usos e manejos do solo.

Neste contexto, o estudo ou entendimento do fator erodibilidade que expressa a susceptibilidade do solo aos

processos erosivos, pode auxiliar a identificar a causa efeito deste fenômeno. A diferença na erodibilidade de solos distintos ocorre em virtude das condições intrínsecas desses solos, dadas pelas características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas (Campos et al., 2008; Santos et al., 2011). Dentre as várias propostas para o estudo das taxas de erosão do solo, as que mais se aproximam do planejamento conservacionista são as propostas apresentadas por Sanchez et al. (2009) e Santos et al. (2011). Esses trabalhos utilizaram técnicas geoestatísticas e conceitos da relação solo-paisagem, envolvendo compartimentos da paisagem para criar cenários futuros de erosão em escala espacial e temporal.

O efeito da erosão na produção das culturas é, muitas vezes, confundido com aquele relativo à posição da paisagem; assim, o estudo da paisagem e da erosão não deve ser excludente. Compartmentalizando a paisagem, Campos et al. (2008) encontraram resultados significativos no estudo da variação espacial da perda de solo por erosão. Além disto, observa-se que os estudos de variabilidade do solo enfatizam mais os aspectos espaciais que os temporais, principalmente em relação aos atributos ligados à erosão (Pérez-Rodríguez et al., 2007; Campos et al., 2008); sendo assim, o desenvolvimento de um modelo quantitativo para perdas de solo por erosão em diferentes compartimentos do relevo, pode auxiliar no entendimento das relações de causa e efeito dos processos erosivos e no estabelecimento de práticas conservacionistas mais adaptadas e eficazes.

Com base no exposto objetivou-se, com este trabalho, avaliar a influência do relevo e a erodibilidade na ocorrência dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em área degradada do município de Gilbués, Piauí.

Material e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado no município de Gilbués, PI, localizado no sudeste do Piauí, com as seguintes coordenadas geográficas: 09° 49' Latitude Sul e 45° 20' Longitude Oeste, com altitude média de 481 m. O clima da região é classificado, de acordo com Köppen, como sendo Aw (clima tropical com estação seca de Inverno); a temperatura varia entre 25 e 36 °C e com precipitação média de 1100 mm.

O estudo foi plotado em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo argiloso, localizado em uma área com declividade variando de 0 a 6%, tendo o solo ausência de vegetação arbustiva em mais de 60%, com presença de 80% de gramíneas. Nesta área foi demarcada uma malha de amostragem de 1 ha com pontos espaçados em 10 x 10 m, sendo coletados 121 pontos amostrais de solo nos cruzamentos, na profundidade de 0-0,20 m; Cada ponto foi georreferenciado como forma de demarcar a área e ser realizado o mapa de relevo (Figura 1).

Análises laboratoriais

Nas amostras foi determinada a granulometria do solo pelo método da pipeta com solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de baixa rotação, por 16 horas, seguindo a metodologia proposta pela

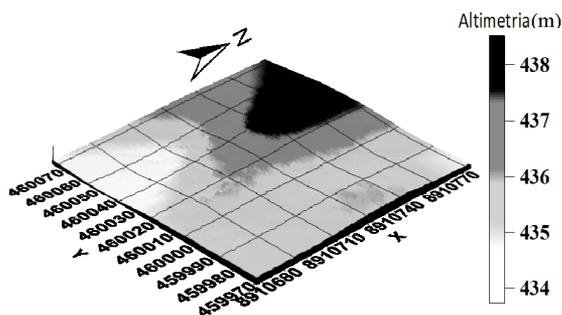


Figura 1. Mapa de relevo da área em estudo

Embrapa (1997). A quantificação dos atributos químicos do solo, o teor de cálcio, magnésio, potássio trocáveis e o fósforo disponível, foram extraídos utilizando-se do método da resina trocadora de íons; o pH foi determinado utilizando-se da relação 1:2,5 de solo em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (Embrapa, 1997).

Para determinação da erodibilidade do solo ($\text{t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h ha}$) foi usada a equação proposta por Denardin (1990),

$$K = 7,48 \cdot 10^{-6} X_1 + 4,48 \cdot 10^{-3} X_2 - 6,31 \cdot 10^{-2} X_3 + 1,04 \cdot 10^{-2} X_4$$

em que:

X_1 - representou a variável “M”, calculada a partir de parâmetros granulométricos determinados pelo método da pipeta;

X_2 - representou a permeabilidade do perfil do solo, codificada;

X_3 - representou o diâmetro médio ponderado das partículas menores que 2 mm, expresso em mm e;

X_4 - representou a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor da “nova areia”, determinada pelo método da pipeta.

Análises estatísticas

Inicialmente, a variabilidade dos dados foi avaliada pelas estatísticas descritivas: média, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose, enquanto para a hipótese de normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov a nível de $p < 0,05$; já para a análise dos dados foi utilizado o programa SAS (Sistema de Análise Estatístico, 2007); enfim, a correlação de Pearson foi realizada no programa MINITAB (Minitab Release, 2000).

A análise da dependência espacial, feita por meio da geoestatística, conforme Webster (1973) é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes umas das outras do que aquelas separadas por distâncias maiores; portanto, a variável aleatória assume diferentes valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracterizando uma variável regionalizada.

Quanto às hipóteses intrínsecas de estacionariedade, a semivariância foi calculada pela expressão seguinte:

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

em que:

$N(h)$ - número de pares de valores medidos nos locais $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h .

O gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ é denominado semivariograma experimental. Do ajuste de um modelo matemático ao semivariograma experimental foram obtidas as estimativas das variáveis do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$ e o alcance, a).

Todos os resultados dos semivariogramas foram obtidos no programa GS+ (Robertson, 2008). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foram considerados o menor SQR (soma de quadrados do resíduo) e o melhor R^2 (coeficiente de determinação); para elaboração dos mapas de distribuição espacial dos atributos foi utilizado o programa Surfer (Golden Software, 1995).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva (Tabela 1) das 121 amostras na profundidade de 0 a 0,20 m, demonstram que o coeficiente de variação (CV) variou de 0,42 a 39,59. Vanni (1998) afirma que coeficiente de variação maior que 35 % revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum mas, se for menor que 35%, a série é homogênea e a média tem significado podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Desta forma, pode-se dizer que, com exceção do Ca, todos os atributos do solo analisados apresentaram CV menor que 35% dando validade ao uso da média, cujos resultados estão de acordo com os obtidos por Campos et al. (2007), Souza et al. (2008) e Lima et al. (2010), em estudo de variabilidade do solo em paisagens.

Existem autores (Campos et al., 2009; Siqueira et al., 2010), que descrevem a utilização de médias e CV no estudo de variabilidade espacial na paisagem como sendo uma ferramenta auxiliar como indicativo de heterogeneidade. Souza et al. (2007) relatam que mesmo inferindo a variabilidade pelo CV são convenientes análises mais detalhadas utilizando-se geoestatística na caracterização da variabilidade na paisagem.

Os valores da média e mediana para os atributos K_1 , MO, pH, P, K, estão próximos, mostrando distribuições simétricas. Quando os valores da média e mediana são semelhantes, os dados se apresentam ou se aproximam de uma distribuição normal, segundo Webster (2001), indicando que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (Cambardella et al., 1994; Campos et al., 2007) demonstrando que todos os atributos envolvidos no estudo estão se aproximando de uma distribuição normal.

Em relação à assimetria e curtose, observa-se que todos os atributos obtiveram valores próximos de zero, com exceção dos atributos Ca, Mg e H + Al, indicando que esses atributos não tiveram uma distribuição normal dos dados. Segundo Webster (2001), um valor de assimetria até 0,5 indica que determinado atributo apresenta distribuição normal, o que é dispensado na transformação logarítmica para normalização dos dados. Valores entre 0,5 e 1,0 necessitam de análise por meio de seus quadrados mínimos para averiguar tendência de uma distribuição lognormal e valores de assimetria maiores que 1,0 carecem de transformação logarítmica para apresentar distribuição normal.

Tabela 1. Estatística descritiva para o relevo (m) e os atributos, erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), matéria orgânica (MO), pH ($CaCl_2$), fósforo (P), potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Hidrogênio + Alumínio (H + Al) na profundidade de 0–0,20 m

Variáveis analisadas	Média	Mediana	Mínimo	Maxima	Assimetria	Curtose	CV
Relevo	435,92	435,96	431,51	439,93	-0,01	-0,32	0,42
K _i	0,05	0,05	0,03	0,05	-0,17	1,82	6,13
MO	17,98	18,00	10,00	33,00	0,77	3,13	18,20
pH	4,90	4,80	4,30	5,80	0,66	-0,05	6,39
P	3,09	3,00	1,00	6,00	-0,18	0,85	31,53
K	3,26	3,00	1,60	3,00	0,70	-0,19	33,92
Ca	46,60	41,00	25,00	139,00	2,16	6,15	39,59
Mg	26,38	24,00	12,00	24,00	1,64	2,96	33,29
H + Al	35,46	34,00	18,00	72,00	1,88	6,41	20,72

K_i = Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$)

Na Tabela 2 são apresentadas as correlações entre os atributos químicos do solo e as variáveis, relevo e erodibilidade do solo, demonstrando as relações positivas e negativas, além da não significância entre atributos e variáveis.

Os resultados da Tabela 2 demonstram a significância, a $p < 0,01$ e $p < 0,05$ de probabilidade pelo teste f do relevo com os atributos pH, K, Ca e Mg do solo, mostrando uma correlação negativa com todos os atributos analisados. A correlação evidenci, quando negativa, que os resultados exercem uma posição inversamente proporcional, ou seja, quando a variável aumenta os atributos tendem a descer. Campos et al. (2009) e Siqueira et al. (2010) citam que o relevo pode ser considerado um agente integrador que expressa a interação de vários atributos do solo; neste sentido, observa-se que o relevo exerce influência direta nos atributos do solo e que o manejo e a conservação das áreas a serem trabalhadas exigem cuidados especiais quanto ao uso.

Na Tabela 2 verifica-se, ainda, que a erodibilidade em relação aos atributos químicos do solo, manteve uma correlação significativa a $p < 0,01$ e $p < 0,05$ de probabilidade, variando positivamente para P, MO, H + Al (0,062; 0,547; 0,070; respectivamente) e negativamente para Ca, Mg e pH (-0,250; -0,467; -0,221; respectivamente). Em ambos os casos observa-se que os atributos Ca, Mg e pH, tiveram uma correlação negativa indicando que tal atributo é facilmente afetado pelo

fator erodibilidade e relevo. Vitte et al. (2007) e Campos et al. (2008) consideram que os parâmetros do solo que afetam sua estrutura, hidratação e as características da circulação da água, afetam também a erodibilidade do solo.

Neste sentido, os atributos do solo podem variar direta e inversamente proporcional à erodibilidade dependendo do tipo de solo, fatores de formação e agregação, ou serem de ordem tanto intrínseca quanto extrínsecamente no solo. Para Denardin (1990) a erodibilidade é um fator complexo e dependente da interação de múltiplos atributos razão por que se torna difícil estabelecer uma relação de causa e efeito entre as variáveis utilizadas nos modelos (Pérez-Rodrigues et al., 2007; Sanchez et al., 2009).

Na Tabela 3 são descritos os resultados da análise geoestatística dos atributos do solo. Os modelos exponencial, esférico e gaussiano, foram os que se ajustaram à estrutura da variância espacial dos dados; o resultado da análise geoestatística mostrou que todos os atributos do solo analisados apresentaram dependência espacial. De acordo com Campos et al. (2009) e Siqueira et al. (2010) os modelos matemáticos que mais se ajustam às propriedades do solo são os modelos esférico e exponencial.

Segundo Campos et al. (2009) e Siqueira et al. (2010), o efeito pepita (C_0) explica a não variância dos dados ocasionada, possivelmente, por erros de medição ou variação dos atributos

Tabela 2. Coeficiente de correlação linear entre os atributos químicos do solo e as variáveis relevo e erodibilidade em malha regular de um hectare a 0-0,20 m de profundidade

Variáveis	Atributos do solo							
	K ₍₁₎	P	MO	K	Ca	Mg	H + Al	pH
Relevo	0,062 ^{ns}	0,084 ^{ns}	-0,005 ^{ns}	-0,250 ^{**}	-0,234 ^{**}	-0,255 ^{**}	0,044 ^{ns}	-0,236 ^{**}
K ₍₁₎	1,00	0,062 ^{**}	0,547 ^{**}	-0,120 ^{ns}	-0,250 ^{**}	-0,467 ^{**}	0,070 ^{**}	-0,221 [*]

** e * Significativo a $p < 0,01$ e $p < 0,05$ de probabilidade, respectivamente; Ns = não significativo; K₍₁₎ = erodibilidade

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para a erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$) e os atributos químicos, matéria orgânica (MO), pH ($CaCl_2$), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e hidrogênio + alumínio (H + Al) na profundidade de 0–0,20 m

Atributos	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE	Alcance (m)	R ²	D.P.	CRVC	
								b	a
Profundidade 0,0 – 0,20 m									
K _i	Exponencial	1,1E-06	7,1E-06	15,49	58,50	0,91 ^{**}	Forte	0,91	0,00
MO	Esférico	3,76	8,93	42,11	113,40	0,89 ^{**}	Moderado	0,94	1,04
pH	Gaussiano	0,03	0,064	46,88	47,63	0,92 ^{**}	Moderado	0,97	0,12
P	Exponencial	0,05	0,50	11,68	31,20	0,82 ^{**}	Forte	0,92	0,23
K	Gaussiano	0,49	1,52	32,50	96,12	0,99 ^{**}	Moderado	0,94	0,17
Ca	Exponencial	36,6	73,21	49,99	61,50	0,71 ^{**}	Moderado	0,92	3,22
Mg	Gaussiano	8,56	32,19	26,59	103,57	0,92 ^{**}	Moderado	0,98	0,41
H + Al	Gaussiano	9,21	21,11	43,63	45,23	0,90 ^{**}	Moderado	0,94	1,89

K_i = erodibilidade; C₀ = efeito pepita; C₀+C₁ = patamar; R² = coeficiente de determinação do modelo; GDE (C₀/(C₀ + C₁)*100) = grau de dependência espacial, sendo o efeito pepita = 100 % do patamar, moderada quando está entre 25 e 75 %, fraca > 75 % e ≤ 25 % forte; DP = Dependência espacial; b = Coeficiente angular. CRVC = coeficiente de regressão da validação cruzada e a = intercepto.

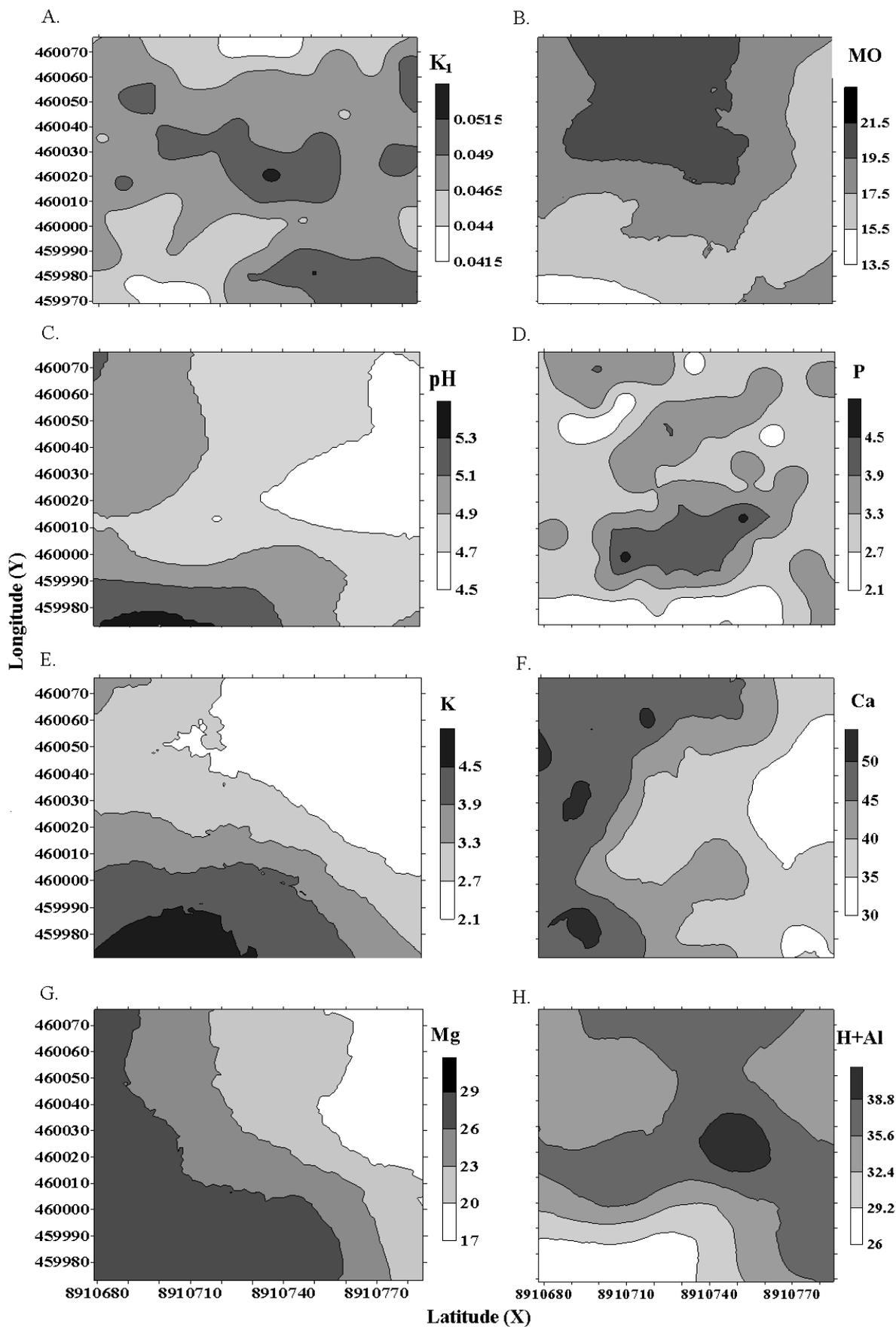


Figura 2. Mapas da distribuição espacial da erodibilidade ($\text{t ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{h ha}$) (A), e dos atributos químicos, matéria orgânica (g kg^{-1}) (B), pH (CaCl_2) (C), fósforo (mg dm^{-3}) (D), potássio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (E), cálcio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (F), magnésio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (G) e hidrogênio + alumínio ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) (H) na profundidade de 0–20 m

que não podem ser detectados na escala amostral. Na pesquisa os maiores valores do efeito pepita foram obtidos para K, H+Al, Mg e MO, e o menor valor obtido para a erodibilidade do solo, o que pode indicar uma continuidade maior da sua variabilidade espacial com os demais atributos do solo.

Com exceção do P, que apresentou forte dependência espacial, todos os outros atributos apresentaram dependência moderada, segundo classificação de Cambardella et al. (1994). Os mesmos autores afirmam que a variável que apresenta grau de dependência forte é mais influenciada por propriedades intrínsecas do solo com os fatores de formação do solo, como o relevo; por outro lado, variáveis que apresentam fraca dependência são mais influenciadas por fatores atípicos com manejo inadequado do solo. Esses mesmos resultados foram obtidos por Campos et al. (2007) e Campos et al. (2009), mostrando a importância da caracterização espacial dos atributos químicos do solo, mesmo em pequenas áreas. Ressalta-se que a análise da dependência espacial é baseada na suposição de que pequenas distâncias entre medições se assemelham mais umas às outras que as separadas por distâncias maiores.

O alcance (m) que descreve a distância máxima nas quais as amostras são consideradas com dependência espacial, indica que amostras localizadas a distâncias menores apresentam correlação umas com as outras; na Tabela 3 observa-se que os alcances variaram de 31,20 a 113,48 m com menor amplitude para o atributo P.

Ressalta-se 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). Neste sentido, os valores da continuidade espacial (alcance) estão superiores ao da escala utilizada sugerindo que maior distância entre os pontos amostrais reflete a realidade da área quanto aos atributos químicos do solo, o que contribui para a diminuição do número de pontos amostrados sem, contudo, interferir no resultado pesquisado.

Verificando a existência do patamar deseja-se saber se a estacionariedade dos resultados dos pontos amostrados existe e é alcançada quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante entre eles, o que pode afirmar que a semivariância se aproxima da variância total dos dados.

Na pesquisa os patamares encontrados apresentaram variância com amplitude de 0,064 para o pH e 73,21 para o Ca (Tabela 3) evidenciando que entre esses valores de amplitude a estacionariedade é real e contribui para a definição da variabilidade espacial dos pontos amostrados. Para Campos et al. (2007), Souza et al. (2008) e Campos et al. (2009) os modelos ajustados aos dados dos atributos químicos são considerados transitivos por possuírem patamar, ou seja, a partir de determinado valor da distância entre amostras não existe mais dependência espacial (a variância da diferença entre pares de amostras se torna invariante com a distância).

Os mapas de krigagem (Figura 2) ilustram os resultados demonstrados na Tabela 3 dos parâmetros de modelos dos semivariogramas; o uso da krigagem buscou não estimar determinado valor mas definir áreas com maior ou menor

probabilidade de que determinado evento ocorra, ou seja, a área onde o atributo químico do solo se fizesse mais presente determinando, portanto, a ocorrência desses elementos dentro da área estudada.

Os mapas de krigagem dos atributos químicos e a erodibilidade do solo, além de fornecer o local que pode ter maior risco de erosão, também forneceram informações da distribuição dos atributos químicos permitindo estabelecer-se zonas de manejo e, conseqüentemente, de produção (Figuras 2A; 2B; 2C; 2D; 2E; 2F; 2G; 2H). Com base na Figura 1 observou-se que o comportamento dos atributos químicos obedeceu à espacialização do relevo ocorrendo valores mais altos nas áreas mais baixas (Figuras 2B; 2C; 2D; 2E; 2F; 2G; 2H). Este resultado indica que, além do manejo, as aplicações de fertilizantes e corretivos teriam de ser diferenciadas, evitando perdas. Segundo Souza et al. (2007) e Lima et al. (2010) a produtividade das culturas varia espacialmente e determinar as causas dessas variações é fundamental para o estabelecimento de zonas específicas de manejo.

Conclusões

O número de amostras utilizado foi suficiente para determinar a variabilidade do solo em áreas degradadas do município de Gilbués.

A descontinuidade do relevo na paisagem e a erodibilidade, causam um grau moderado de heterogeneidade na maioria dos atributos químicos do solo estudado, permitindo estabelecer-se zonas de manejo específico.

Literatura Citada

- 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*, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>>. 28 Out. 2012.
- Campos, M. C. C.; Marques Junior, J.; Martins Filho, M. V.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M.; Barbieri, D. M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. *Ciência Rural*, v.38, n.9, p.2485-2492, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000900011>>. 28 Out. 2012.
- Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Freitas, E. V. S. Dependência espacial de atributos químicos em área cultivada com cana-de-açúcar em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.4, p.350-359, 2007. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/93>>. 28 Out. 2012.
- Campos, M. C. C.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M.; Montanari, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.3, p.297-304, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300011>>. 28 Out. 2012.

- Cavalcante, E. G. S.; Alves, M. C.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M. de. Variabilidade espacial da MO, P, K, e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. *Ciência Rural*, v.37, n.2, p.394-400, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000200015>>. 28 Out. 2012.
- Denardin, J. E. Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba: Universidade de São Paulo; Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, 1990. 114p. Tese de Doutorado.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- Golden Software. Surfer for windows. Realese 6.01. Surface mapping system. Golden: Golden Software, 1995.
- Lemos Filho, L. C. A.; Oliveira, E. L.; Farias, M. A.; Andrade, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.2, p.193-202, 2008. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/47>>. 28 Out. 2012.
- Lima, J. S. S. de; Oliveira, R. B. de; Rocha, W. da. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). *Idesia*, v.28, n.2, p.31-39, 2010. <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000200004>>. 28 Out. 2012.
- Mendes, A. M. S.; Fontes, R. L. F.; Oliveira, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.1, p.19-27, 2008. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/19>>. 28 Out. 2012.
- Minasny, B.; McBratney, A. B. Spatial prediction of soil properties using EBLUP with a Matérn covariance function. *Geoderma*, v.140, n.4, p.324-336, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.04.028>>. 28 Oct. 2012.
- Minitab, Release Making Data analysis Easier: version 13.1, 2000. CD Rom.
- Pérez-Rodríguez, R.; Marques, M. J.; Bienes, R. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Science of the Total Environment*, v.378, n.1-2, p.166-173, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.01.044>>. 28 Oct. 2012.
- Robertson, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences (version 9 for windows). Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 179p.
- Sanchez, R. B.; Marques Júnior, J.; Souza, Z. M. de. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. *Bragantia*, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000400030>>. 28 Out. 2012.
- Santos, H. L.; Marques Júnior, J.; Matias, S. S. R.; Siqueira, D. S.; Pereira, G. T. Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, n.4, p.710-716, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1347>>. 28 Out. 2012.
- Siqueira, D. S.; Marques Junior, J.; Pereira, G. T. Using landforms to predict spatial and temporal variability of soil and orange fruit attributes. *Geoderma*, v.155, n.1-2, p.55-66, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.024>>. 28 Oct. 2012.
- Souza, G. S.; Lima, J. S. S.; Silva, S. A.; Oliveira, R. B. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.30, n.4, p.589-596, 2008. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5322>>. 28 Out. 2012.
- Souza, Z. M.; Barbieri, D. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Campos, M. C. C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.2, p.371-377, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000200016>>. 28 Out. 2012.
- Statistical Analysis System Institute - SAS. Statistical analysis system: user's guide version 8.2. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2007. CD Rom.
- Vanni, S. M. Modelos de regressão: estatística aplicada. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 1998. 177p.
- Vitte, A. C; Melo, J. P. de. Considerações sobre erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas nas morfogêneses das vertentes: um balanço bibliográfico. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, v.2, n.2, p.107-133, 2007. <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/775>>. 28 Out. 2012.
- Webster, R. Automatic soil-boundary location from transect data. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, v.5, n.1, p.27-37, 1973. <<http://dx.doi.org/10.1007/BF02114085>>. 28 Oct. 2012.
- Webster, R. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, v.52, n.2, p.331-340, 2001. <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00383.x>> 28 Oct. 2012.