



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DO RELEVO E ERODIBILIDADE NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM ÁREA DEGRADADA DO
MUNICÍPIO DE GILBUÉS, PI**

SÁVIO BRAGA CASTELO BRANCO

TERESINA – PIAUÍ – BRASIL
SETEMBRO/2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DO RELEVO E ERODIBILIDADE NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM ÁREA DEGRADADA DO
MUNICÍPIO DE GILBUÉS, PI**

SÁVIO BRAGA CASTELO BRANCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, para a obtenção do Título de Mestre em Agronomia, na área de concentração: Produção Vegetal.

TERESINA – PIAUÍ – BRASIL
SETEMBRO/2011

FICHA CATALOGRAFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

C348i Castelo Branco, Sávio Braga
Influência do relevo e erodibilidade nos atributos químicos de um argissolo vermelho-amarelo em área degradada do município de Gilbués, PI / Sávio Braga Castelo Branco_ Teresina: 2011.
52 fls.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) UFPI, 2011

Orientação: Prof. Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

1.Solo - Análises.2. Variabilidade Espacial. 3. Paisagem
I. Título

C D D 624.151 4

**INFLUÊNCIA DO RELEVO E ERODIBILIDADE NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM ÁREA
DEGRADADA DO MUNICÍPIO DE GILBUÉS, PI.**

SÁVIO BRAGA CASTELO BRANCO

Engenharia Agrônômica

Aprovado em 02 / 09 / 2014

Comissão Julgadora:



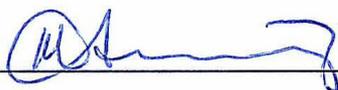
Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano - Presidente
CCA/UFPI



Dr. Sammy Sidney Rocha Matias - Titular
UESPI/Corrente



Dr. Francisco Edinaldo Pinto Mousinho – Titular
CAT/CCA/UFPI



Dr. Max César de Araújo – Titular
CCA/UFPI

Em estado enyolvida
pelo AMOR e PODER de
Deus.

Rita Nair Braga Castelo Branco.
Filosofa e Matemática

DEDICO

À minha família, João e Rita (*in memoriam*), João, Antônio, Sila, Concita, Lilia, Leila, Ana (*in memoriam*); Nildes (*in memoriam*), José Meton, Socorro, Meton Filho (*in memoriam*), Jesus.

OFEREÇO

À minha esposa Mônica, minhas filhas Maria Leonildes, Maria do Socorro, Maria Isabel,
meu neto José Meton Bisneto, meu genro Thiago.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, única fonte de sabedoria;

Ao Professor Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano, pela orientação, dedicação, amizade e pela paciência e motivação para o engrandecimento pessoal e profissional;

Ao Dr. Hélio Lima Santos, pela dedicação, incentivo, orientação e amizade;

Ao Professor Dr. Luis Evaldo Moura Pádua, pela forma séria e abnegada que trata o Programa de Pós-Graduação;

Ao Professor Dr. José Marques Junior, pela colaboração;

Ao Professor Dr. José Machado Moita Neto, pela dedicação e disponibilidade;

Aos Professores do Mestrado em Agronomia;

Aos funcionários que servem ao PPGA, em especial ao Vicente, pela forma amigável com que trata as pessoas;

Aos colegas de Mestrado, pelos bons momentos de convivência;

Aos amigos Thiago Ibiapina, Lílian Melo, Adailton Barbosa, Iúna Ribeiro Gonçalves, Lusiene Barbosa, sempre presentes na trajetória;

Aos Professores da minha Graduação, onde tudo começou, em especial, ao Professor Luiz Gonzaga Carneiro e José Carvalho Cordeiro (Primeiro Professor da área de Solos);

Aos alunos de Agronomia Laércio, Adebai e Mara;

À minha família, sempre presente com tolerância e incentivo;

Ao Felipe Monteiro pela valiosa ajuda na elaboração dos mapas.

Ao Francisco de Assis de Sousa Almeida (Franco da EMATER-PI) e Francisco Chaves Cavalcante pelo incentivo e apoio.

Ao Dr. Henrimar Rocha e sua equipe pelo incentivo e apoio;

À equipe do LAPETRO.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Desertificação em Gilbués	16
2.2 Variabilidade espacial de atributos do solo	18
2.3 Relação entre altitude e formas de relevo com atributos do solo.....	23
2.4 Erodibilidade com atributos do solo	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	28
3.2 Análises laboratoriais	29
3.3 Análises estatísticas	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5. CONCLUSÕES	41
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estatística descritiva para os atributos P (mg dm^{-3}), MO (g kg^{-1}), K($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Altitude (m) e Erodibilidade ($\text{t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h ha}$) a profundidade de 0,00 – 0,20 m	31
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	32
Tabela 3. Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para os atributos Erodibilidade ($\text{t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h ha}$), MO (g kg^{-1}), pH (CaCl_2), P (mg dm^{-3}), K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de relevo da área em estudo	28
Figura 2. Correlação dos atributos Relevo com Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) com relevo na profundidade de 0–0,20 m.....	33
Figura 3. Correlação dos atributos Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$) com MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) com relevo na profundidade de 0–0,20 m.....	35
Figura 4. Semivariogramas dos atributos, Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.	39
Figura 5. Mapas da distribuição espacial dos atributos, Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.	40

INFLUÊNCIA DO RELEVO E ERODIBILIDADE NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO EM ÁREA DEGRADADA DO MUNICÍPIO DE GILBUÉS, PI

Autor: Sávio Braga Castelo Branco

Orientador: Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

RESUMO

A degradação do solo pode ser definida como um processo que reduz a capacidade do solo para produzir bens ou serviços. Com isso, o objetivo deste trabalho foi estudar a influência do relevo e erodibilidade na ocorrência 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 em 10 x 10m, sendo coletados 121 pontos amostrais nos cruzamentos, na profundidade de 0-0,20 m. Cada ponto foi georeferenciado como forma de demarcar a área e ser realizado o mapa de relevo. Nas amostras foram determinados: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio. A estimativa da erodibilidade foi calculada com base na equação Universal de perda de solo (EUPS). Os resultados foram analisados pela estatísticas descritiva, geoestatística e a correlação por Person. Os resultados mostraram normalidade na estatística descritiva, correlação com a maioria dos atributos do solo, grau de dependência espacial moderado entre 25 e 75%, alcance dentro da escala. Com base no experimento e nos resultados obtidos conclui-se: todos os atributos do solo apresentaram variabilidade espacial, o moderado grau de heterogeneidade na maioria dos atributos dos químicos do solo evidenciou o reflexo sofrido pela descontinuidade do relevo na paisagem, mas, revela a existência de correlação entre os pontos amostrados e, a erodibilidade na área apresenta forte grau de dependência espacial.

Palavras-chave: paisagem, variabilidade espacial, estatística

INFLUENCE OF RELIEF AND ERODIBILITY IN THE EVENT OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A ACRISOL DEGRADED AREA IN THE MUNICIPALITY OF GILBUÉS, PI

Author: Sávio Braga Castelo Branco

Leader: Dr. Adeodato Ari Cavalcante Salviano

ABSTRACT

The degradation of the soil can be defined as a process that reduces the capacity of the soil to produce goods or services. With that, the objective of this work was to study the influence of the relief and erodibilidade in the occurrence of the chemical attributes of a red-yellow Acrisol in degraded area of the municipal district of Gilbués, PI. In the chosen area a mesh of sampling of a hectare was demarcated, with points spaced in 10 x 10m, being collected 121 samples in the crossings, in the depth of 0-0,20 m. Each point was geographical reference as form of demarcating the area and the relief map to be accomplished. In the samples they were certain: pH, organic matter, match, potassium, calcium, magnesium, hydrogen + aluminum. The estimate of the erosion was calculated with base in the Universal equation of soil loss (EUPS). The results were in the analysis for the descriptive statistics, geoestatistic and the correlation for Person. The results showed normality in the descriptive statistics, correlation with most of the attributes of the soil, degree of space dependence moderated between 25 and 75%, reach inside of the scale. With base in the experiment and in the obtained results it is ended: all the attributes of the soil presented space variability, the moderate heterogeneity degree in most of the chemists' of the soil attributes evidenced the suffered reflex for the no continuous of the relief in the landscape, but, he/she reveals the correlation existence among the samples and, the erosion in the area presents strong degree of space dependence

Key work: landscape, space variability, statistics

1. INTRODUÇÃO

Com a modernização da agricultura, o incremento tecnológico está cada vez mais presente e se posiciona diante de problemas que, urgentemente, precisam de soluções.

Numa paisagem natural, os solos apresentam uma ampla variação de atributos lateral e verticalmente resultantes da superposição, tanto de fatores de formação do solo quanto de outros fatores modificadores da paisagem ao longo do tempo. Neste sentido, surgem pesquisas que procuram aliar, fatores de produção, produtividade, uso indiscriminado da terra, manejo e conservação do solo, fatores erosivos, dentro de um contexto e diante de hipóteses sobre a interferência da altitude no carreamento de solo com influência significativa no micro e macro relevo.

Com a ocorrência da degradação do solo nos últimos anos, ocorreu à diminuição de áreas para produção de alimentos e juntamente o crescimento da população, que nas últimas décadas tem aumentado a demanda por alimentos e fibras, elevando a pressão sobre o uso da terra nas áreas agrícolas. O preparo inadequado ou excessivo do solo, com aplicação errônea de práticas agrícolas, tem favorecido para as culturas e solo a ocorrência da erosão, um importante fator de degradação das terras agrícolas e do meio ambiente no Brasil e no Mundo.

A degradação do solo pode ser definida como um processo que reduz a capacidade do solo para produzir bens ou serviços. Um solo é considerado degradado, quando os processos naturais atuantes diminuam a quantidade e qualidade da produção de biomassa.

Na região de Gilbués, no sudoeste do Estado do Piauí, ocorre um tipo de degradação que desperta o interesse de pesquisadores. Frequentemente os problemas ambientais de Gilbués são destaques em noticiários de abrangência nacional, sendo comum à referência à região como área desertificada. A extensão e a intensidade da degradação ali verificada são de impressionar, sobretudo ao se atravessar a região no período seco, maio a outubro, quando a erosão eólica predomina na mobilização do material, emprestando à paisagem fisionomia semelhante à de desertos, situação que compromete fortemente sua economia e o meio ambiente.

O estudo da correlação entre a altitude da área na paisagem e a erodibilidade do solo diretamente relacionados com a ocorrência dos atributos do solo, objetiva particularizar cada elemento, conhecer seu domínio na área e, posteriormente quantificar os teores desses elementos. Vários trabalhos mostram que as propriedades do solo e atributos das culturas não variam ao acaso, mas apresenta algum tipo de correlação ou dependência espacial, o que se verifica quando se correlaciona a altitude, erodibilidade e atributos químicos do solo.

São necessárias pesquisas fundamentadas em metodologias modernas e de uso de estatísticas, que possam evidenciar aspectos de correlação voltados para as propriedades do solo, manejo e conservação, a fim de dar suporte técnico à agricultura moderna, de precisão e ao combate aos fatores de erosão do solo.

O uso das ferramentas modernas como: variabilidade espacial dos atributos do solo, estatística descritiva, correlação linear, modelos diretos ou indiretos de predição da erodibilidade, influência do relevo na modificação da paisagem, além dos métodos alternativos para a avaliação dos atributos do solo (reflectância e suscetibilidade magnética) por serem precisos e não poluentes para o meio ambiente, possibilitam a aplicação em estudos de áreas em processo de degradação.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da do relevo e erodibilidade na ocorrência dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em área degradada do município de Gilbués, Piauí.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Desertificação em Gilbués

O solo é base da produção de alimentos e um dos fatores mais importantes para o meio ambiente. Para a proteção dos recursos naturais e a segurança alimentar da humanidade, é imprescindível assegurar um solo não erodido, garantindo a sustentabilidade da produção agrícola (DERPSCH, 1997). O uso sustentável do solo é aquele que combina utilização com conservação dos recursos, dos quais depende a produção, permitindo desta maneira a manutenção da produtividade (YOUNG, 1989; LAL, 1994).

A desertificação é causada por uma interação complexa de fatores físicos, biológicos, políticos, sociais, culturais e econômicos. O manejo inadequado dos recursos, que descobrem os solos e os expõem à erosão e a adoção de tecnologias inapropriadas no manejo dos solos, que comprometem a produção agrícola, são alguns dos fatores que levam ao comprometimento dos serviços ambientais, o que afeta a estrutura e o funcionamento do ecossistema (IICA, 2010).

Nos primeiros estudos sobre desertificação no Nordeste brasileiro, Vasconcelos Sobrinho (1974) ao trabalhar com indicadores biológicos, apontou, entre outras, a região de Gilbués como um núcleo de desertificação, denominação proposta por ele para indicar as áreas mais atingidas pelo processo. Como afirmam Sampaio et al. (2003), o Ministério do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos reconhece a região de Gilbués como um dos principais núcleos de desertificação do Nordeste brasileiro.

Os danos ambientais produzidos pelo processo de desertificação resultam em erosão dos solos, empobrecimento da caatinga e degradação dos recursos hídricos, com efeitos diretos sobre a qualidade de vida da população (SUERTEGARY, 1996).

A identificação de áreas em processo de degradação tem sido um tema polêmico e amplamente discutido mediante o atual contexto de preocupação com os impactos ambientais gerados por ações antrópicas e a intensa produção científica nessa área motivada pela popularização do uso de geotecnologias. O reflexo negativo desse cenário, são as lacunas abertas em forma de problemas inexplorados ou mal

discutidos, como a desertificação em Gilbués-PI que abriga um Núcleo de Estudos de Desertificação abrangendo cerca de quinze municípios (SILVA, 2008).

A erosão é o processo pelo qual há remoção de uma massa de solo de um local, seu transporte e conseqüente deposição em outros locais (LAFLEN e ROOSE, 1997). Hudson (1981) se refere à erosão geológica ou erosão natural, como aquela que resulta apenas das forças da natureza, e à erosão acelerada quando o processo é influenciado pela ação antrópica.

Assim, a literatura cita vários tipos de erosão dentre estas a hídrica, laminar, voçorocas, entre outras. Na erosão hídrica, o impacto das gotas de chuva ou da água de irrigação no solo exposto, causa desagregação na sua estrutura e o desprendimento das partículas menores que ao serem transportadas, carregam nutrientes e defensivos a elas adsorvidos e também matéria orgânica. No local de produção, nos casos de erosão mais severa, sementes, mudas e até mesmo plantas em estágio inicial de desenvolvimento podem ser arrancadas, devendo ser replantadas. Como exemplo de erosão mais severa, cita-se a erosão do tipo voçoroca, que é a que mais chama atenção no processo de degradação do solo no núcleo de desertificação de Gilbués (SALVIANO et al., 2010). Em conjunto, essas perdas levam ao empobrecimento do solo, diminuindo sua capacidade de produzir boas safras e ao aumento dos custos de produção, o que condiciona menores rendimentos para o produtor rural. A erosão laminar, também denominada areolar ou entresulcos, remove seletivamente a fração mais fina do solo rico em nutrientes. Resk et al. (1980) constataram que os teores dos elementos do solo arrastados pela enxurrada foram superiores àqueles da composição original deste solo caracterizado à profundidade de 0 – 20 cm.

Sparovek et al. (1993), num experimento em casa de vegetação, com arroz cultivado em vasos com terra, retirada de várias profundidades de perfis de diferentes tipos de solo, constataram a queda de rendimento com o aumento da profundidade de remoção, indicando que a erosão desses solos é prejudicial à sua produtividade potencial.

Pesquisando a influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta, Hernani et al. (1987), constataram que a limpeza total da superfície do terreno com trator de esteira e lâmina reta (destocado) foi o que mais expôs o solo a perdas de terra e água por erosão, e que a queima dos resíduos da floresta não produziu efeitos adicionais sobre as perdas em nutrientes, enquanto as perdas de terra e água foram sensivelmente menores que no terreno destocado.

Um estudo comparativo no período de 1976 a 1980 das perdas de solo por erosão sob chuva natural com três formas de manejo da palhada de trigo e soja, foi observado perdas médias de solo de 12,8 Mg ha⁻¹, 3,70 Mg ha⁻¹ e 1,10 Mg ha⁻¹, respectivamente para plantio convencional com queima da palha, plantio convencional com incorporação da palha e plantio direto (PAULA et al., 1998).

Sob condições de forte erosividade das chuvas concentradas no estágio de preparo do solo e plantio, num terreno com 3 % de declividade, Melo Filho & Silva (1993), verificaram reduções de 90 % das perdas de terra e de 21 % nas perdas de água no sistema plantio direto em relação ao plantio convencional. Hernani et al. (1999), ao compararem sistemas de manejo do solo, constataram que o sistema plantio direto foi o mais eficaz no controle da erosão, com as menores quantidades de perdas totais de nutrientes e de matéria orgânica.

Schick et al. (2000) constataram que o sistema plantio direto foi mais eficaz no controle das perdas de solo, que foram 68 % menores em relação às perdas oriundas no preparo com uma aração seguida de duas gradagens e 52 % menores em relação às perdas ocorridas no preparo com uma escarificação seguida de uma gradagem, respectivamente. Os autores constataram ainda que as perdas de água seguem a mesma tendência sendo, no entanto, menos influenciadas do que as perdas de solo.

2.2 Variabilidade espacial de atributos de solo

Novas tecnologias identificam a importância de estudar a variação espacial e temporal de atributos do solo e altitude, com efeitos diretos na produção, entretanto, atualmente pouco tem sido as pesquisas que relacionam estas duas variáveis. Neste sentido pode-se dizer que nas inúmeras vantagens desses estudos, pois com o conhecimento da variação dos atributos que ocorre nos solos pode-se otimizar o aproveitamento das culturas diminuindo assim custos e melhorando o desempenho da produção.

A variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo é especificamente importante em áreas submetidas a diferentes tipos de manejo. Sendo assim, a análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produção das culturas (TRANGMAR et al., 1985),

como também para aumentar a possibilidade de se estimarem respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas conservacionista (OVALLES & REY, 1994).

A variabilidade espacial dos solos é resultado de processos pedogenéticos podendo ser demonstrada por resultados dos levantamentos e análises, bem como pelas diferenças encontradas nas produções das plantas. Essa é preocupação antiga e ainda hoje, diversos autores se dedicam a pesquisar os efeitos dessa variação (CARVALHO et al., 2003; SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2004), já que esta pode afetar decisivamente os resultados em pesquisas.

O desenvolvimento de estratégias de amostragem permite mapear a variabilidade espacial do solo e gerar mapas de precisão, contribuindo para o entendimento da relação solo/produktividade das culturas. A identificação da variação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo possibilita uma melhor compreensão do real estado do solo permitindo o conhecimento de suas interações, entretanto, deve-se destacar a relação desses elementos com as culturas verificando a extensão e a intensidade da dependência espacial desta variação, isolada ou em conjunto com outros parâmetros.

O planejamento e o gerenciamento de áreas agrícolas envolvem práticas de manejo das culturas que, por sua vez, exigem um conhecimento simultâneo de atributos do solo, do relevo e do rendimento dos talhões. As técnicas da geoestatística, da estatística clássica e a indução por árvore de decisão possibilita o armazenamento, o tratamento, a sobreposição, a análise e a visualização, dessas informações espaciais, sob a forma de mapas digitais, permitindo tomadas de decisões rápidas, ágeis e com maior eficiência, o que minimizando custos, otimiza os recursos e as atividades produtivas acarretando ganho de produtividade e maximização dos lucros.

Várias são as formas de investigação das variabilidades dos fatores que interferem na produção, destacando-se amostragens de solo em malha, mapeamento de plantas daninhas, condutividade elétricas do solo, suscetibilidade magnética, sendo a forma mais difundida o mapeamento da produtividade por ocasião da colheita, pois esta é dita como a expressão biológica dos fatores envolvidos no processo de produtividade e é considerado uma das fases que representa maior facilidade de execução (BALASTREIRE, 1998).

Considerando que os fenômenos naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios, faz-se necessário utilizar ferramentas matemáticas que

permitem estudar as duas características essenciais das variáveis aleatórias, ou seja, o aspecto aleatório e o espacial. Para este estudo as técnicas da geoestatística, empregados na agricultura de precisão, permitem estudar a dependência espacial de atributos do solo e os relativos às plantas considerando a distância entre as amostras, permitindo a interpretação e projeção dos resultados com base na estrutura da sua variabilidade natural (VIEIRA, 2000 e ORTIZ, 2003).

Neste sentido, a variável aleatória é uma medida de particularidades que tende a variar de acordo com alguma lei de distribuição de probabilidade, sendo caracterizada por parâmetros da distribuição, tais como média e variância da distribuição normal. A variável aleatória, quando assume diferentes valores em função da localização onde é amostrada no campo, caracteriza-se uma variável regionalizada e. Considerando-se o conjunto de todas as possíveis realizações da variável aleatória, em todos os locais do campo, tem-se uma função aleatória (TRANGMAR et al., 1985).

Cavalcante et al. (2007) 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 observou 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, portanto, pode-se verificar que o efeito da variabilidade dos atributos do solo podem alterar a capacidade produtiva dos solos.

Com o objetivo de analisar a variabilidade espacial dos atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com pastagem de *Brachiaria decumbens*, em Alegre – Espírito Santo, Souza et al. (2008), observou que os atributos pH, P, H+Al e m% apresentaram forte dependência espacial e os demais, moderada dependência. Todos os atributos estudados apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento com técnicas de geoestatística.

Lima et al. (2010), estudando avaliação da variabilidade espacial dos atributos químicos e da produção de pimenta-do-reino obteve, que os atributos pH, P, K, Al, H+Al e produção apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento com a utilização de técnicas geoestatísticas. Os atributos químicos apresentaram valores baixos de alcance, com exceção da variável fósforo, evidenciando a baixa continuidade espacial do solo sob pimenta-do-reino.

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial de atributos do solo e fatores de erosão em diferentes pedoformas sob cultivo de cana-de-açúcar em Campinas, Sanchez et al. (2009), verificou que as maiores perdas de solo, risco de erosão e potencial natural de erosão e menor espessura do solo ocorreram na pedoforma convexa, indicando forte dependência espacial com a forma do relevo. A pedoforma côncava proporcionou maior variabilidade espacial, demonstrando que a forma do relevo condiciona padrões diferenciados de variabilidade. A magnitude da variabilidade dos atributos do solo é mais influenciada pela forma do relevo que pela erosão.

Os atributos do solo, após as sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, são bastante diferenciados ao longo da paisagem (BERTOLANI e VIEIRA, 2001). Portanto, a variabilidade espacial da espessura do solo não é apenas atribuída aos processos de formação do solo, como também aos seus sistemas de preparo do solo, pois estes provocam perdas de solos na camada superficial, provocando na classe dos Argissolos, redução da espessura do horizonte A+E e imprimindo variabilidade diferenciada deste atributo ao longo da vertente.

Vários estudos relatam que a variabilidade das propriedades físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (EGUCHI et al., 2002; CARVALHO et al., 2003; SOUZA et al., 2004; LIMA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007). Nesses casos, o uso da geoestatística permite que a estrutura de dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente, e assim indicar alternativas de manejo adequadas considerando a variabilidade das suas características físico-hídricas e químicas do solo sobre o desenvolvimento das plantas.

A variabilidade dos atributos dos solos está dividida em aleatória e sistemática. Variabilidade sistemática é aquela que pode ser atribuída a uma causa conhecida e prevista. Por outro lado, quando a variabilidade não pode ser atribuída a uma dada causa, ela é tida como sendo aleatória.

EMBRAPA (2001), a variabilidade espacial na área agrônômica tem sido motivo de estudo há algum tempo. Smith e Montgomery, citados por Vieira (2000), já se preocupavam com os efeitos da variabilidade do solo em experimentos de rendimento de grãos. Entretanto, esta preocupação com a variabilidade espacial teve uma grande descontinuidade com a introdução da estatística clássica (Fischer, citado por VIEIRA, 2000), ficando a variabilidade espacial entre as amostras em segundo plano.

Salviano (1996), afirma que o conhecimento da variabilidade dos atributos dos solos constitui importante passo, para adequação do manejo. Os atributos do solo, além de variarem no tempo pode variar para cada posição no espaço. Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação antrópicas, devem se manifestar com maior intensidade em alguns atributos do que em outros (SLOT et al., 2001).

Segundo Corá & Marques Júnior (1998), as áreas de produção agrícolas contêm um complexo arranjo de solo e paisagem, no qual a variabilidade espacial nos atributos do solo e produtividade das culturas é regra, e não exceção.

Corá (1997) afirmou que o manejo do solo pode afetar propriedades químicas, físicas e biológicas. Portanto, práticas como aração e gradagem são responsáveis pelas alterações da dependência espacial de certos atributos do solo.

Barbieri et al. (2002) estudaram a variabilidade espacial de P, K e soma de bases em área sob cultivo de cana-de-açúcar, verificaram que os alcances para os atributos de solo variaram entre 587 m e 743 m. A partir dessas informações, os autores sugeriram que, em futuras amostragens para avaliação daqueles atributos do solo, em condições semelhantes, seja utilizada malha suficiente para cobrir toda a área de interesse. Essas informações confirmam as de Corá et al. (2004).

Para o manejo localizado da produtividade agrícola, o conhecimento da variabilidade dos atributos de solo e planta é necessário. Hoje já estão disponíveis ferramentas que possibilitam a coleta, armazenamento e análise de dados, viabilizando estudos desta natureza. Porém, uma das maiores limitações, segundo Sá (2001), é o alto custo da obtenção de informação sobre os atributos do solo em escala adequada. Essa limitação tem reduzido o interesse de produtores na utilização de técnica de agricultura de precisão.

2.3 Relação entre altitude e formas de relevo com atributos do solo

O levantamento altimétrico vem surgindo na agricultura de precisão como uma nova necessidade a ser agregada nos mapas de atributos visando o melhor entendimento da variabilidade espacial da fertilidade do solo bem como da produtividade, principalmente em áreas de topografia suave a suave ondulada. A precisão em um levantamento altimétrico é a chave para projetos conservacionistas, no

entanto um levantamento impreciso pode resultar em um mapa topográfico sem qualidade, gerando um planejamento equivocado (SCHMIDT, 2003). Diante disto, novas tecnologias identificam a importância de estudar a variação espacial e temporal de atributos do solo e altitude, com efeitos diretos na produção, entretanto, atualmente poucas pesquisas relacionam estas duas variáveis.

Diversos trabalhos que relacionam pedologia com geomorfologia evidenciam que os estudos de variabilidade espacial do solo, levantamentos pedológicos e pedogênese produzem melhores e aplicáveis resultados quando os trabalhos de campo são intensificados e métodos geomorfológicos são incluídos. Daniels et al. (1971) e Gerrard (1993), por exemplo, ressaltam a importância de trabalhos que envolvem estes dois ramos da ciência, mencionando três dos principais aspectos a serem neles considerados: (a) a identificação da coluna estratigráfica e material de origem dos solos, (b) a identificação das superfícies geomórficas (que indicam as idades relativas dos solos) e (c) o relacionamento entre atributos do solo e do relevo, integrando os dois itens anteriores.

Trabalho desenvolvido por Cunha et al. (2005), em Jaboticabal, objetivou não só relacionar as superfícies geomórficas com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos Latossolos nelas encontrados, mas também testar métodos geoestatísticos para localização de limites dessas superfícies. Usando critérios geomorfológicos, três superfícies foram identificadas e topograficamente caracterizadas. Foram analisados dentre outros parâmetros, o perfil altimétrico e o modelo de elevação digital do terreno. Observaram que as três diferentes superfícies estão bem relacionadas com os atributos físicos, químicos e mineralógicos dos seus respectivos solos. Na parte inferior desta vertente, superfície mais recente e sobre basalto, em Latossolo Vermelho eutroférico típico, foram encontradas as maiores variabilidades da declividade, da argila e de Fe.

Estudos têm demonstrado que o relevo tem sido um atributo que define a distribuição de atributos químicos do solo ao longo da paisagem e tem apresentado altas correlações com a produtividade de culturas e atributos do solo (Kravchenko & Bullock, 2000; Souza et al., 2004). Kuzyakova & Richter (2003) estudando a variabilidade de atributos do solo em um Luvissole por meio da geoestatística, encontram correlação de atributos químicos do solo com o relevo superior 0,60.

Muitos dos métodos e objetivos da geomorfologia coincidem com os da pedologia, uma vez que ambas estudam uma mesma parte do sistema, que é a

superfície dos diferentes corpos de solos (DANIELS et al., 1971). Dentre os estudos dos diversos processos geomórficos, originando as diferentes feições do relevo está a identificação e a cartografia de superfícies geomórficas (RUHE, 1969). Esta cartografia, diferentemente dos levantamentos pedológicos generalizados, é sempre efetuada em níveis detalhados (escalas entre 1:50.000 e 1:5.000). Portanto, em levantamentos pedológicos detalhados, é possível obter maior proveito deste método geomorfológico.

Estudando as diferentes fontes de dados de altitude buscando identificar um modelo eficiente para representar a real altitude para utilização no planejamento de áreas de cultivo com agricultura de precisão implantada, Alba et al. (2010), encontraram que a utilização de dados oriundos de levantamentos com RTK (real time kinematic) demonstra precisão na determinação da altitude podendo ser utilizada como ferramenta de planejamento conservacionista de talhões.

Em descrição pioneira da geomorfologia e solos da região de Jaboticabal – Monte Alto (SP), Penteado & Ranzani (1971), definiram aspectos geomorfológicos com a caracterização das superfícies de erosão e suas relações gerais com os solos.

As relações entre as propriedades do solo e as formas do relevo, aplicando estas conceituações de superfícies geomórficas, utilizando transeções (ou toposseqüências) nos estudos de solo-paisagem, Lepsch et al. (1977), Coelho et al. (1994) e Marques Júnior & Lepsch (2000), relacionam variabilidade espacial de atributos dos solos com compartimentos de relevo. A compreensão dessas relações facilita a previsão da ocorrência dos diferentes corpos de solo na paisagem e mostram-se favoráveis ao uso desses critérios como base para mapeamento pedológico detalhado, em vez de propriedades quantitativas taxonomicamente estabelecidas, uma vez que estas últimas são consideradas artificiais (HUDSON, 1992; YOUNG & HAMMER, 2000).

Com base na teoria de episódios decorrentes da alternância de climas pretéritos, semi-áridos e úmidos, bem como em eventos neotectônicos, em área próxima à estudada e com solos desenvolvidos de arenitos, procuraram explicar a variação de propriedades do solo, conforme modelo de evolução da paisagem, conjugando detalhes fisiográficos dependentes do tempo (MARQUES JÚNIOR & LEPSCH, 2000). Estes autores aconselharam ser oportuno estender este tipo de estudo detalhado para locais com substrato de arenito, limítrofe para basalto, situados em cotas inferiores às relatadas.

2.4 Erodibilidade com atributos do solo

Fatores de erodibilidade e erodibilidade são, na realidade, diferenciados um por ser representado pela relação entre a perda do solo e a erosividade da chuva, individualizando os dados de cada chuva, o outro, definindo como sendo uma propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade á erosão.

Para Lal (1988), a erodibilidade do solo representa o efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação e transporte de partículas; portanto, refere-se à sua predisposição à erosão. Ainda segundo ele, é o fator que tem despertado o maior interesse na pesquisa de erosão, por ser governado pelos atributos intrínsecos do solo, os quais podem variar de solo para solo e com o tipo de manejo.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros ainda que variáveis como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda de acordo com esses autores as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aqueles que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento. A erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas e é expresso como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva (EI) Bertoni e Lombardi Neto (1993).

Na prática, o cálculo da erodibilidade do solo constitui-se no fator de maior custo e morosidade, principalmente no Brasil, devido sua diversidade edáfica (DENARDIN, 1990). Diante deste fato, vários autores desenvolveram modelos visando a estimativa da erodibilidade do solo de maneira indireta como Wischmeier et al. (1971), que não mostrou adequado quando aplicados aos solos tropicais, Denardin (1990) e Lima et al. (1990), desenvolveram e adaptaram um modelo para região tropical, o qual não tem-se mostrado adequados devido a heterogeneidade do comportamento dos solos tropicais em face do processo erosivo (SILVA et al., 1999).

Na tentativa de determinar a erodibilidade com mais exatidão, vários autores citam basicamente três maneiras diferentes de se determinar a erodibilidade do solo: a determinação do fator K em condições de campo, sob chuva natural; a quantificação do

fator K em razão das perdas de solo e do fator erosividade, sob condições de chuva simulada. Estes dois métodos são considerados padrões e refletem a erodibilidade do solo como é preconizada pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Wischmeier & Smith, 1978) e, o método baseado em regressões múltiplas que contenham como variáveis independentes atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo ou relações destes, correlacionados com o fator K obtido pelos métodos padrões.

A equação da EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) modificada por Bertoni e Lombardi Neto (1985), expressa genericamente por: $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$, usa fator de erosividade (R), fator erodibilidade dos solos (K); LS, fator topográfico, sendo L, fator declividade, e S, fator comprimento de vertente; C, fator cobertura vegetal/manejo do uso do solo e P, práticas conservacionistas.

Para Romkens (1987), apesar dessas equações não refletirem obrigatoriamente relações de causa e efeito, essas podem ser empregadas desde que forneçam valores próximos aos medidos diretamente. Para o autor, o mais conhecido método indireto para a estimativa do fator K é o nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971). Entretanto, durante a elaboração deste método foram incluídos predominantemente solos de textura média do Meio-Oeste dos EUA. Dessa forma, tem sido frequentemente observada a inadequação desse modelo às condições brasileiras (Denardin, 1990; Lima, 1991; Silva et al., 1994).

Para Bertol et al. (2002) a erodibilidade do solo e outros fatores de erosão apresentam grande variabilidade espacial e temporal, explicada pela diversidade climática, a qual influi no potencial erosivo das chuvas, e pela variabilidade do solo, a qual tem influência na suscetibilidade à erosão.

A simples determinação da erodibilidade não fornece ao planejador a localização e o tamanho da área com características de solo favoráveis à utilização agrícola. Por isso, para a espacialização dos resultados, a informática associada à cartografia tem tido um uso cada vez mais freqüente. O geoprocessamento, em sistemas de informação geográfica, é uma ferramenta muito útil pelas facilidades que apresenta na manipulação de banco de dados, análises e espacialização cartográfica, SCOPEL (1977).

O uso de técnicas de geoestatística para reproduzir mudanças de espaço, permite uma progressiva expressão de variação das características do solo. Este método especialmente reflete a realidade, no caso da erodibilidade do solo (WANG et

al., 2001), porém, poucos trabalhos têm explorado o estudo da variabilidade espacial de fatores de erosão.

Dos poucos trabalhos que exploram a variabilidade espacial de fatores de erosão em latossolo vermelho Eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar Sousa et al. (2005) afirmam que, a variável erodibilidade (K) apresentou grau de dependência espacial moderado o que permitiu o seu mapeamento, utilizando-se de técnicas geoestatísticas.

A geoestatística consiste em uma ferramenta de mapeamento e simulação de variáveis contínuas no espaço que pode ser acoplada ao SIG, visando produzir informações ambientais de cunho prático e, principalmente, sem tendenciosidade (Mello, 2004; Diggle & Ribeiro Júnior, 2007). Como a erosão hídrica é caracterizada e modelada por atributos de solo com comportamento contínuo no espaço, incluindo cobertura vegetal, topografia e erosividade da chuva, todas contínuas e com estrutura de continuidade espacial, o que poderá ser mapeada por um modelo espacial típico da geoestatística, desde que estudos sobre sua estrutura de dependência espacial sejam adequadamente desenvolvidos, sobretudo na modelagem do semivariograma experimental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 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 acima do nível do mar. O clima da região é classificado de acordo com Kopper como sendo Aw (clima tropical com estação seca de Inverno). A temperatura varia entre 25 e 36° C e com precipitação pluviométrica em torno de 800 a 1.200 mm.

O estudo foi plotado em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo argiloso, localizado em uma área com declividade variando de 0 à 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 um hectare, com pontos espaçados em 10 x 10m, sendo coletado 121 pontos amostrais de solo nos cruzamentos, na profundidade de 0-0,20 m. Cada ponto foi georeferenciado como forma de demarcar a área e ser realizado o mapa de relevo (Figura 1).

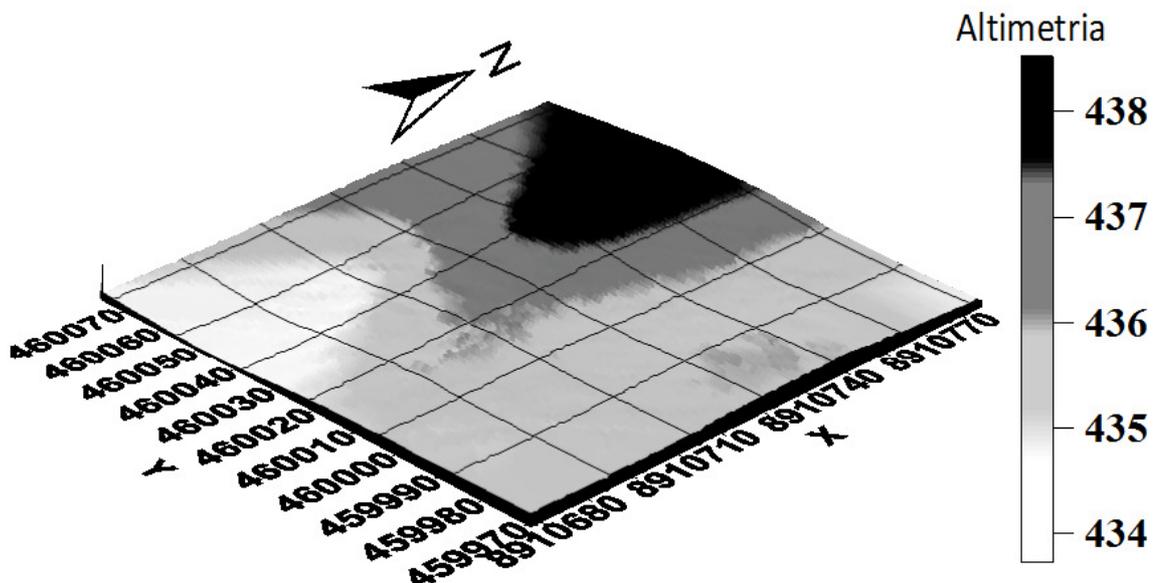


Figura 1. Mapa de relevo da área em estudo

3.2 Análises laboratoriais

Nas amostras foi determinado 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 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 RAIJ et al. (1987). O pH foi determinado utilizando-se da relação 1:2,5 de solo em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. (RAIJ et al. 1987).

Para a determinação da erodibilidade do solo (t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ h ha) foi usada a equação proposta por DENARDIN (1990),

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

em que:

X₁ - representou a variável "M", calculada a partir de parâmetros granulométricos determinados pelo método da pipeta;

X₂ - representou a permeabilidade do perfil do solo, codificada (WISCHMEIER et al., 1971);

X₃ - representou o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2 mm, expresso em mm e;

X₄ - representou a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor da "nova areia", determinada pelo método da pipeta.

3.3 Análises estatísticas

Inicialmente a variabilidade dos dados foi avaliada pela estatística descritiva: média, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. Para a hipótese de normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Para a análise dos dados foi utilizado o programa SAS (Sistema de análise estatístico, 2007). A correlação de Pearson foi realizada no programa MINITAB (MINITAB Release, 2000).

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística, conforme Webster (1973). Essa é baseada na suposição de que medições separadas por

distâncias pequenas são mais semelhantes umas das outras, do que aquelas separadas por distâncias maiores.

Sob as hipóteses intrínsecas de estacionariedade, a semivariância foi calculada pela expressão abaixo:

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

em que, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos nos locais $Z(xi)$, $Z(xi + h)$, 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, considerou-se o menor SQR (soma de quadrados do resíduo) e o melhor R^2 (coeficiente de determinação). Para a elaboração dos mapas de distribuição espacial dos atributos, foi utilizado o programa Surfer (1999).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva (Tabela 1), das 121 amostras determinadas à 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. Contudo, 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 Ca, todos os atributos do solo analisados apresentaram CV menor que 35%, dando validade ao uso da média.

Tabela 1. Estatística descritiva para os atributos Relevo (m), Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.

Variáveis analisadas	Média	Mediana	Mínimo	Maxima	Assimetria	Kurtose	CV
Relevo	435,92	435,96	431,51	439,93	-0,01	-0,32	0,42
K ₁	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

K₁ = Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$).

Os valores da média e mediana para os diferentes atributos estão próximos, mostrando distribuições simétricas, confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero. Quando os valores da média e mediana se apresentam semelhantes, os dados apresentam ou aproximam da distribuição normal, segundo Little & Hills (1978),

indicando que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al., 1994), demonstrando que todos os atributos envolvidos no estudo estão aproximando-se de uma distribuição normal.

Aplicando o mesmo raciocínio técnico para a variável relevo e erodibilidade do solo, é notado que se encontram dentro da normalidade, não diferenciando significativamente, portando, dispensando o uso de artifícios de correção.

Confirmando um estudo de Webster (2001), um valor de assimetria até 0,5 indica que um determinado atributo apresenta distribuição normal, o que é dispensada a 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 necessitam de transformação logarítmica para apresentarem distribuição normal.

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

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

VARIÁVIES	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 ^{**}
ERODIBILIDADE	1,00	0,062 ^{**}	0,547 ^{**}	-0,120 ^{NS}	-0,250 ^{**}	-0,467 ^{**}	0,070 ^{**}	-0,221 [*]

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste $p > 1$; * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste $p > 1$; Ns = não significativo; K₍₁₎ = erodibilidade.

Os resultados apontados na tabela demonstram a significância tanto a 1% quanto a 5% de probabilidade pelo teste f do relevo com os atributos pH, K, Ca e Mg do solo, mostrando uma correlação fraca e negativa com todos os atributos significativamente analisados. A correlação quando negativa evidencia que os resultados exercem uma posição inversamente proporcional, ou seja, quando a variável aumenta os atributos tendem a descer.

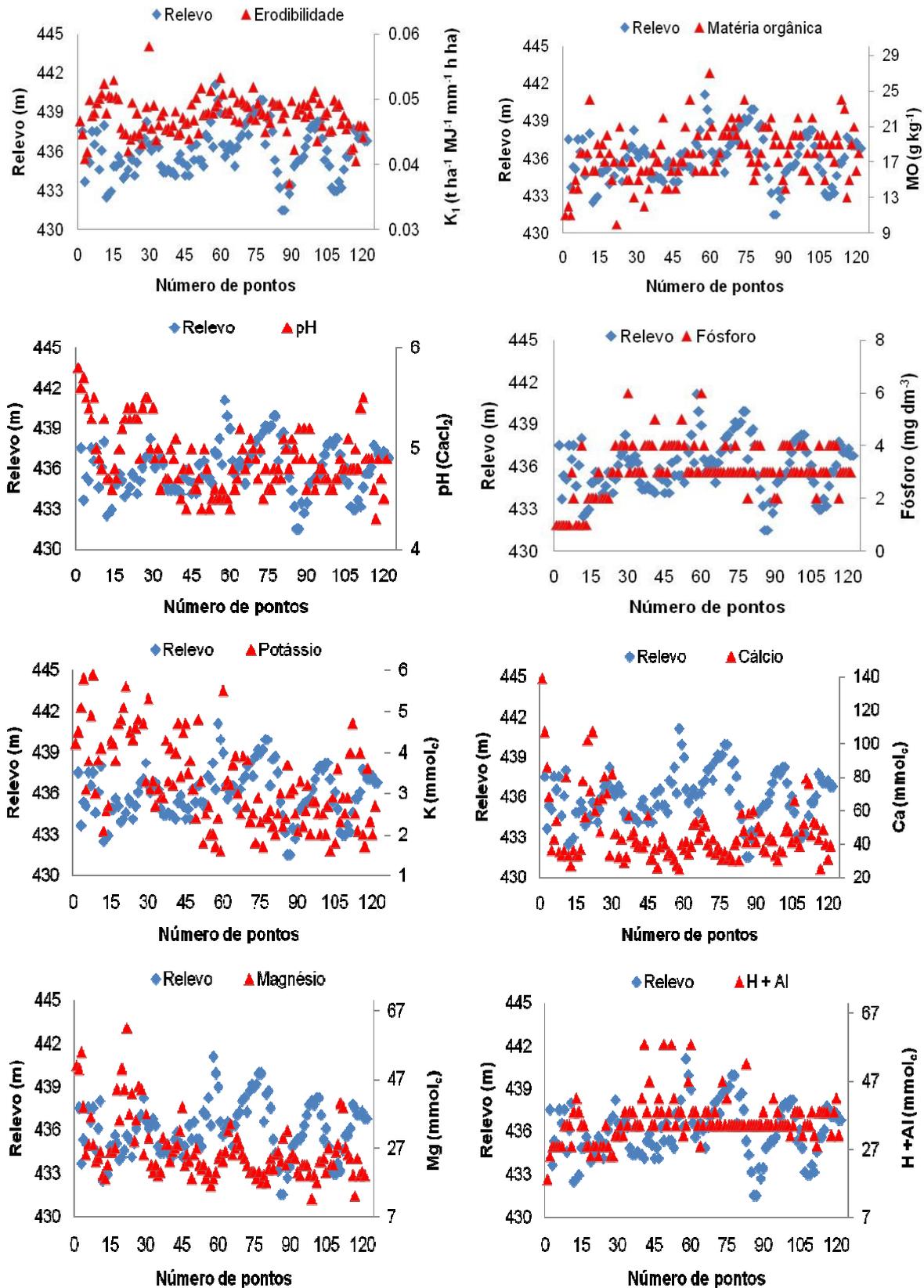


Figura 2. Correlação dos atributos Relevo com Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) com relevo na profundidade de 0–0,20 m.

Marques Jr (2009) cita que, o relevo pode ser considerado um agente integrador, que expressa à interação de vários, atributos do solo. Neste sentido, observa-se que o relevo exerce influência direta com os atributos do solo e que, o manejo e a conservação das áreas a serem trabalhadas exigem cuidados especiais quanto ao uso. A Figura 2 ilustra e confirma o verificado na Tabela 2.

Para entender erodibilidade, é preciso visualizar que ela é considerada constante, quando pode ser conceituado como uma propriedade dinâmica, alterável diante das modificações de superfície e dos atributos do solo. Neste contexto, a variável tem que ser estudada e comprovada sobre a ótica da geoestatística a fim de ser compreendida e usada como fator de modificação.

Estudando a erodibilidade em relação aos atributos químicos do solo, essa mantém correlação significativa a 1% de probabilidade, variando positivamente de 0,007 a 9,547 para todos os atributos, classificando como bem fraca com os atributos P e H + Al, positiva e fraca com a MO, significa dizer que, o aumento ou decréscimo da erodibilidade não influencia a susceptibilidade que tem o solo de se erodir. A mesma variável variou de -0,120 a -0,221, classificada como correlação negativa bem fraca com K, fraca Ca e pH e moderada com o Mg.

Particularizando, a matéria orgânica variando com a erodibilidade, dá suporte a tese de que a modificação de alguns parâmetros do solo, principalmente a estrutura, favorece o processo erosivo, são reflexos da erodibilidade do solo sofrido ao longo do tempo no espaço, isto porque a erodibilidade do solo mantém uma relação inversa com a matéria orgânica. Vitte et al. (2007) consideram que, os parâmetros do solo que afetam a 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 com a erodibilidade dependendo do tipo de solo, fatores de formação e agregação, que variam tanto intrínseco quanto extrinsecamente no solo. Para Silva et al (1999), a erodibilidade é um fator complexo e dependente da interação de múltiplos atributos e por isso, torna-se difícil, estabelecer uma relação de causa e efeito entre as variáveis utilizadas nos modelos e a erodibilidade (DENARDIN, 1990; MARQUES et al., 1997; SILVA et al., 1999). Segundo Angulo (1983), a estabilidade de agregados possui boa correlação com a erodibilidade. Ao analisar a figura 3, onde se faz referência aos gráficos de correlação dos atributos do solo e a erodibilidade, é observado que os

dados da tabela 2 e os comentários discutidos sobre os atributos químicos do solo são comprovados pelo movimento da erodibilidade em relação a esses, dando suporte ao que foi comentado e discutido sobre os resultados e, comprovado por autores e pesquisados sobre o assunto.

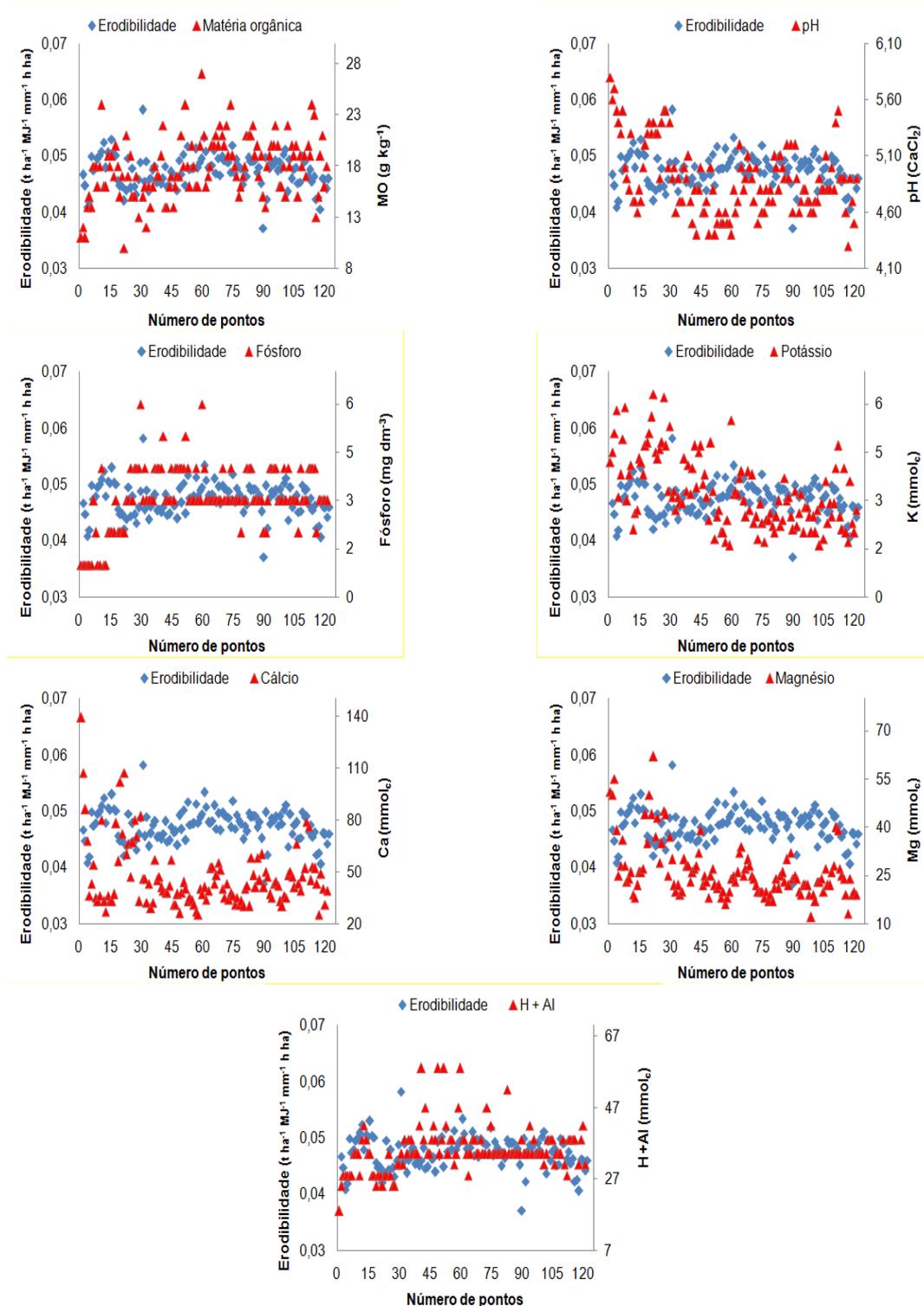


Figura 3. Correlação dos atributos Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$) com MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) com relevo na profundidade de 0–0,20 m.

Na Tabela 3, são apresentados 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 com relação à erodibilidade na profundidade de 0.00-0.20 m. Outros autores (BOEHM & ANDERSON, 1997; SOBIERAJ et al., 2002) também observaram variabilidade espacial de atributos do solo em função das formas do relevo.

Com exceção do P, que apresentou forte dependência espacial, todos os outros atributos apresentaram dependência moderada, segundo classificação de Cambardella et al. (1994). Esses mesmos autores afirmam que, variável que apresentam grau de dependência forte são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo com os fatores de formação do solo como no caso, o relevo, por outro lado, os que apresentaram fraca dependência são mais influenciados por fatores atípicos com manejo inadequado do solo .

A análise da dependência espacial é baseada na suposição de que pequenas distâncias entre medições se assemelham 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.

Dados relacionados com o alcance variaram de 31,20 a 113,48 m com menor amplitude para o atributo P. Para explicar a amplitude do alcance, Trangmar et al. (1985) explica que alcance depende do tamanho da área amostrada e da escala de observação realizada, sendo tanto maior quanto maior for o intervalo entre medidas. Neste sentido, os valores da continuidade espacial (alcance) estão superiores ao da escala utilizada, sugerindo que maior distância entre os pontos amostrais refletem 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, se deseja saber se a estacionaridade dos resultados dos pontos amostrados existe e é alcançado quando a variância da diferença entre os pares de dados se torna constante entre eles o que pode ser afirmado 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.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados para os atributos Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.

Atributos	Modelo	C ₀	C ₀ + C	Alcance		R ²	D.P.	CRVC	
				GDE	(m)			b	a
Profundidade 0,0 – 0,20 m									
K ₁	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

K₁ = erodibilidade; C₀ = efeito pepita; C₀+C₁ = patamar; R² = coeficiente de determinação do modelo; GDE (C₀/(C₀ + C) *100) = grau de dependência espacial, sendo **Efeito pepita** = 100 % do patamar. **moderada** quando estão entre 25 e 75 %. e **fraca** > 75 %. ≤ 25 % **forte**; b = Coeficiente angular. CRVC = coeficiente de regressão da validação cruzada; a = Intercepto.

Para Isaaks & Srivastava, (1989) os modelos ajustados aos dados dos atributos químicos são considerados transitivos, por possuir patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras, não existe mais dependência espacial (a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância). Por apresentar dependência espacial para todos os modelos, esse raciocínio vem corroborar com o resultado encontrado na pesquisa.

O efeito pepita (C₀) pode indicar a descontinuidade espacial dos dados para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Na pesquisa os valores maiores foram encontrados para K, H+Al, Mg e MO, sendo o menor para a erodibilidade do solo o que pode indicar uma maior continuidade da variabilidade espacial dessa com os demais atributos do solo.

Na Figura 4, são apresentados os semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que descreveram a variabilidade espacial da erodibilidade e atributos químicos do solo a profundidade de 0,20m.

Semivariograma é uma ferramenta que dá possibilidade na indicação de estimativas da dependência entre amostras, é usado, quando se pretende analisar o grau de dependência espacial dentro de um campo experimental e se compõe de parâmetros como: alcance, (m) distância em que as amostras se encontram correlacionadas; patamar ($C_0 + C$), valor do semivariograma correspondente ao seu alcance sendo que desse ponto em diante não mais existe dependência espacial entre as amostras e efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade entre as distâncias das amostras o que pode ser caracterizado por erro de medição.

Analisando os semivariogramas observa-se que todos os atributos apresentaram patamares definidos com variância estruturada com amplitude de 0,064 para o pH até 73,21 para o Ca, apresentando modelos gaussiano e exponencial respectivamente.

Na figura também é observado à variação das distâncias analisadas ampliando de 60 a 130 m e isso mostra que quando esta é menor reflete diretamente no efeito pepita revelando na prática que a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Os mapas de krigagem (Figura 4) vêm concordar e ilustrar os resultados demonstrados na tabela dos parâmetros de modelos dos semivariogramas. O uso da krigagem buscou não estimar um determinado valor, mas definir áreas com maior ou menor probabilidade que um 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.

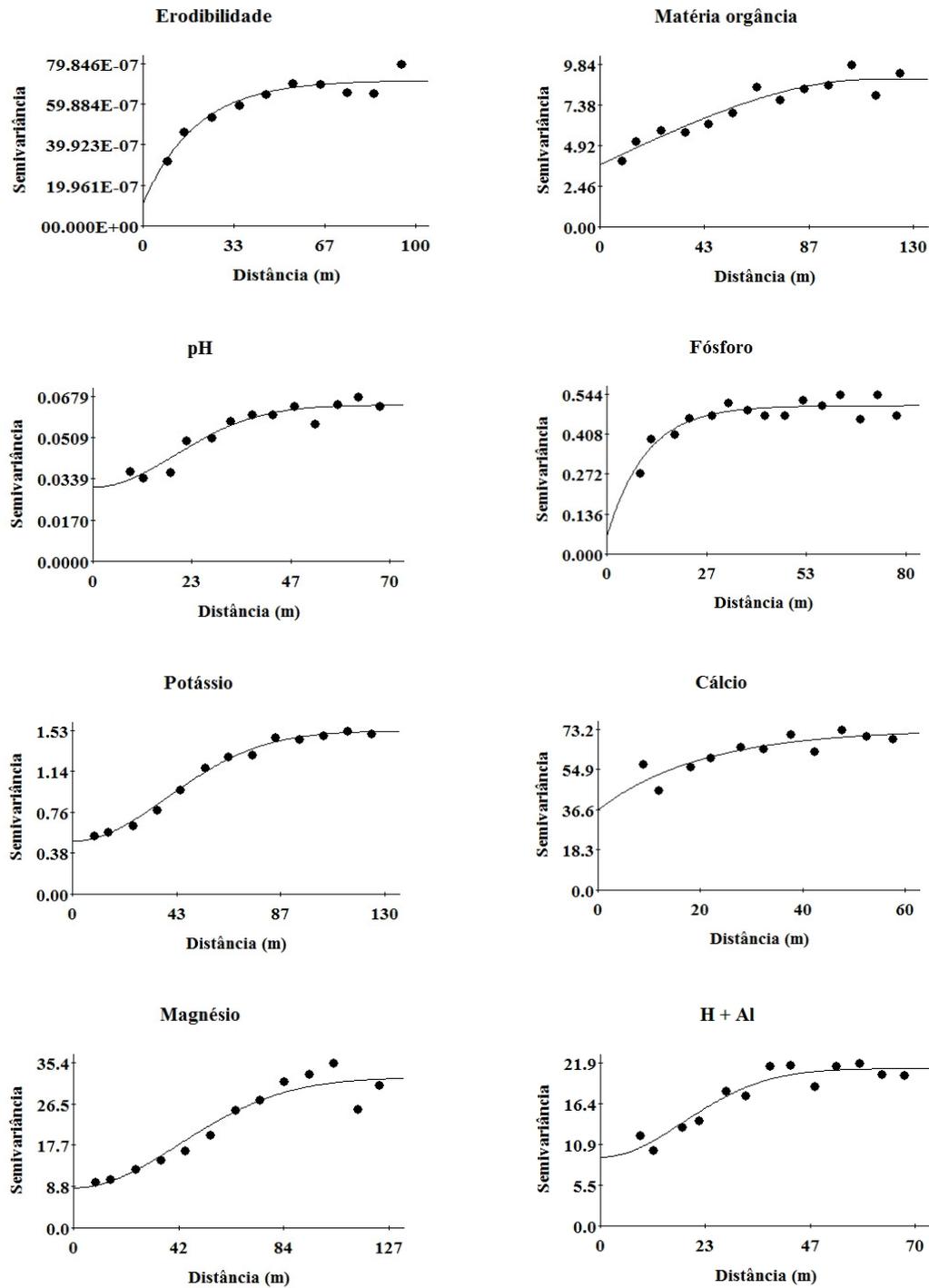


Figura 4. Semivariogramas dos atributos, Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ \ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.

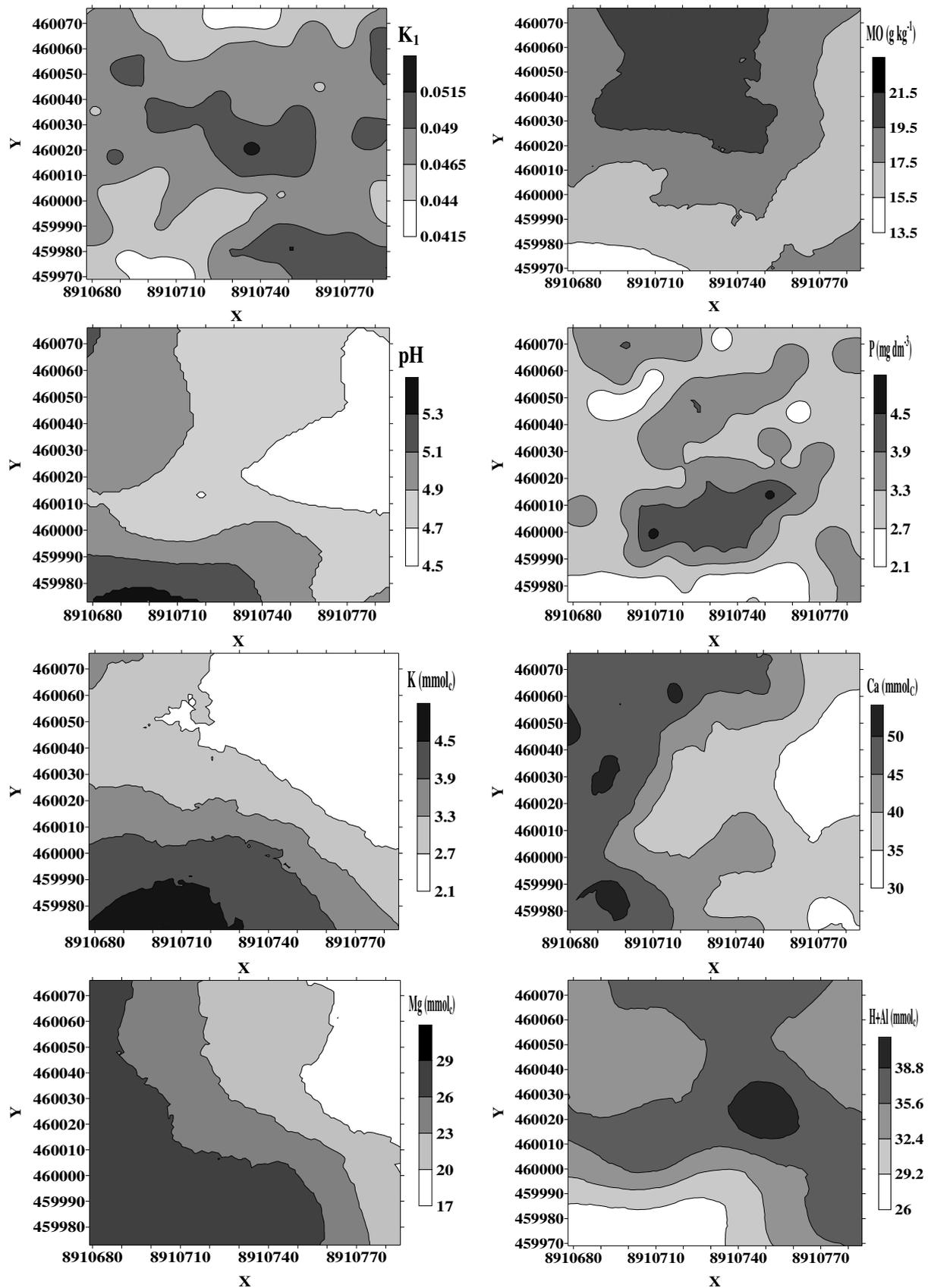


Figura 5. Mapas da distribuição espacial dos atributos, Erodibilidade ($t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ h\ ha$), MO ($g\ kg^{-1}$), pH ($CaCl_2$), P ($mg\ dm^{-3}$), K ($mmol_c\ dm^{-3}$), Ca ($mmol_c\ dm^{-3}$), Mg ($mmol_c\ dm^{-3}$) e H + Al ($mmol_c\ dm^{-3}$) na profundidade de 0–0,20 m.

5. CONCLUSÕES

Todos os atributos do solo apresentaram variabilidade espacial, o que sugere a diminuição do número de amostras para investigar a ocorrência desses na área degradada em estudo;

O moderado grau de heterogeneidade na maioria dos atributos dos químicos do solo em estudo evidencia o reflexo sofrido pela descontinuidade do relevo na paisagem, mas, revela a existência de correlação entre os pontos amostrados.

A erodibilidade na área apresenta forte grau de dependência espacial, o que aponta a redução de pontos amostrais na viabilização de pesquisas na área degradada em estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S. **Comparação de modelos de altitudes com diferentes fontes de dados**. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP, 27 a 29 de setembro de 2010 - Ribeirão Preto - SP, Brasil. 2010.

ANGULO, J. R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. (Dissertação de Mestrado), Curitiba, UFPR, 154p. 1983.

BALASTREIRE, L.A. **Agricultura de precisão**. Piracicaba. 68 p. 1998.

BARBIERI, D. M.; SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T.; BENTO, M. J. C. **Variabilidade espacial de fósforo, potássio e soma de bases em um latossolo vermelho eutroférrico sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Jaboticabal**, SP. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; IX REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, p. 28. 2002.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico alumínico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.465-71, 2002.

BERTOLANI, F.C.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.987- 995, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo. 1993.

BOEHM, M. M.; ANDERSON, D. W. A landscape-scale study of soil quality in three prairie farming systems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1147-1159, 1997.

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, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 02, p.149-157, 2007.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 04, p. 695-703, 2003.

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**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.

COELHO, R. M.; LEPSCH, I. F. & MENK, J.R.F. Relação solo relevo em um encosta com transição arenito-basalto em Jaú (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:125-33, 1994.

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**, v.28, p.1013-1021, 2004.

CORÁ, J. E.; MARQUES JÚNIOR, J. Atributos do solo para agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. (coord). **Simpósio de mecanização e agricultura de precisão**. XXVII CONBEA. Poços de Caldas. p.31-70. 1998.

CORÁ, J. E. **The pontential for site-specific management of soil corn yield variability induced by tillage**. East Lansing, MI. Tese de Doutorado apresentada à Michigan State University, USA. 104p. 1997.

CUNHA, P. et al. Superfícies geomórficas e atributos de latossolos em uma seqüência areníticobasáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:81-90, 2005.

DANIELS, R.B. et al. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, New York, v.23, n.1, p.51-87, 1971.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos**. 114 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DERSPCH, R. Agricultura Sustentável. In: **O Meio Ambiente e o Plantio Direto** por Helvécio Mattana Saturnino e John N. Landers. Brasília, Embrapa SPI, p.29/48. 1997.

DIGGLE, P. J. & RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Model-based geostatistics. New York, **Springer Series in Statistics**, 2007. 228p.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L. da; OLIVEIRA; M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 02, p. 242-246, 2002.

EMBRAPA. **Avaliação e comparação de estimadores de krigagem para variáveis agrônômicas – uma proposta**. Campinas, SP: 2001.

GERRARD, J. Soil geomorphology - present dilemmas and future challenges. **Geomorphology**, 7:61-84, 1993.

HERNANI, L. C. Influência de métodos de limpeza de terreno sob floresta secundária em latossolo do Vale do Ribeira, SP: I dinâmica de atributos químicos, físicos e produção de milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 11:205-515. Viçosa-MG, 1987.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistema de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa-MG, v.23, n.1, p.145-154, 1999.

HUDSON, B. D. The soil survey as a paradigm-based science. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:836-841, 1992.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. Cornell University Press. Ithaca, New York, 1981. 324 p.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura). **Formulação de subsídios para a elaboração do zoneamento ecológico** – econômico do núcleo original de desertificação de Gilbués, estudo de caso dos municípios de Gilbués e Monte alegre, no estado do Piauí. Brasília: IICA, 200p. 2010.

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

KRAVCHENKO, A.N.; BOLLOCK, D.G. Correlation of corn and soybean yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, n.1, p.75-83, 2000.

KUZYAKOVA, I; RICHTER, C. Variability of soil parameters in a uniformity trial on a Luvisol evaluated by means of spatial statistics. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.166, n.3, p.348-356, 2003

LAFLEN, J. M.; ROOSE, E. J. Methodologies for Assessment of Soil Degradation due to Water. In: LAL, R.; BLUM, W. E. H.; VALENTIN, C. & STEWART, B. A. **Methods of Assessment of Soil Degradation**. Boca Raton, Fl., CRC Press, p. 31-55. 1997.

LAL, R. **Soil erosion by wind and water: Problems and prospects**. In: LAL, R., ed. Soil erosion and research methods. Wageningen, SWCS. p.1-6. 1988.

LAL, Rattan. **Soil Erosion – Research Methods**. Soil and Water Conservation Society. St. Lucie Press, Ankeny, IA, 496 p. 1994.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W. & DANIELS, R. B. Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 41:104-9,1977.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:85-90, 1990.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; WADSON DA ROCHA, W. **Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*piper nigrum*, L.)**. IDESIA , Chile, V. 28, N.2, p.31-39, 2010.

LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semiárido do RN. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 02, p. 192-199, 2006.

LITTLE, T. M.; HILLS, F.J. **Agricultural experimentation**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 350 p.

MARQUES JR, J. **Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo**. 2009. 113 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MARQUES JÚNIOR, J. & LEPSCH, I. F. Depósitos superficiais neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociências**, 19:90-106, 2000.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N. & CAROLINO de SÁ, M. A. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 21:447-456, 1997.

MELO FILHO, J. F.; SILVA, J. R. C. Erosão, Teor de Água no Solo e Produtividade do Milho em Plantio Direto e Preparo Convencional de Um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 17: 291-297, 1993.

MELLO, J.M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - (Tese de Doutorado), 110p. 2004.

MINITAB, **Release Making Data analysis Easier**: version 13.1, 2000.

ORTIZ, J. L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 205f. 2003.

OVALLES, F. & REY, J. **Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia**. Agron. Trop., 44:41-65, 1994.

PAULA, M. B. de; ASSIS, R. P. de; BAHIA, V. G.; OLIVEIRA, C. V. de. Efeitos do Manejo de Resíduos Culturais, Adubos Verdes, Rotação de Culturas e Aplicação de Corretivos nas Propriedades Físicas e Recuperação dos Solos. In **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, pág. 66-70. 1998.

PENTEADO, M.M. & RANZANI, G. Aspectos geomorfológicos e os solos do município de Jaboticabal. **Geographica**, 25:42- 61, 1971.

RAIJ, B. VAN.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987.

RESK, D. V. S.; FIGUEIREDO, M. de S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. da. Intensidade de Perdas de Nutrientes em Um Podzólico Vermelho Amarelo Utilizando Simulador de Chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 4: 188-192, 1980.

ROBERTSON, G.P. GS⁺: **Geostatistics for the environmental sciences** (version 9 for windows). Gamma Design Software, 179p. 2008.

RUHE, R.V. **Quaternary landscape in Iowa**. Ames, State University Press, 255p. 1969.

SÁ, M. F. M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2001.

SALVIANO, A. A. C.; LIMA, M. G.; NUNES, L. A.P. L.; MELO, L. F. S. Erosão e Desertificação na Região Nordeste: Núcleo de Gilbués, PI. In: **Combate à desertificação no Piauí: microbacia do riacho Sucuruí “Vaqueta Gavião” em Gilbués-PI**. Teresina: Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR-PI), 222p. 2010.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *crotalaria juncea* L. em solos degradado do município de Piracicaba-SP**. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. 83p. 1996.

SAMPAIO, E. V. S. B., ARAÚJO, M. S. B., SAMPAIO, Y. S. B. **Impactos Ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil**. (Trabalho apresentado no XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo). 2003.

SANCHEZ. R.B., JÚNIOR. J.M., SOUZA. Z. M. de. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedofomas. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SAS, **Statistical Analysis System for Windows**. Computer program manual. Cary, 1995.

SCHICK et al. Erosão Hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico Submetido a Diferentes Sistemas de Preparo e Cultivo do Solo: I - Perdas de Solo e Água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Vol. 24, n. 2, 427-436, 2000.

SCHMIDT, J. P.; TAYLOR, R. K.; GEHL, R. J.; Developing topographic maps using a sub-meter accuracy global positioning receiver. **Society of Agricultural Engineers**, ISSN 0883-8542 Vol. 19(3): 291-300. 2003.

SCOPEL, Iraci. **Avaliação da Erosão com Auxílio de Sensoriamento Remoto e da Equação Universal de Perdas de Solo a Nordeste de Cornélio Procópio (PR)**. Curitiba. Tese. Doutorado, 177p. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. , 1988.

SILVA, J. M. **Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial ao longo de uma encosta**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa - (Tese de Mestrado). 64p. 1999.

SILVA, F. B. **Geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas no núcleo de desertificação em Gilbués, PI**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina-Piauí, 2008.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arenico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

SLOT, M. H.; GENTHNER, M. H.; DANIELS, W. L.; GROOVER, V. A. Spatial variability in Palustrine wetlands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.527-535, 2001.

SOBIERAJ, J. A.; ELSENBEER, H.; COELHO, R. M. & NEWTON, B. Spatial variability of soil hydraulic conductivity along a tropical rainforest catena. **Geoderma**, 108:79-90, 2002.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.51-58, 2004.

SOUZA, G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. **Acta Sci. Agron**, Maringa, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARTINS FILHO, M. V.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de fatores de erosão em Latossolo Vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Eng. Agríc.**, 25:105-114, 2005.

SPAROVEK, G.; JONG VAN LIER, Q; ALOISI, R. R.; VIDAL-TORRADO, P. Previsão do Rendimento de Uma Cultura em Solos de Piracicaba em Função da Erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 17:465-470, 1993.

SUERTEGARY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. IN: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. P. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. RJ: Bertrand Brasil, 1996.

SURFER for windows. Release 6.01. Surface mapping system. Golden Software, 1995.

TRANGMAR, B. B., YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Adv. Agron.**, Madison, v. 38, p 45-94, 1985

VANNI, S. M. **Modelos de regressão: estatística aplicada**. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 177p. 1998.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **O deserto brasileiro**. UFPRE, Recife, 1974.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. **Tópicos em ciências do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v. 1, p. 2-54. 2000.

VITTE, A. C; MELO, J. P. DE; Considerações sobre erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas nas morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e estudos da paisagem**. v 2, n.2. Rio Claro-MG. 2007.

WANG, G.; FANG, S.; SHINKAVERA, S; GERTNER, G.; ANDERSON, A. Spatial uncertainty in prediction of the topographical factor for the revised universal soil loss equation (RUSLE). **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.45, n.1, p.109-118, 2002.

WANG, G. X.; GERTNER, G.; FANG, S.F. & ANDERSON, A. B. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. **Photogram. Eng. Remote Sens.**, 69:889-898, 2003.

WEBSTER, R., Automatic soil-boundary location from transect data. **Math. Geology**, v.5, p.27-37, 1973.

WEBSTER, R. Statistics to support soil research and their presentation. **European Journal**, 2001.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B. & CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons.**, Ankeny, 26:189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning**. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58p

YANG, C. et al. Use of hyperspectral imagery for identification of different fertilization methods with decision-tree technology. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.83, n.3, p.291-298, 2002.

YOUNG, F. J. & HAMMER, R. D. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy and cluster analysis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:989-998, 2000.

YOUNG, A. **Agroforestry For Soil Conservation**. British Library Cataloguing in Publication Data, Tit II, C.A.B. International, 1989. 276 p.