



Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas¹

Gláucia de Mello², Célia R. P. Bueno² & Gener T. Pereira²

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi identificar a variabilidade espacial do potencial natural de erosão, das perdas de solo e do risco de erosão em duas áreas intensamente cultivadas, com o intuito de fornecer subsídios na descrição de padrões de ocorrência de erosão. O solo da área, localizado em Monte Alto, SP, foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (PVA), relevo ondulado e sob diferentes manejos. O solo da área localizado em Jaboticabal, SP, foi classificado como Latossolo Vermelho (LV), relevo suave, cultivado com cana-de-açúcar. O esquema de amostragem constituiu em uma malha irregular. Amostras de solo foram obtidas na profundidade de 0-0,2 m, para cada malha: 88 amostras para a área de Monte Alto (1465 ha) e 128 amostras para a área de Jaboticabal (2597 ha). Para obtenção dos valores das variáveis estudadas, empregou-se a EUPS para cada ponto amostrado. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística para definição dos semivariogramas. Para os modelos foi utilizada a interpolação por krigagem. Observou-se a ocorrência de dependência espacial para todas as variáveis. O solo PVA apresentou maiores riscos de erosão, devido ao relevo, uso atual e manejo, comparado com o solo LV.

Palavras-chave: geoestatística, EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo), conservação do solo, mapeamento do solo

Spatial variability of the soil loss, natural potential and erosion risk in intensively cultivated areas

ABSTRACT

The objective of this work was to identify the spatial variability of the natural erosion potential, soil loss and erosion risk in two intensively cultivated areas, in order to assess the erosion occurrence patterns. The soil of the area located at Monte Alto, São Paulo state, was classified as Paleudalf (PVA) with moderately slope, with different managements. The soil of the area located at Jaboticabal, São Paulo state, was classified as Haplortox(LV) with gentle slope and cultivated with sugarcane. A irregular grid was imposed on the experimental areas. Soil samples were obtained from 0-0.2 m depth at each grid point: 88 samples in Monte Alto area (1465 ha) and 128 samples at Jaboticabal area (2597 ha). In order to obtain the values of the studied variables USLE was applied at each grid point. Descriptive statistics were calculated, and geoestatistical analyses were performed for defining semivariograms. Kriging techniques to develop map showing spatial patterns in variability of selected soil attributes were used. All variables showed spatial dependence. The PVA soil showed higher erosion risk due to the slope and atual management compared to the soil LV.

Key words: geostatistics, USLE (Universal Soil Loss Equation), soil conservation, soil map

¹ Parte da Dissertação de Mestrado da primeira autora, apresentada à UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, financiada com bolsa CNPq.

² FCAV/UNESP, CEP 14884-900, Jaboticabal, SP. Fone: (64) 34913082. E-mail: glauucia_mello@ig.com.br; fone: (16) 3209 2672, e-mail: crbuono@fcav.unesp.br, fone: (16) 3209 2624, e-mail: genertp@fcav.unesp.br

INTRODUÇÃO

A preocupação com a conservação dos recursos naturais vem-se tornando cada vez mais importante, devido à má ocupação do solo e do uso inadequado dos recursos ambientais. As práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perdas de solo, são ferramentas de grande uso no planejamento agroambiental. A utilização de uma propriedade agrícola é, em geral, não planejada contrariando, na maioria das vezes, a sua real capacidade de uso, podendo levar a uma manifestação do processo erosivo do solo, em intensidade e velocidade que ultrapassam os limites de tolerância. Com isso, o planejamento do uso das terras, aliado ao planejamento ambiental, tem ocupado lugar de destaque na identificação de riscos potenciais de degradação permanente.

Para a avaliação e predição das perdas de solo, a USLE (Universal Soil Loss Equation), proposta por Wischmeier & Smith (1978) como: $A = R.K.L.S.C.P$, tem sido o modelo mais utilizado em todo o mundo, pois engloba um conjunto de fatores naturais e antrópicos. Dentre os fatores naturais destacam-se a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K) e o fator topográfico (LS). Os fatores antrópicos são definidos pelo uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Quando se respeita a paisagem natural definida por fatores do meio físico, intervenientes nos processos de erosão, subentende-se que está estabelecida a tendência de ocupação dos solos, podendo determinar os limites potenciais de utilização das terras. Pesquisas consistentes sobre os riscos potenciais de erosão têm sido desenvolvidas por pesquisadores como: Bueno (1994); Castro & Valério Filho (1997); Nascimento & Lombardi Neto (1999); Renschler et al. (1999); Bertol & Almeida (2000); Nogueira (2000) e Nyakatawa et al. (2001).

Em áreas intensamente cultivadas, sobrepondo-se à variabilidade natural do solo, existem fontes adicionais de variabilidade devido a influência do homem no manejo agrícola, em que um deles é o cultivo de plantas em linha e a conseqüente aplicação localizada de fertilizantes nas culturas (Beckett & Webster, 1971). No estudo desta variabilidade pode-se utilizar dois enfoques que diferem, basicamente, na forma em que os dados são analisados. Com os métodos estatísticos convencionais não é possível estudar a dependência espacial entre variáveis analisadas, mas a análise exploratória dos dados é uma etapa de fundamental importância e obrigatória dentro de qualquer estudo geoestatístico. É uma etapa precursora, introduzida para averiguar as propriedades estatísticas e matemáticas dos dados (Burrough et al., 1996). O estudo da variabilidade espacial é imprescindível em áreas onde o solo está submetido a diferentes práticas culturais, indicando alternativas não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção de culturas (Trangmar et al., 1985) mas, também, para estimar respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas de manejo.

Segundo Vieira et al. (1983) a obtenção dos semivariogramas constitui-se no primeiro passo da análise geoestatística. Em um extremo, pode não existir associação espacial

entre medidas em dois pontos quaisquer, implicando em independência dos dados; no outro extremo, as medidas podem mostrar alto grau de continuidade entre dois pontos, sendo a medida em um ponto qualquer altamente previsível a partir de pontos vizinhos. A grande maioria dos fenômenos naturais se situa entre estes extremos, demonstrando alguma variabilidade puramente aleatória, no primeiro caso, ou alguma continuidade espacial, no segundo caso (Clark, 1979).

A existência de um modelo de dependência espacial permite que se estimem os valores dos atributos do solo em locais não amostrados (Goovaerts, 1997), e o método de interpolação comumente utilizado para esta operação, é a krigagem. A krigagem usa a dependência espacial entre amostras vizinhas, expressa no modelo do semivariograma ajustado, para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (Vieira, 2000).

Com o presente trabalho, objetivou-se identificar a variabilidade espacial do potencial natural de erosão, das perdas de solo e do risco de erosão em duas regiões distintas em termos de classe de solo e cultivo, através de análises geoestatísticas e técnicas de interpolação de dados, com o intuito de fornecer subsídios na descrição de padrões de ocorrência de erosão.

MATERIAL E MÉTODOS

Duas áreas de estudo foram selecionadas, uma situada no município de Monte Alto, SP, entre longitudes de 48° 26' e 48° 29' W e latitudes de 21° 15' e 21° 19' S, numa altitude média de 650 m e perfazendo 1465 ha, e a outra situada no município de Jaboticabal, SP, entre longitudes 48° 10' e 48° 15' W e latitudes 21° 11' e 21° 14' S, altitude média de 550 m, com área de 2597 ha (Figura 1). O principal solo avaliado na região de Monte Alto é o Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico textura arenosa a média, relevo ondulado (PVA), desenvolvidos da alteração dos arenitos da Formação Marília, do Grupo Bauru, inserido no Planalto Ocidental Paulista. O solo avaliado da área de Jaboticabal é o Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave ondulado (LV), desenvolvido do basalto da Formação Serra Geral, Grupo São Bento, inserido nas Cuestas Basálticas.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico úmido, subtropical de inverno seco (Cwa), com precipitação total de 1400 mm e temperatura média variando de 21,5 a 24,7 °C; a vegetação natural original é do tipo floresta latifoliada tropical.

As áreas em estudo são cultivadas, predominantemente, com culturas perenes e semiperenes, sendo que em Monte Alto se encontram, em geral, frutíferas, pastagens e cana-de-açúcar; já em Jaboticabal a área é totalmente cultivada com cana-de-açúcar.

Foram coletadas amostras de solos georreferenciadas, em grade irregular, sendo amostrado o total de 88 pontos e 128 pontos, distanciados 500 m, em média, na profundidade de 0-0,2 m. A análise textural foi realizada de forma semelhante ao

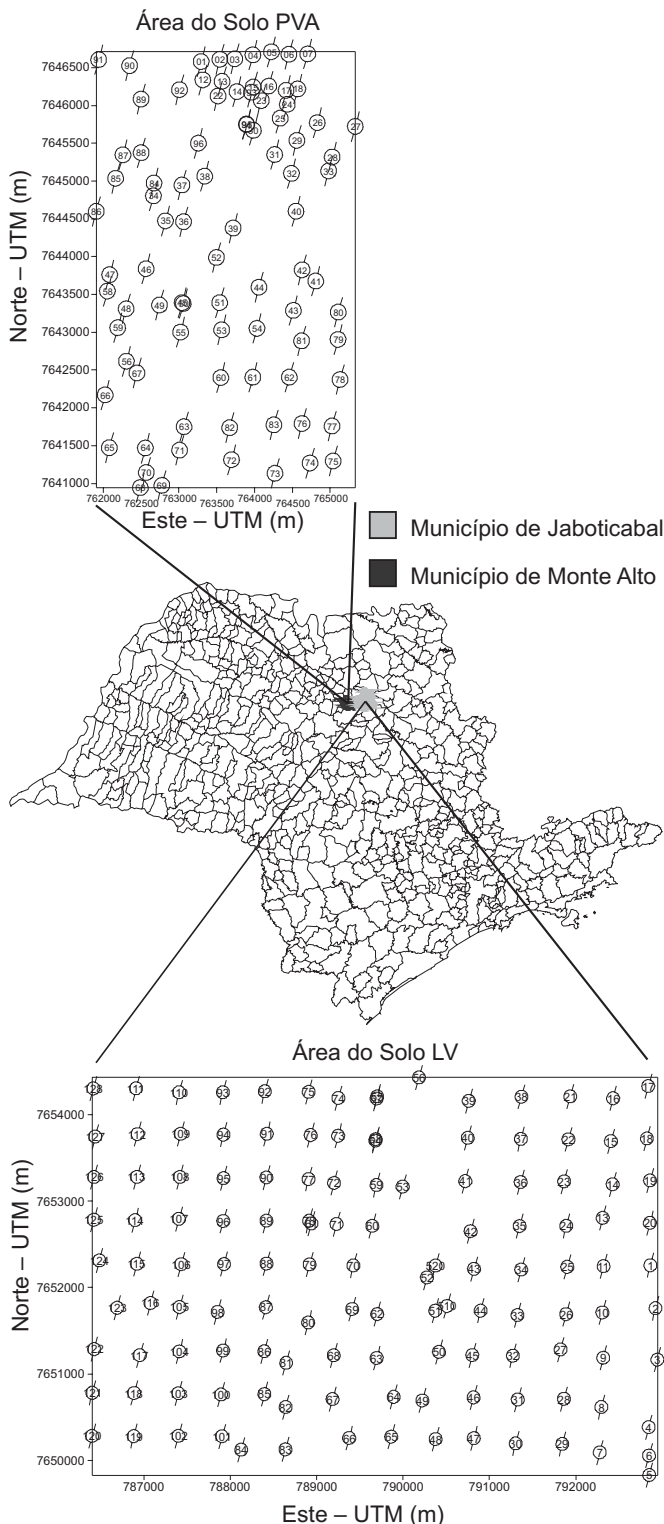


Figura 1. Localização das áreas de estudo, com representação da malha de amostragem do solo LV no município de Jaboticabal, SP, e do solo PVA, no município de Monte Alto, SP

método proposto por Day (1965). Para determinação da matéria orgânica, utilizou-se o método de van Raij et al. (1987).

Para o cálculo das perdas de solo, empregou-se a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), antes identificada pela sigla (A), neste trabalho passaremos a denominá-la pela sigla (PS). A EUPS é expressa por:

$$A \text{ ou } PS = R K L S C P \quad (1)$$

onde:

A ou PS – perda de solo calculada por unidade de área, $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

R – fator erosividade da chuva, $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$

K – fator erodibilidade do solo, $t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$

L – fator comprimento do declive, m

S – fator grau do declive, %

C – fator uso e manejo

P – fator prática conservacionista.

O fator erosividade (R) foi calculado por um programa “Sistema para o cálculo da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo”, desenvolvido por Lombardi Neto et al. (2000).

O fator erodibilidade do solo (K) foi determinado como:

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} P - 6,31175 \times 10^{-2} DMP + 1,039567 \times 10^{-2} R \quad (2)$$

em que: M = novo silte x (novo silte + nova areia); P – valor da permeabilidade; 1 – muito rápida; 2 – rápida; 3 – moderada; 4 – lenta; 5 – muito lenta; 6 – imperfeitamente drenado; DMP – diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm); R = nova areia x MO/100, de acordo com o método de Denardin (1990), modificado por Levy (1995).

Para o fator topográfico (LS), Bertoni & Lombardi Neto (1999) estabeleceram a equação:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (3)$$

em que:

LS – fator topográfico

C – comprimento de rampa, m

D – grau do declive, %

Para a obtenção dos valores de comprimento de rampa e classes de declividade utilizaram-se as cartas planialtimétricas na escala 1:50.000. Os valores de comprimento de rampa foram calculados medindo-se a distância entre o ponto e a rede de drenagem mais próxima, de acordo com a tendência da água. A declividade foi obtida por ábaco para cada ponto amostrado e as classes estabelecidas foram: A = 0 – 3%; B = 3 – 6%; C = 6 – 9%; D = 9 – 12%; E = 12 – 18%; F = > 18%; para o solo PVA, e A = 0 – 3%; B = 3 – 6%; C = 6 – 12%; D = 12 – 18%; E = >18% e para o solo LV.

O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo. Para a obtenção do valor C, as razões de perda de solo de cada período foram combinadas com dados relativos à chuva, isto é, em relação à porcentagem de distribuição do índice de erosão (EI) anual determinado para cada ponto. O uso foi estabelecido no campo no momento da amostragem, quando foi observada a cultura atual para cada ponto amostrado (Bertoni & Lombardi Neto, 1999).

Com a utilização da equação definida por Lagrotti (2000) estabeleceu-se o valor de P para o plantio, em nível em função da declividade:

$$P = 0,69947 - 0,08911 D + 0,01184 D^2 - 0,000335 D^3 \quad (4)$$

em que: D é a declividade, %.

O potencial natural de erosão foi calculado pela equação:

$$PNE = R K L S \quad (5)$$

em que:

PNE – potencial natural de erosão, t ha⁻¹ ano⁻¹

R – fator erosividade da chuva, MJ mm ha⁻¹ h⁻¹

K – fator erodibilidade do solo, t h MJ⁻¹ mm⁻¹

L – fator comprimento do declive, m

S – fator grau do declive, %

Sendo classificado como: muito baixo (< 250); baixo (250 – 500); moderado (500 – 750); alto (750 – 1000) e muito alto (> 1000) (Lagrotti, 2000).

As perdas de solo (PS) calculadas de acordo com a equação universal, foram classificadas como: muito baixa (< 10); baixa (10 – 20); moderada (20 – 50); alta (50 – 100) e muito alta (> 100) (Lagrotti, 2000).

O risco de erosão (RE) é a razão entre a perda de solo calculada pela perda tolerável para cada tipo de solo. Os limites de perda de solo toleráveis foram de 6,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ para os Argissolos e de 12,0 t ha⁻¹ ano⁻¹ para os Latossolos, de acordo com limites estabelecidos para solos do Estado de São Paulo, por Bertoni & Lombardi Neto (1999). Foram definidas as classes para o Risco de Erosão: muito baixa (< 1); baixa (1 – 2); moderada (2 – 5); alta (5 – 10) e muito alta (> 10), conforme Lagrotti (2000).

As análises estatísticas descritivas foram realizadas pelo programa SAS (Schlotzhauer & Littell, 1997). A análise da dependência espacial foi feita através do ajuste dos dados ao semivariograma experimental, de acordo com a teoria das variáveis regionalizadas, utilizando-se o programa GS⁺ v. 5.03 Beta (Robertson, 1998). Utilizaram-se lags com intervalos não uniformes para os ajustes aos modelos. Realizou-se a seleção dos modelos com base no melhor R² (coeficiente de determinação) e menor SQR (soma de quadrados reduzida). Após a obtenção dos gráficos de ajuste do modelo do semivariograma, fez-se a interpolação de dados (Krigagem), com vistas a definir o padrão espacial das variáveis estudadas, e exportados os arquivos para o programa SURFER v. 6.01 (Golden Software, 1995). Devido aos limites de perda de solo tolerável, foi incluída a classe limite de 6,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, para o solo PVA e de 12,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, para o solo LV nas classes dos mapas tridimensionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva (Tabela 1), demonstram que para todas as variáveis estudadas dos solos PVA e LV, o coeficiente de variação (CV) foi alto, de acordo com a classificação proposta por Wilding & Drees (1983), mas no solo PVA o valor foi maior, com CV de até 203,5% para PS e RE; em contrapartida, a área de LV apresentou CV em média de 86,4%, nas duas variáveis. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza (2001)

Tabela 1. Valores da estatística descritiva do potencial natural de erosão (PNE), da perda de solo (PS) ambos em ton ha⁻¹ ano⁻¹ e do risco de erosão (RE) para os dois solos estudados

Variáveis	Média	Mediana	Desvio Padrão	Assimetria ¹	Curtose ¹	CV%
PVA						
PNE	652,1	526,0	518,8	2,1	6,5	79
OS	59,5	18,6	121,1	4,3	22,4	203
RE	9,9	3,1	20,2	4,3	22,4	203
LV						
PNE	413,4	339,5	311,2	1,8	4,6	75
OS	15,7	11,8	13,6	1,9	4,6	86
RE	1,3	1,0	1,1	1,9	4,5	86

¹Assimetria e Curtose são coeficientes com valores adimensionais

que estudou Latossolo Vermelho em duas formas de relevo cultivado com cana-de-açúcar, na mesma região, e obteve CV de 77% para PNE e PS. Este comportamento mostra que tanto a perda de solo (PS) quanto o RE apresentaram grande variabilidade dos dados, e que o CV do PNE é mais baixo em comparação a PS e ao RE para os dois solos estudados devido, provavelmente, aos fatores de cobertura e práticas de manejo que podem provocar aumento na variação dos dados. Deve-se considerar, também, que na área do solo PVA há grande diversidade de espécies cultivadas, como frutíferas (citrus, manga e goiaba), pastagens degradadas e cana-de-açúcar, além de formas diferenciadas de manejo, sendo que a área do solo LV é cultivada com cana-de-açúcar em toda a sua extensão.

Os coeficientes de assimetria e curtose estimados, são bem distantes dos valores da distribuição normal (zero). A ocorrência de valores assimétricos para todas as variáveis estudadas nos dois solos, pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores atípicos na distribuição. Apenas as variáveis PNE e PS, do solo PVA, e PS, do solo LV, apresentaram distribuição lognormal. Salviano et al. (1998) afirmaram que, para a maioria das variáveis químicas estudadas, não há ajuste a uma distribuição normal, principalmente na camada superficial, pois esta camada é a mais afetada pelo processo de mecanização, manejo das culturas e erosão.

Os semivariogramas isotrópicos estimados para as variáveis estudadas, encontram-se na Figura 2. Todas as variáveis estudadas mostraram dependência espacial para os dois solos. Os semivariogramas do solo PVA ajustaram-se aos modelos exponencial para a variável PNE, e esférico para PS e RE. Os coeficientes de determinação (R²) foram 0,43; 0,95 e 0,95, respectivamente, para as variáveis PNE, PS e RE. Para o solo LV todas as variáveis se ajustaram ao modelo exponencial e tiveram R² iguais a 0,75. Os ajustes aos modelos esférico e exponencial estão de acordo com os resultados de várias pesquisas que indicam o modelo esférico como o de maior ocorrência para as variáveis do solo (Salviano et al., 1998; Souza, 2001). As variáveis estudadas apresentaram diferentes alcances para os dois solos, e não foi possível estabelecer um valor único de alcance para essas variáveis, na escala empregada.

A relação entre efeito pepita (C₀), que é a variabilidade

não explicada, e o patamar do semivariograma ($C_0 + C_1$) pode indicar o grau de dependência espacial das variáveis em estudo (Trangmar et al., 1985). Para analisar o grau de dependência espacial, Cambardella et al. (1994) estabeleceram uma classificação, sendo que para uma relação menor que 25% a dependência espacial é considerada forte; entre 25 e 75% média, e maior que 75%, fraca. A partir daí, constatou-se que o solo PVA mostrou dependência espacial moderada (PNE) e forte (PS e RE), e o solo LV indicou moderada dependência espacial para todas as variáveis estudadas; contudo, é importante ressaltar que todos os valores da relação estão próximos de 25%, ou seja, estão bem próximos da dependência forte.

Como as variáveis estudadas são consequência de combinações das variáveis do solo, cultura, manejo e fatores climáticos (erosividade da chuva), esta forte dependência espacial está associada a variações intrínsecas do conjunto de características do solo, principalmente as características ligadas à suscetibilidade a erosão, tais como textura, permeabilidade e estrutura, enquanto as que apresentam fraca dependência espacial são influenciadas por propriedades extrínsecas como: aplicações de fertilizantes e cultivo (Cambardella et al., 1994).

Quando analisou a variância da estimativa, Vieira (2000) afirmou que esta pode ser comparada com a variância dos dados medidos. Assim, quanto menor for o efeito pepita do

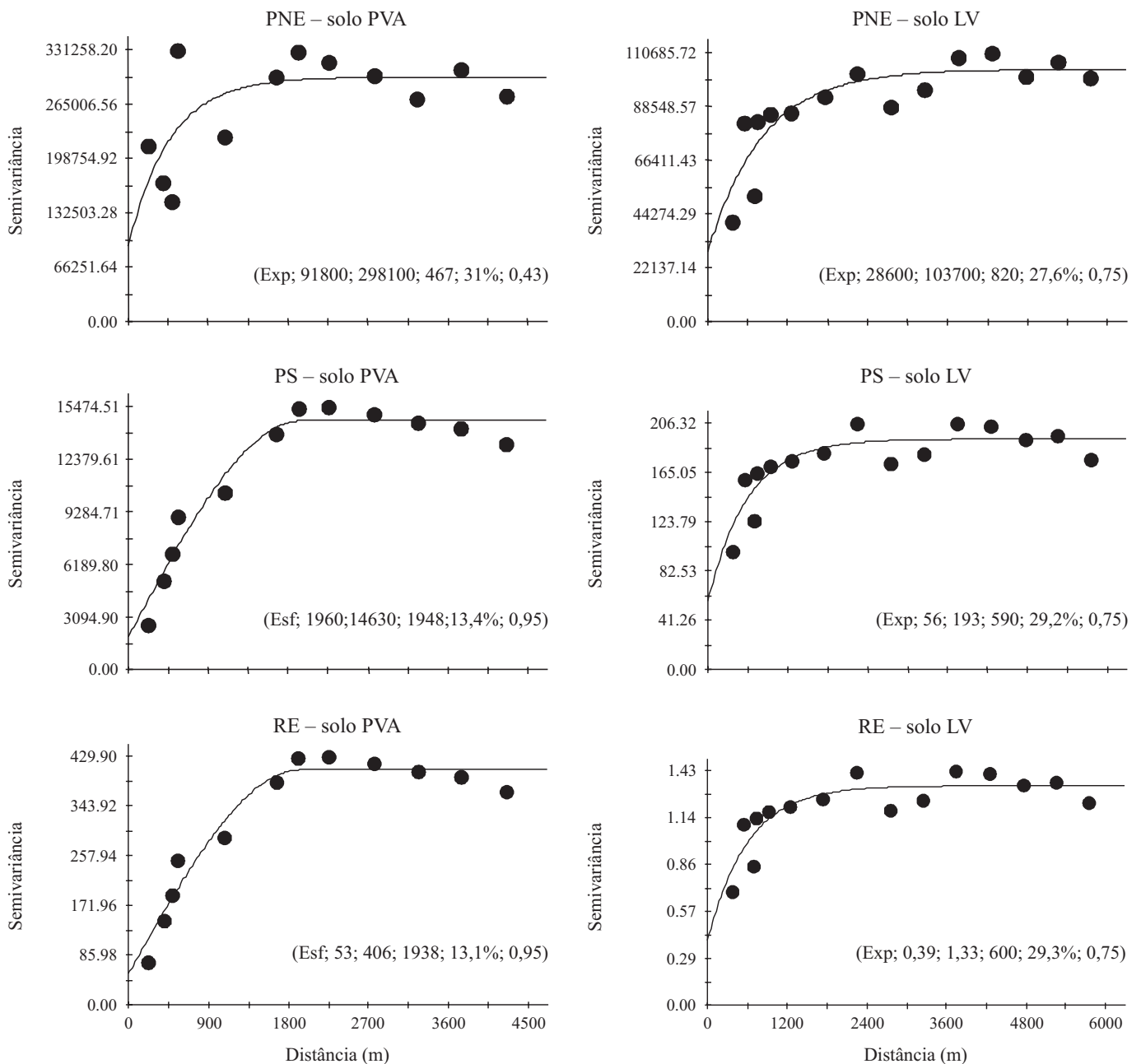


Figura 2. Semivariogramas isotrópicos para a área estudada do solo PVA e do solo LV. (entre parênteses; modelo (Exp = exponencial; Esf = esférico); variância pepita; patamar; alcance; relação $(C_0/(C_0 + C_1))$ em %; R^2 = coeficiente de determinação). PNE –Potencial Natural de Erosão, PS – Perda do Solo, RE – Risco de Erosão

semivariograma, menor será a variância da estimativa, isto é, quanto maior for a diferença do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma, maior também será a continuidade do fenômeno, menor a variância estimada ou maior a confiança que se pode ter na estimativa. Parte desta descontinuidade pode ser devida a erros de medição (Isaaks & Srivastava, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela escala de amostragem. Considerando-se a semivariância estimada das variáveis, ou seja, os valores dos patamares, pode-se notar que para todas as variáveis estudadas do solo PVA, apresentou

os maiores valores (Figura 2); isto demonstra que a variabilidade espacial deste solo é maior que do solo LV, o que é corroborado com os diferentes fatores de formação dos solos, materiais de origem, tempo de exposição dos materiais de origem e relevo, os quais podem influenciar o processo de erosão.

O padrão da variabilidade espacial das variáveis estudadas é apresentado nos mapas tridimensionais de distribuição espacial, na Figura 3. Analisando-se a porcentagem de ocorrência dos pontos amostrados do solo PVA (Tabela 2) é possível observar que o PNE ocorre em 46,6% dos pontos amostrados na classe muito baixa e baixa, e alto e muito alto em 34% dos

Potencial Natural de Erosão (PNE)

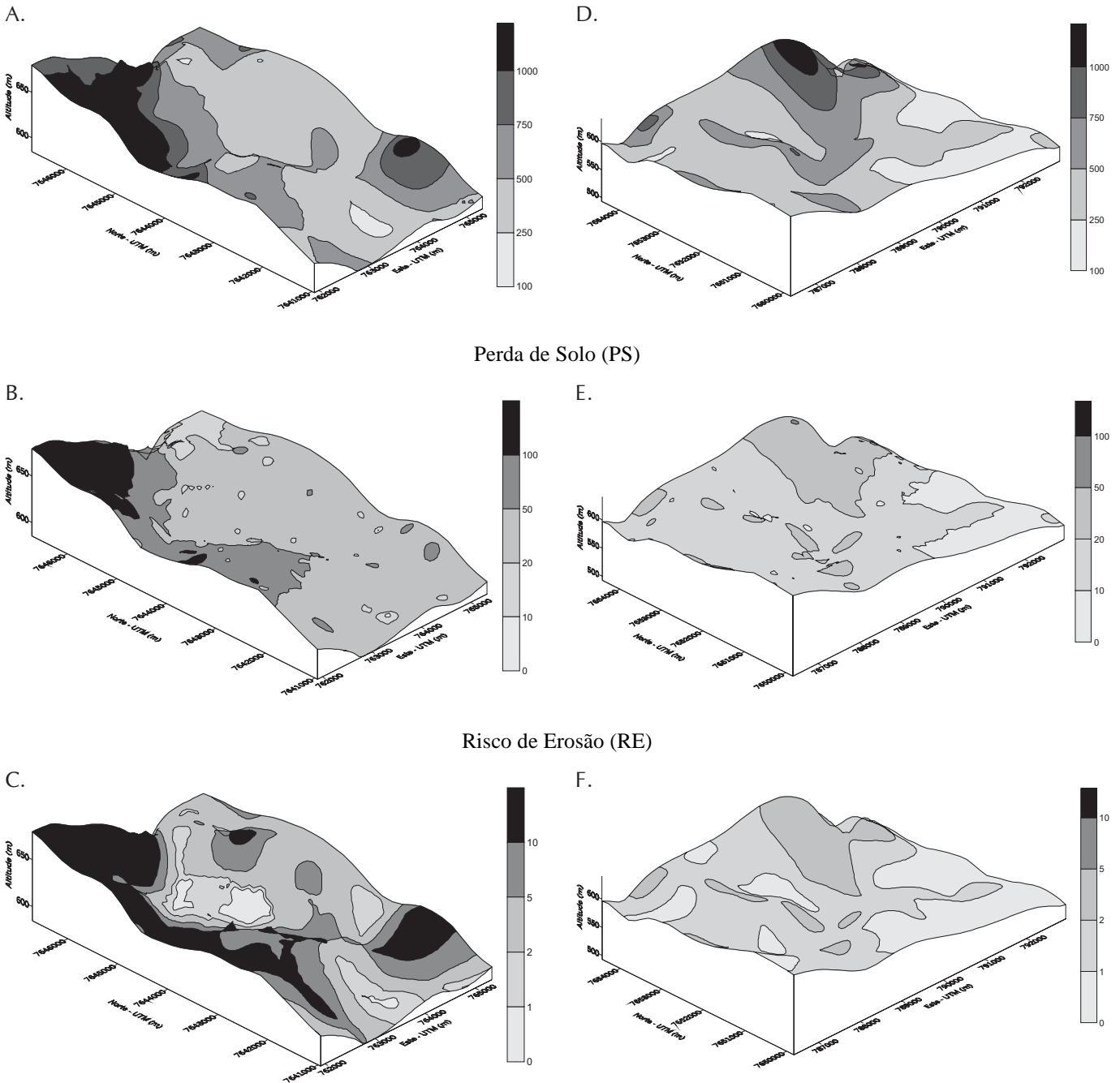


Figura 3. Mapas tridimensionais das variáveis estudadas da área do solo PVA (A, B e C) e do solo LV (D, E e F), onde PNE e PS (ton ha⁻¹ ano⁻¹) e RE (adimensional)

Tabela 2. Percentagem de ocorrência dos valores do potencial natural de erosão (PNE), da perda de solo (A) e do risco de erosão (RE), para os dois solos estudados

PNE	PVA		PS	LV		RE	PVA		LV
		%			%			%	
< 250	23,9	36,7	< 10	39,8	44,5	< 1	21,6	51,6	
250 a 500	22,7	28,9	10 a 20	12,5	30,5	1 a 2	20,5	32,0	
500 a 750	19,3	25,0	20 a 50	19,3	21,9	2 a 5	20,5	14,8	
750 a 1000	17,0	3,9	50 a 100	13,6	3,1	5 a 10	13,6	1,6	
> 1000	17,0	5,5	> 100	14,8	0,0	> 10	23,9	0,0	

pontos amostrados, sendo que esses valores estão localizados nas glebas com altitude acima de 600 m (Figura 3A); isto permite inferir que o PNE deste solo está sendo mais influenciado pelo fator topográfico. Avaliando-se PS observa-se que em 52,3% dos pontos amostrados as perdas são classificadas como muito baixas e baixas, e em 28,4% dos pontos amostrados, em altas perdas; entretanto, quando se fez a estimativa em locais não amostrados, empregando-se a krigagem, observou-se que uma área considerável apresenta moderada perda de solo (20 a 50 t ha⁻¹ ano⁻¹) (Figura 3B).

Quanto à variável RE, em 37,5% dos pontos amostrados o risco é alto e muito alto. No mapa tridimensional pode-se identificar áreas consideráveis com possíveis ocorrências de risco de erosão muito alto (Figura 3C); assim, há um índice de que os atuais usos do solo, ou seja, as culturas e/ou as práticas de manejo estão contribuindo para o aumento das perdas de solo, e estas representam alto risco de erosão para tal tipo de solo, pois estão acima dos limites toleráveis. Salviano et al.(1998) afirmam que a erosão acelerada do solo é um fator que pode contribuir para aumentar a variabilidade espacial, ou seja, erosões pretéritas podem ter influenciado na atual variabilidade espacial deste solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Lagrotti (2000), indicando que solos PVA têm alto RE, e que nas suas áreas de ocorrência prevalecem condições críticas para o controle da erosão, as quais são geralmente representadas por relevos mais movimentados com utilização inadequada; desta forma, para as glebas com altos riscos de erosão, deve-se fazer um planejamento conservacionista, objetivando-se reduzir os problemas apresentados por essas áreas.

Avaliando-se a percentagem de ocorrência dos pontos amostrados (Tabela 2) e os mapas das mesmas variáveis calculadas para o solo LV (Figura 3D, E e F), observa-se que o comportamento deste solo é diferente do solo PVA. O PNE apresenta-se alto e muito alto apenas em 9,4% dos pontos amostrados, os quais são os locais de maiores declividades (Figura 3D). A perda de solo apresenta-se baixa e muito baixa em 75% dos pontos amostrados. O RE é baixo e muito baixo em 83,6% dos pontos amostrados, e não foi verificada a ocorrência de pontos na classe muito alta, seja para PS ou para o RE (Figura 3E e F).

Os altos valores da variável PNE ocorreram em pequena parte da área, apresentando-se com maior expressão na classe baixa; o mesmo comportamento ocorreu com as variáveis PS e o RE em toda a área, com valores nas classes moderadas ou baixas e muito baixas, indicando que para este tipo de solo o uso atual está com menores riscos de perda de solo,

isto é, a cana-de-açúcar está sendo manejada de maneira mais adequada, pois a área apresenta relevo mais suave que o do solo PVA, uma vez que o solo LV tolera maiores perdas de solo por ano. Nos locais em que os problemas de erosão do LV são maiores, estes podem ser solucionados com mudanças de manejo ou com introdução de práticas conservacionistas mais simples.

CONCLUSÕES

1. Todas as variáveis estudadas apresentaram dependência espacial.
2. A área de Argissolo (PVA) possui glebas com PNE, PS e RE altos, que são mais expressivas devido ao relevo ondulado, uso atual e manejo do solo.
3. A área com Latossolo (LV) o PNE, a PS e o RE são menos expressivos, em virtude do relevo mais suave, da utilização de práticas de manejo e uso atual mais adequados.

LITERATURA CITADA

- Beckett, P. H. T.; Webster, R. Soil variability: a review. Soils and fertilizers, Farnham Royal, University of California, Santa Barbara, v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- Bertol, I.; Almeida, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.24, n.4, p.657-668, 2000.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. 4.ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.
- Bueno, C. R. P. Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP, com vistas ao planejamento ambiental. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1994. 137p. Tese Doutorado
- Burrough, P. A.; Varekamp, C.; Skidmore, A. K. Using public domain geostatistical and GIS software for spatial interpolation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Maryland, v.62, n.7, p.845-854, 1996.
- 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 America Journal, Madison, v.58, n.4, p.1501-1511, 1994.
- Castro, A. G.; Valério Filho, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.21, n.2, p.419-426, 1997.

- Clark, I. Practical geostatistics. London: Applied Science, 1979. 151p.
- Day, P. R. Particle fraction and particle fractination and particle-size analysis. In: Black, C. A. Methods of soil analysis. Madison: American Agronomy, 1965. v.1, n.2, p.545-566.
- Denardin, J. E. Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba: USP, 1990. 114p. Tese Doutorado
- Golden Software. Surfer for windows: release 6.01. Surface Mapping System. Golden, CO, 1995 (Programa computacional).
- Goovaerts, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 483p.
- Issaks, E. H.; Srivastava, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 560p.
- Lagrotti, C. A. A. Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim, SP: Estudo de caso na microbacia hidrográfica do córrego do Jardim. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2000. 115p. Tese Doutorado
- Levy, M. C. T. C. Avaliação do cenário da produção agrícola, visando a suscetibilidade do uso das terras de Piracicaba (SP). Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 120p. Dissertação Mestrado
- Lombardi Neto, F.; Pruski, F. F.; Teixeira, A. de F. Sistema para o cálculo da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. Viçosa, 2000. CD-Rom.
- Nascimento, P. C.; Lombardi Neto, F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23, n.1, p.121-125, 1999.
- Nogueira, F. P. Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: Proposta Metodológica. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2000. 84p. Tese Doutorado
- Nyakatawa, E. Z.; Reddy, K. C.; Lemunyonj, L. Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production systems using the revised universal soil loss equation (RUSLE). Soil & Tillage Research, Holanda, v.57, n.1, p.213-224, 2001.
- Renschler, C. S.; Manaerts, C.; Diekkrüger, B. Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk – rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. Catena, v.34, n.1, p.209–225, 1999.
- Robertson, G. P. Geostatistics for the environmental sciences (GS+) versão 5.03 Beta. Plainwell: Gamma Design Software. 1998, 152p. Programa Computacional
- Salviano, A. A. C.; Vieira, S. R. Sparovek, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.
- Schlotzhauer, S. D.; Littell, R. C. SAS System for elementary statistical analysis. 2. ed. Cary: SAS Institute Inc, 1997. 456p.
- Souza, C. K. Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de Latossolos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal, SP. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2001. 186p. Dissertação Mestrado
- Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advance Agronomy, Orlando, v.38, n.1, p.45-93, 1985.
- van Raij, B.; Quaggio, J. A.; Cantarella, H.; Ferreira, M. E.; Lopes, A.S.; Bataglia, O. A. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987, 170p.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvares, V. H.; Schaeffer, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- Vieira, S. R.; Hatfield, J. L.; Nielsen, D. R.; Biggar, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, Bekerly, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- Wilding, L. P.; Drees, L. R. Spatial variability and pedology. In: Pedogenesis and soil taxonomy: concepts and interactions. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington: Department of Agriculture, 1978. 58p. Agriculture Handbook, 537.