

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SOLOS DO ASSENTAMENTO MALHADA DO MEIO,
CHAPADINHA-MA: CLASSIFICAÇÃO E VARIABILIDADE
ESPACIAL DE SEUS ATRIBUTOS**

James Ribeiro de Azevedo

Engenheiro Agrônomo

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SOLOS DO ASSENTAMENTO MALHADA DO MEIO,
CHAPADINHA-MA: CLASSIFICAÇÃO E VARIABILIDADE
ESPACIAL DE SEUS ATRIBUTOS**

James Ribeiro de Azevedo

Orientadora: Profa. Dra. Célia Regina Paes Bueno

Coorientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

Azevedo, James Ribeiro de

A994s Solos do assentamento Malhada do Meio, Chapadinha-MA: classificação e variabilidade espacial de seus atributos. / James Ribeiro de Azevedo. -- Jaboticabal, 2013

xi, 65 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Célia Regina Paes Bueno

Banca examinadora: José Eduardo Corá, Itamar Andrioli, Alan Rodrigo Panosso, Maurício Rizzato Coelho

Bibliografia

1. Plintita. 2. Solos do Maranhão. 3. Geoestatística. 4. Manejo do Solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.412(812.1)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SOLOS DO ASSENTAMENTO MALHADA DO MEIO, CHAPADINHA-MA:
CLASSIFICAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DE SEUS ATRIBUTOS

AUTOR: JAMES RIBEIRO DE AZEVEDO

ORIENTADORA: Profa. Dra. CELIA REGINA PAES BUENO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CELIA REGINA PAES BUENO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MAURICIO RIZZATO COELHO

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Rio de Janeiro/RJ

Data da realização: 12 de dezembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JAMES RIBEIRO DE AZEVEDO - nasceu em Caxias-MA, no dia 15 de março de 1967. Filho de Saly Mendes Bezerra de Azevedo e Maria de Jesus Ribeiro de Azevedo. Formou-se em Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de São Luiz-MA, em 1983, e Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus de São Luís-MA, em maio de 1992. Em agosto de 1992, iniciou o curso de especialização em Agriculturas Amazônicas e Desenvolvimento Agro-ambiental, pela Universidade Federal do Pará (UFPA), concluído em agosto de 1993. Iniciou, em abril de 2003, o curso de Mestrado em Agriculturas Amazônicas pela UFPA, concluído em abril de 2005. Em março de 2011, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia vinculado ao Programa de Ciências do Solo da FCAV/UNESP - Jaboticabal, concluído o curso em dezembro de 2013.

Aos agricultores familiares que moram no assentamento Malhada do Meio,
localizado no município de Chapadinha, Estado do Maranhão.

Dedico

3.5. Potencialidades e restrições dos solos estudados.....	29
4. CONCLUSÕES.....	30
5. LITERATURA CITADA.....	30
APÊNDICES.....	34
CAPÍTULO 3 – VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO EM UM ASSENTAMENTO DE REFORMA AGRÁRIA EM CHAPADINHA-MA.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4. CONCLUSÕES.....	56
5. LITERATURA CITADA.....	56
APÊNDICES.....	61

SOLOS DO ASSENTAMENTO MALHADA DO MEIO, CHAPADINHA-MA: CLASSIFICAÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DE SEUS ATRIBUTOS

RESUMO - A caracterização, a classificação e o estudo da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos dos solos são importantes para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. O assentamento Malhada do Meio, localizado em Chapadinha-MA, possui uma área de 630,86 ha, a vegetação é de Floresta Estacional Decidual Submontana e Savana Estépica (Parque e Arborizada), o relevo é ondulado e plano, com altitude média de 67 m, e a geologia é formada por arenitos finos argilosos do Grupo Barreiras, e Depósitos Aluvionares e Coluvionares. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar os solos, avaliar suas potencialidades e restrições agrícolas, bem como a variabilidade espacial de seus atributos no assentamento Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha, Estado do Maranhão, para subsidiar o planejamento do uso do solo. Selecionaram-se quatro locais em pontos distintos da paisagem, e amostras foram coletadas para a realização das análises de caracterização granulométrica e química. Coletaram-se 183 amostras de solo georreferenciadas, distanciadas de 150 m e 300 m, na profundidade de 0,0 - 0,20 m. Foram analisadas as variáveis químicas: pH, H+Al, Al, SB, V %, T, P, K, C orgânico, Ca, Mg, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, e física: argila, silte e areia. Realizaram-se análises de estatística descritiva e geoestatística. Os solos estudados foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Neossolo Flúvico, Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico, Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico e Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico. As limitações agrícolas entre os solos estudados podem restringir a produtividade das culturas agrícolas e afetar a qualidade de vida das famílias assentadas. Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais das variáveis foram o exponencial e o esférico. Os mapas do padrão espacial identificaram áreas com maiores teores dos principais macronutrientes e de maior pH que podem auxiliar no planejamento do uso e manejo do solo.

PALAVRAS-CHAVE: plintita, solos do Maranhão, geoestatística, manejo do solo.

SOILS OF SETTLEMENT MALHADA DO MEIO, CHAPADINHA-MA: CLASSIFICATION AND SPATIAL VARIABILITY OF ITS ATTRIBUTES

ABSTRACT – The characterization, classification and study of spatial variability of chemical and physical properties of soils are important for the development of sustainable agriculture. The Malhada do Meio settlement, located in Chapadinha-MA, has an area of 630.86 ha; the vegetation is Floresta Estacional Decidual Submontana and Savana Estépica (Parque and Arborizada); the terrain is undulating and flat, with an average elevation of 67 m, and the geology is composed of clayey fine sandstones of Grupo Barreiras, and Depósitos Aluvionares and Coluvionares. The aim of this study was to characterize and classify soils, assess their strengths and agricultural restrictions and evaluate the spatial variability of soil properties in the settlement ‘Malhada do Meio’, located in the municipality of Chapadinha, in the state of Maranhão, to support land use planning. We selected four profiles at different points of the landscape, and samples were collected for analysis and characterization of physical and chemical composition. We collected 183 geo-referenced soil samples, at distances apart of 150 m and 300 m and depths from 0.0 to 0.20 m. The chemical variables: pH, H+Al, Al, BS, V%, CEC, P, K, organic C, Ca, Mg, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, and physical variables; clay, silt and sand were evaluated. Geo-statistical and descriptive statistics were carried out. The soils were classified in the Brazilian System of Soil Classification level as Neossolo Flúvico, Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico, Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico and Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico. Agricultural limitations of the soils may restrict crop yields and affect the quality of life of families settled there. The adjusted models to the experimental semi-variograms of the variables were exponential and spherical. Maps of the spatial pattern identified areas with higher concentrations of the major macro-nutrients and higher pH can assist in planning the use and management of the soil.

KEYWORDS: plinthite, soils of Maranhão, geostatistics, soil management.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

No assentamento Malhada do Meio, localizado em Chapadinha-MA, viviam 38 famílias de agricultores familiares em uma área de 630,86 ha. A área estava sendo utilizada em sua maior parte para o extrativismo do babaçu, além de cultivos agrícolas anuais (roças), capoeiras (vegetação em regeneração), área de lavoura anual mecanizada (abandonada), pastagem natural (alimentação de animais de serviço: jumentos), vegetação nativa de savana e a vila (Figura 1).

As culturas agrícolas eram implantadas anualmente e/ou depois de um ou dois anos após a colheita, as áreas eram abandonadas, dando origem às capoeiras (Figura 2), que ficavam em pousio por cinco anos aproximadamente, para a recuperação da fertilidade do solo e o acúmulo de nutrientes na biomassa, depois eram cortadas e queimadas para implantação de novos cultivos.

As culturas anuais (mandioca, arroz, milho e feijão) estavam sendo cultivadas de forma consorciada em área de aproximadamente um hectare por família. A produção era destinada basicamente para o consumo familiar e somente o excedente era comercializado.

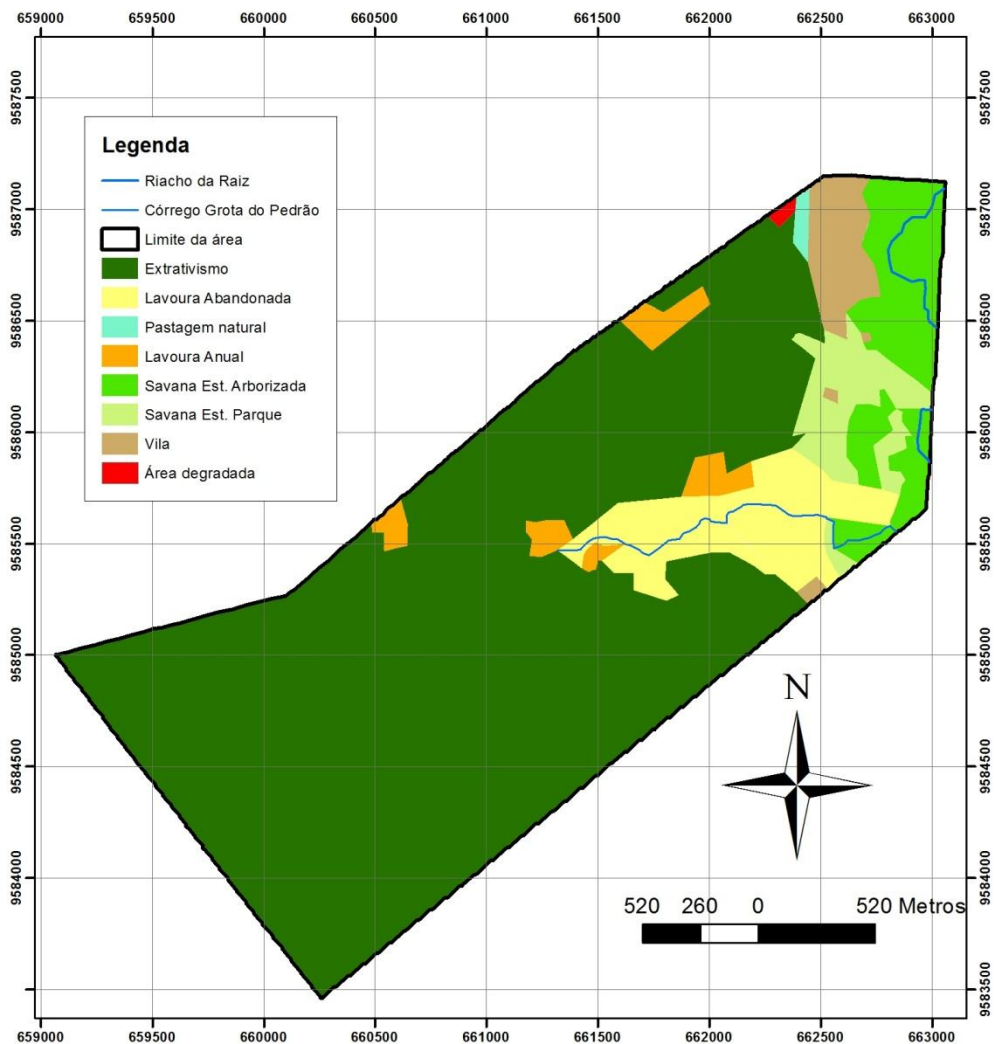
As famílias cultivaram, com orientação técnica, por três anos consecutivos, uma área de 65 ha de arroz, com uso de mecanização, calagem e adubação, mas foi abandonada há mais de cinco anos por falta de crédito e assistência técnica.

A criação extensiva de pequenos animais (galinhas, suínos e ovinos) era destinada para o consumo familiar e para a comercialização.

O extrativismo do babaçu, atividade realizada principalmente pelas mulheres, complementava a renda familiar. As amêndoas eram destinadas principalmente para comercialização, e as cascas utilizadas para produção de carvão.

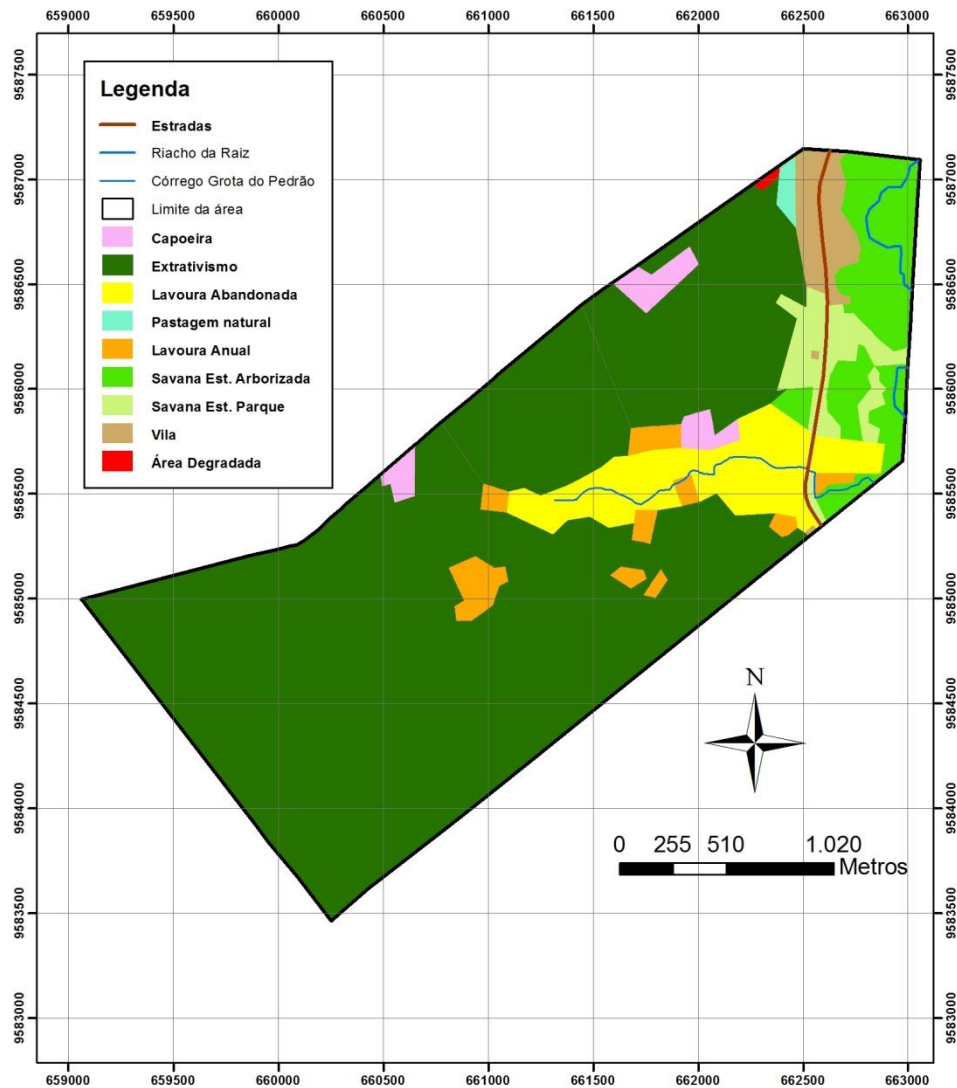
O sistema de corte e queima praticado por essas famílias em área limitada e com o aumento populacional reduz o tempo de pousio das capoeiras, provocando

uma diminuição da produção agrícola, tornando o sistema insustentável ao longo dos anos.



Elaborado por: AZEVEDO, J. R.
 Mapa de uso da terra do ano de 2011 do Assentamento Malhada do Meio, município de Chapadina - MA
 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "Júlio de Mesquita Filho"
 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de
 Jaboticabal. São Paulo, Brasil.
 Escala: 1:22.000
 Dátum: WGS, 1984
 Julho, 2013.

Figura 1. Mapa de uso e cobertura da terra do assentamento Malhada do Meio, ano 2011 (Elaborada com uso da imagem de satélite do Google Earth e do programa ArcGIS/ArcMap 10.1).



Elaborado por: AZEVEDO, J. R.
 Mapa de uso da terra do ano de 2013 do Assentamento Malhada do Meio, município de Chapadinha - MA
 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "Júlio de Mesquita Filho"
 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de
 Jaboticabal. São Paulo, Brasil.
 Escala: 1:21.500
 Dátum: WGS, 1984
 Julho, 2013.

Figura 2. Mapa de uso e cobertura da terra do assentamento Malhada do Meio, ano 2013 (Elaborada com uso da imagem de satélite do Google Earth e do programa ArcGIS/ArcMap 10.1).

As hipóteses básicas da pesquisa foram: os solos do assentamento têm bastantes restrições ao desenvolvimento agrícola e o estudo da variabilidade

espacial dos atributos químicos e físico do solo pode contribuir para elaboração do plano de desenvolvimento do assentamento.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar os solos, avaliar suas potencialidades e restrições agrícolas, e avaliar a variabilidade espacial de seus atributos no assentamento Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha, Estado do Maranhão, para subsidiar o planejamento do uso do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização e classificação de solos

O sistema de classificação de solos brasileiro é morfogenético, multicategórico, descendente, aberto e de abrangência nacional. É baseado em propriedades (atributos) e horizontes diagnósticos. Compreende seis níveis categóricos e 13 classes (JACOMINE, 2009).

O solo classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS) é constituído de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, ocupam a maior parte da superfície do planeta, e podem ser vegetados (SANTOS et al., 2013).

Conhecer as características físicas e químicas dos solos em um assentamento é básico para que a atividade agrícola possa ser desenvolvida de forma sustentável (CARDOSO et al., 2002a,b), pois contribui para melhor adequar cada solo à sua real aptidão (CARDOSO et al., 2002c) e sua distribuição espacial.

A caracterização dos solos e a determinação de sua aptidão agrícola devem ser priorizadas para determinar o número de famílias assentadas, o melhor manejo dos recursos, as potencialidades de uso da área e aumentar a chance de sucesso dos assentamentos (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2007).

A classificação e o estudo das propriedades do solo podem determinar o potencial das terras de forma que se utilize adequadamente sem causar danos consideráveis (SANTOS; FERREIRA; ARAÚJO, 2009).

2.2. Caracterização de Plintossolos, Neossolos e Gleissolos

2.2.1. Plintossolos

Plintossolos são solos minerais, que apresentam horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. A plintita é formada pela mistura de argila com grãos de quartzo e outros minerais, com pouco carbono e muito ferro, ou ferro e alumínio, que em vários períodos de umidade e secagem, consolida-se de forma irreversível (SANTOS et al., 2013). A petroplintita é constituída pelo endurecimento irreversível da plintita (ANJOS et al., 2007) resultante de intensa laterização em condições climáticas passadas (BENEDETTI et al., 2011) e presentes.

Segundo Anjos et al. (2007), Plintossolos são solos fortemente ácidos, com saturação por bases e atividades da fração argila baixas, mas podem apresentar solos com saturação por bases média a alta, ou argila de alta atividade.

Correia et al. (2001) realizaram um trabalho com objetivo de caracterizar diferentes ambientes de uma área do bioma Cerrado, levando-se em conta aspectos relacionados à geologia, à geomorfologia, à vegetação e sua relação com as diferentes classes de solos. Um perfil classificado como Plintossolo Pétrico Distrófico litoplíntico apresentou variação no perfil de pH entre 3,9 e 4,1. Acidez muito alta em Plintossolo Argilúvico foi observada por Martins et al. (2006) no Estado do Tocantins e Coringa et al. (2012) no Pantanal Norte-Matogrossense.

2.2.2. Neossolos

São solos pouco evoluídos, formados por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura e não apresentam horizonte B diagnóstico (SANTOS et al., 2013).

Um perfil classificado como Neossolo Flúvico Tb Eutrófico gleissólico por Brandão et al. (2010), no Estado do Amazonas, apresentou textura francoarenosa no horizonte A e franca nos horizontes C1, C2 e C3; pH variando entre 6,2 e 7,0, e CTC ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) de 11,62 a 15,73.

Benedetti et al. (2011) objetivaram a caracterização de solos da bacia do rio Cauamé, comparando solos derivados de materiais de origem típicos da região das savanas de Roraima. O perfil de Neossolo Flúvico Eutrófico vertissólico apresentou textura arenosa e argilosa e valor de soma de base médio. O perfil de Neossolo Flúvico Psamítico típico apresentou textura arenosa em todos os horizontes e valor de soma de base baixo.

Na ilha de Fernando de Noronha-PE, Marques et al. (2007) classificaram um perfil como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico com sequência de horizontes Ak, 2C1 e 3Ck2 de textura areia, franca e areia franca, respectivamente, pH variando de 7,4 a 7,8, soma de bases de 6,8 a 38 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e CTC de 6,8 a 38,8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

2.2.3. Gleissolos

São solos minerais com presença de horizonte glei que se inicia nos primeiros 50 cm da superfície do solo ou a profundidades entre 50 cm e 150 cm se for imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou hístico com espessura insuficiente para definir Organossolos (SANTOS et al., 2013).

Guimarães et al. (2013) classificaram e caracterizaram cinco perfis de solos, na várzea do rio Solimões, em particular os Gleissolos, e observaram expressivo processo de gleização, conforme os padrões de cores de redução, incluindo mosqueados, enquanto Sousa e Souza (2013), na sub-região do Pantanal de Poconé, Estado do Mato Grosso, caracterizaram as propriedades morfológicas e mineralógicas do Luvisolo Hipocrômico Órtico planossólico e do Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico, obtendo baixos teores de Fe_2O_3 condizentes com os processos hidromórficos atuantes nesses solos.

2.3. Potencialidades e limitações agrícolas de Plintossolos, Neossolos e Gleissolos

As principais limitações de uso agrícola dos Plintossolos são decorrentes da baixa fertilidade natural (distróficos com teor elevado de Al) e má drenagem, pois durante parte do ano ficam saturados de água (MARTINS et al., 2006). A presença excessiva de petroplintita constitui limitação forte ao desenvolvimento de raízes (IBGE, 2007). Segundo Oliveira (2005), esses nódulos dificultam muito o preparo do terreno para plantio, desgastam implementos agrícolas e diminuem o volume de água e de nutrientes para a planta.

Os Neossolos Flúvicos, em geral, são solos profundos, mal drenados (riscos de inundações), apresentam textura indiscriminada (NASCIMENTO; CUNHA; ROSA, 2006) e são bons quando manejados adequadamente (OLIVEIRA, 2005).

Gleissolos e Neossolos Flúvicos podem apresentar limitações de uso e de manejo, em razão da elevação do lençol freático durante boa parte do ano (OLIVEIRA, 2005; MARTINS et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2013).

2.4. Geoestatística

O estudo da variabilidade de atributos do solo no espaço é realizado com base na geoestatística que tem como base a teoria das variáveis regionalizadas (VIEIRA, 2000). O conceito de variáveis regionalizadas é uma função espacial numérica que varia de um local para outro, com uma continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples (MATHERON, 1963).

A análise geoestatística permite detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial de variáveis do solo, constituindo assim uma importante ferramenta na análise e descrição detalhada dos atributos do solo (VIEIRA et al., 2002). Uma ferramenta adequada para medir a dependência espacial é o semivariograma (VIEIRA et al., 1983) que é estimado pela fórmula:

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

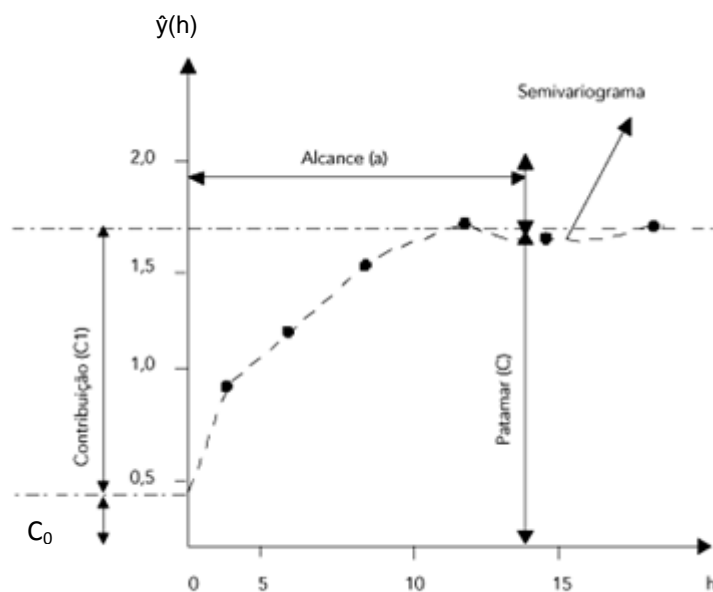
Em que, $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada; $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h .

Os parâmetros do semivariograma (Figura 3) são descritos como:

Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras.

Efeito Pepita (C_0): revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.



Os modelos teóricos mais utilizados na ciência do solo são o exponencial (2) e o esférico (3).

$$\hat{y}(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \left(\frac{h}{a} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

$$\hat{y}(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (3)$$

2.5. Variabilidade espacial dos atributos químicos e granulométrico do solo

O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos dos solos é particularmente importante em áreas onde o solo está submetido a diferentes manejos (CARVALHO et al., 1998).

O estudo da variabilidade espacial de atributos físicos do solo pela geoestatística, utilizando-se da técnica da krigagem, mostrou-se uma importante ferramenta na compreensão da dinâmica dos solos, podendo ser fundamental no auxílio à tomada de decisões que visem à maior longevidade e à melhor gestão dos recursos (GOMES et al., 2007).

Em uma área de floresta em Louisiana-USA, Bekele e Hudnall (2006) realizaram uma pesquisa em solo Rendollic Eutrodepts, no qual foram coletadas amostras em um transecto, a cada 4 m, totalizando 147 amostras na profundidade de 0,0 – 0,15 m. Os autores ajustaram modelo esférico para Ca, Mg e K, e obtiveram grau de dependência espacial (GDE) forte para Ca e K, e moderado para Mg.

Cavalcante et al. (2007) avaliaram a variabilidade espacial de atributos do solo em Selvíria-MS, no solo Latossolo Vermelho Distrófico em área com vegetação de cerrado. Na profundidade de 0,0 - 0,10 m, o modelo esférico foi ajustado para C orgânico, exponencial para P e CTC, e linear para K. O GDE foi forte para C orgânico e P, e moderado para CTC. Na profundidade de 0,10 - 0,20 m, o modelo esférico foi ajustado para C orgânico, K e CTC, e exponencial para P. GDE foi forte para K e moderado para C orgânico, P e CTC.

Chig et al. (2008) em Juruena-MT, em área de Floresta Ombrófila Densa de formação submontana, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Plintossolos e Argissolos, coletaram 34 amostras de solo nas profundidades de 0,0 a 0,20 m e

obtiveram o modelo esférico para argila e C orgânico com GDE moderado argila e forte para C orgânico.

Alvares et al. (2009), trabalhando com Latossolos, Argissolos e Cambissolos em Capão Bonito-SP, na profundidade de 0,0 a 0,30 m, tiveram o melhor ajuste com o modelo esférico para areia e silte, modelo exponencial para argila, P e K, e linear para C orgânico; O GDE foi moderado para areia, argila e K, forte para silte e P, e fraco para C Orgânico.

No município de Candeias do Jamari-RO, em área de floresta, com uma malha quadrada com lado de 165 m, totalizando 130 amostras, Nascimento e Landim (2009) conseguiram ajuste de modelo esférico para Ca e pH, e exponencial para Al e C orgânico. O GDE foi forte para C orgânico e moderado para Al, Ca e pH.

Wojciechowski et al. (2009), avaliando a dependência espacial de atributos do solo no município de Santa Tereza-RS, em Chernossolos Argilúvicos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, com uma malha com pontos amostrados em intervalo de 30 – 40 m, em três tipos de vegetação (mata, floresta secundária e capoeirão) encontraram os seguintes resultados: na mata, os modelos que melhor se ajustaram foram o gaussiano para pH e esférico para P e K; na floresta secundária, os modelos gaussiano para pH e esférico para P e K. No capoeirão, os modelos esférico para pH e K, e exponencial para P. Os autores encontraram GDE forte em: pH e K nos três ambientes, e P na floresta secundária e capoeirão; e GDE moderado em P na mata. O modelo que melhor se ajustou para argila foi o gaussiano em área de mata e na floresta secundária, e o modelo esférico, no capoeirão; o GDE foi forte nos três ambientes.

Carvalho, Vilas Boas e Fadigas (2010), estudando em Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, em Conceição do Almeida-BA, em uma reserva natural, com um “grid” de 32 x 32 m, com pontos espaçados de intervalos regulares de 4 x 4 m, totalizando 162 amostras nas profundidades de 0,0 – 0,2 m, tiveram o melhor ajuste com o modelo esférico para pH, SB, Argila, Al, H+Al, Mg e Ca. Para as variáveis pH, SB, Argila, Al, H+Al e Mg, o GDE foi forte, e para Ca, o GDE foi moderado.

Na pesquisa realizada por Lima, Souza e Silva (2010), em Argissolo Vermelho-Amarelo, em uma área de vegetação natural em processo de regeneração, no município de Alegre-ES, foram coletadas amostras de solo na

profundidade de 0,0 – 0,20 m, nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 10 m, perfazendo um total de 64 pontos. Os resultados apresentaram modelo esférico para pH, P e K, e GDE forte para pH, P e K. A variável (CTCe) apresentou efeito pepita puro.

Objetivando avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos de Neossolo Quartzarênico Órtico, na zona de transição entre o bioma Cerrado e o Amazônico, sob diferentes formas de uso e manejo (floresta, capoeira, solo desnudo, cultura agrícola, pastagem e cerradão), na região de Araguaína-TO, Silva Neto et al. (2011) ajustaram modelo esférico para C orgânico, pH, Al, P, K, Ca, SB e CTC_{ef}, e exponencial para Mg e CTC₇. O GDE foi forte para Al, Ca, Mg, SB, CTC₇, CTC_{ef} e V %, e moderado para C orgânico, pH, P e K.

Skorupa et al. (2012), no Estado de Minas Gerais, em área composta de vegetação de Campo Cerrado, Cerradão e Cerrado *stricto sensu*, coletaram amostras de solo na profundidade de 0,0 – 0,20 m, entre 3 a 12 parcelas de 1.000 m² por fragmento, totalizando 336 amostras. Os autores chegaram aos seguintes resultados: modelo exponencial foi adequado para pH, linear para T (CTC) e esférico para argila; GDE moderado para pH e efeito pepita puro para T.

Santos et al. (2012) realizaram um trabalho no Estado de Pernambuco, em Neossolo Flúvico, com espaçamento médio entre os pontos amostrais de 64 m. O modelo ajustado foi o exponencial, e o GDE foi moderado para areia e silte.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; SANTOS, F. C. dos; MARTINS, E. S.; LIMA, O. C.; SANTOS, A. O.; SANTOS, M. P. **Avaliação da aptidão agrícola de solos do projeto de assentamento Alegria, município de Pium, Tocantins**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 29 p. (Documentos, 193).

ALVARES, C. A.; GONÇALVES, J. L. M.; SILVA, C. R. da; FRANCISCATTE, W.; NASCIMENTO, L. A. do. Variabilidade espacial dos solos florestais de Capão Bonito (SP). In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2009, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: Unesp, 2009. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/sgea/Docs/9.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2011.

ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação de plintossolos no município de Pinheiro-MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1035-1044, 2007.

BEKELE, A.; HUDNALL, W. H. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie–forest transition in Louisiana. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 280, n. 1-2, p. 7–21, 2006.

BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 299-312, 2011.

BRANDÃO, P. C.; SOARES, V. P.; SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, A. L. de; MENDONÇA, B. A. F. de. Caracterização de geoambientes da floresta nacional do Purus, Amazônia ocidental: uma contribuição ao plano de manejo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 11, p. 115-126, 2010.

CARDOSO, E. L.; SPERA, S. T.; PELLEGRIN, L. A.; SPERA, M. R. N. **Solos do Assentamento Taquaral - Corumbá, MS**: caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002a. 38 p. il. (Documentos, 29).

CARDOSO, E. L.; SPERA, S. T.; PELLEGRIN, L. A.; SPERA, M. R. N. **Solos do assentamento Tamarineiro I - Corumbá, MS**: caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002b. 26 p. (Documentos, 28).

CARDOSO, E. L.; SPERA, S. T.; PELLEGRIN, L. A.; SPERA, M. R. N. **Solos do assentamento Mato Grande - Corumbá-MS**: caracterização, limitações e aptidão agrícola. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002c. 36 p. (Documentos, 27).

CARVALHO, O. S.; GASCÓ, J. M.; LOPÉZ, F. G.; REQUEJO, A. S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 497-503, 1998.

CARVALHO, S. R. L. de; VILAS BOAS, G. da S.; FADIGAS, F. de S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação Barreiras. **Cadernos de Geociência**, Salvador, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2010.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, n. 4, p. 715–722, 2008.

CORINGA, E. A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 19-28, 2012.

CORREIA, J. R.; LOBO-BURLE, M.; CALDERANO, S. B.; SPERA, S. T.; GOMES, I. A.; SANTOS, R. D. dos; CAMPOS, J. E. G.; SILVA JÚNIOR, M. C. da; NASCIMENTO, R. O.; MINELA, G.; REATTO, A.; DUARTE, M. N. **Caracterização de ambientes na Chapada dos Veadeiros/Vale do Rio Paraná**: contribuição para a classificação de solos. Planaltina: Embrapa, 2001. 79 p. (Documentos, 47).

GOMES, N. M.; FARIA, M. A. de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 427–435, 2007.

GUIMARÃES, S. T.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, F. W. R.; MACEDO, R. S.; SOUZA, K. W. de. Caracterização e classificação de gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, N. 2, p. 317-326, 2013.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. p. 111.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. In: ACADEMIA PERNAMBUCANA DE CIÊNCIA AGRONÔMICA, 5 e 6., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2008-2009. p. 161-179.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 127-136, 2010.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B. de; ROCHA, W. da; OLIVEIRA, P. C.; QUARTEZANI, W. Z. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). **Idesia**, Arica, v. 28, n. 2, p. 31-39, maio/ago. 2010.

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R.; BITTAR, S. M. B.; TAVARES FILHO, A. N.; LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1553-1562, 2007.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, E.; SOARES, V. P.; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F. de. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do médio Araguaia – Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.

MATHERON, G. Principles of geoestatistic. **Economic Geology**, Littleton, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

NASCIMENTO, G. F.; LANDIM, P. M. B. Agricultura de precisão por metodologia geoestatística: aplicação em solos do Estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2009, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: 2009. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/sgea/Docs/19.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2013.

NASCIMENTO, F. R. do; CUNHA, S. B.; ROSA, M. de F. Classes de solos e unidades morfo-pedológicas na bacia hidrográfica do rio Acaraú – Ceará. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: UFG, 2006. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/016.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2013.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 544, 553.

SANTOS, A. C. dos; FERREIRA, E. M.; ARAÚJO, L. C. de. Propriedades químicas e físicas de solos em áreas sob pastagens em cerrado do norte do Tocantins. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 55-63, 2009.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R. V. de P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 828–835, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de. CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013, p. 27, 177, 221, 264.

SILVA, A. F. da; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. de; OLIVEIRA, R. B. de. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes manejos. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 173-182, 2010.

SILVA NETO, S. P. S.; SANTOS, A. C. dos; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S. da; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. das. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011.

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. de C.; SCOLFORO, J. R. S.; MARQUES, J. J. G. de S. e M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 11, p. 11-22, 2012.

SOUSA, J. B. de; SOUZA, C. A. de. Caracterização morfológica e mineralógica de solos em ambientes de cordilheira e campo de inundação no pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Boletim de Geografia.**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 53-66, 2013.

SOUZA, Z. M. de.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 161-168, 2006.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo: In NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.) **Tópicos ciência do solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54, 2000.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; PIRES, C. A. F.; MADRUGA, P. R. A.; KILCA, R. V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S. da; VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do Solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 383-391, 2009.

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO, POTENCIALIDADES E RESTRIÇÕES AGRÍCOLAS DE SOLOS EM UM ASSENTAMENTO DE REFORMA AGRÁRIA NO MUNICÍPIO DE CHAPADINHA-MA

RESUMO - A classificação dos solos e a caracterização de suas propriedades químicas e físicas são importantes para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. O assentamento Malhada do Meio, localizado em Chapadinha-MA, possui uma área de 630,86 ha, a vegetação é de Floresta Estacional Decidual Submontana e Savana Estépica (Parque e Arborizada), o relevo é ondulado e plano, com altitude média de 67 m, e a geologia é formada por arenitos finos argilosos do Grupo Barreiras, e Depósitos Aluvionares e Coluvionares. Objetivou-se neste trabalho caracterizar, classificar e avaliar as potencialidades e as restrições agrícolas dos solos do assentamento de reforma agrária Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha-MA. Foram abertos quatro perfis em pontos distintos da paisagem. Amostras foram coletadas para a realização das análises de caracterização químicas e granulométrica. Os solos estudados foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico, Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico, Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico. Todos os solos apresentaram baixa fertilidade com acidez alta e muita alta. A maioria dos solos apresentou muitas limitações para o uso agrícola, sendo o Neossolo Flúvico aquele com melhor potencial.

Termos de indexação: plintita, solos do Maranhão, Neossolo, Gleissolo.

**CHARACTERIZATION, CLASSIFICATION, CAPABILITIES AND LIMITATIONS
OF AGRICULTURAL SOILS IN A SETTLEMENT OF LAND REFORM IN THE
MUNICIPALITY OF CHAPADINHA-MA**

SUMMARY - Soil classification and characterization of their chemical and physical properties are important for the development of sustainable agriculture. The Malhada do Meio agrarian reform settlement, located in Chapadinha-MA, has an area of 630.86 ha; vegetation is Floresta Estacional Decidual Submontana and Savana Estépica (Parque and Arborizada), terrain is undulating and flat, with an average elevation of 67 m, and the geology consists of clayey fine sandstones of Grupo Barreiras, and Depósitos Aluvionares and Coluvionares. The objective of this study is to characterize, classify and assess the strengths and limitations of the agricultural soils of the settlement. Four profiles were selected at different points of the landscape. Samples were collected for analysis of chemical and physical characteristics. The soils were classified in the Brazilian System of Soil Classification level as Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico, Plintossolo Argilúvico Distrófico abruptico gleissólico, Neossolo Flúvico and Gleissolo Háplico Tb Distrófico cambissólico. All soils had low fertility, with high to very high acidity. Most soils had many limitations for agricultural use, with the exception of Neossolo Flúvico which has better potential.

Index terms: plinthite, soils of Maranhão, Entisol, Gleysol.

1. INTRODUÇÃO

Os assentamentos rurais no Brasil passaram a existir oficialmente a partir da década de 1980 e foram criados para responder às pressões localizadas, como forma de mitigar conflitos relacionados à posse da terra (Silva et al., 2010).

Na implantação dos assentamentos de reforma agrária no Brasil, não há uma priorização de áreas de maior aptidão edáfica ou climática, e a inclusão de áreas de baixa aptidão edáfica ou climática pode retardar ou inviabilizar o desenvolvimento do assentamento (Sparovek & Maule, 2003).

Nos assentamentos de reforma agrária no Maranhão, os solos, em sua maioria, são restritos ou moderadamente restritos, e raros são os solos com pouca ou nenhuma restrição (Steeg et al., 2003).

Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha, é um dos diversos assentamentos de reforma agrária implantados no Estado do Maranhão. O assentamento foi criado em 2006, em uma área de 630,86 hectares, e nele vivem 38 famílias.

O sistema de cultivo é desenvolvido na implantação de culturas agrícolas anuais, no sistema de corte e queima. Essa prática de manejo não é adequada para a recuperação ou a recomposição da fertilidade do solo, e os agricultores devem procurar manejos adequados de como utilizar o mesmo solo sem que ele perca sua fertilidade (Freitas et al., 2012), que pode ser mantida desde que se utilize o solo de modo sustentável, baseando-se em princípios conservacionistas, usando-o conforme seu potencial produtivo e suas necessidades de proteção (Guimarães & Santos, 2012).

Para se ter o uso mais adequado e racional do solo, é necessário conhecer bem seus atributos químicos, físicos e morfológicos, e a partir disso propor técnicas de manejo mais adequadas para as condições locais (Queiroz et al., 2012).

De acordo com Santos et al. (2009), a classificação e o estudo das propriedades do solo podem determinar o potencial das terras para fins agrícolas.

Nesse contexto, o conhecimento dos tipos de solo que ocorrem no assentamento, como também seus atributos químicos e físicos podem contribuir na definição de técnicas de uso e manejo sustentável do solo e propiciar o desenvolvimento do assentamento. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar e classificar os solos do assentamento de

reforma agrária Malhada do Meio, no município de Chapadinha, Estado do Maranhão, e avaliar suas potencialidades e restrições agrícolas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no assentamento de reforma agrária Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha-MA, com coordenada central 9585546 W e 661510 S (UTM WS 84), com altitude média de 67 m e área de 630,86 ha. O relevo é de colinas de topos arredondados de baixa altitude e plano. O substrato geológico é constituído por arenitos finos argilosos e cangas ferruginosas do Grupo Barreiras (Paleogeno-Neogeno); e de areias coluviões fluviais dos Depósitos Aluvionares e Coluvionares (Cenozoico-Quaternário-Holoceno) (Brasil, 2000). A vegetação, de acordo com a classificação de Veloso et al. (1991), é de Floresta Estacional Decidual Submontana (maior área) com ocorrência de babaçu (*Orbignya sp.*), Savana Estépica Parque com ocorrência de carnaúba (*Copernicia prunifera*) e Savana Estépica Arborizada.

O clima da região, de acordo com a classificação de Thornthwaite (1948), é do tipo C₂WA'a', com precipitação pluviométrica anual entre 1.600 a 2.000 mm e temperatura média anual variando de 26° a 27°C (Maranhão, 2002).

Quatro perfis representativos da paisagem foram amostrados e georreferenciados, sendo três em um transecto: topo da colina (coordenadas 661996 S e 9585644 W), próximo ao córrego situado na extremidade leste da área (coordenadas 662893 S e 9586290 W) e entre a colina e o córrego (coordenadas 662646 S e 9586219 W) . O quarto perfil foi amostrado em um vale (coordenadas 662181 S e 9586184 W) (Figura 1). Os perfis foram abertos e descritos, e amostras foram coletadas conforme Santos et al. (2013). As amostras coletadas foram secas e peneiradas (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA).

Os valores de pH (KCl 1 mol L⁻¹ e H₂O), C orgânico, P (resina), K, Ca, Mg, H+Al e Al foram determinados pelos métodos de Raij et al. (1987), e os teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ pela metodologia da Embrapa (1997).

Realizou-se a determinação granulométrica do solo pelo método da pipeta, utilizando-se de uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em baixa rotação, por 16 h (Embrapa, 1997). A fração argila foi separada por sedimentação, a areia grossa e fina por tamisação, e o silte foi calculado por diferença.

Os solos foram classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013).

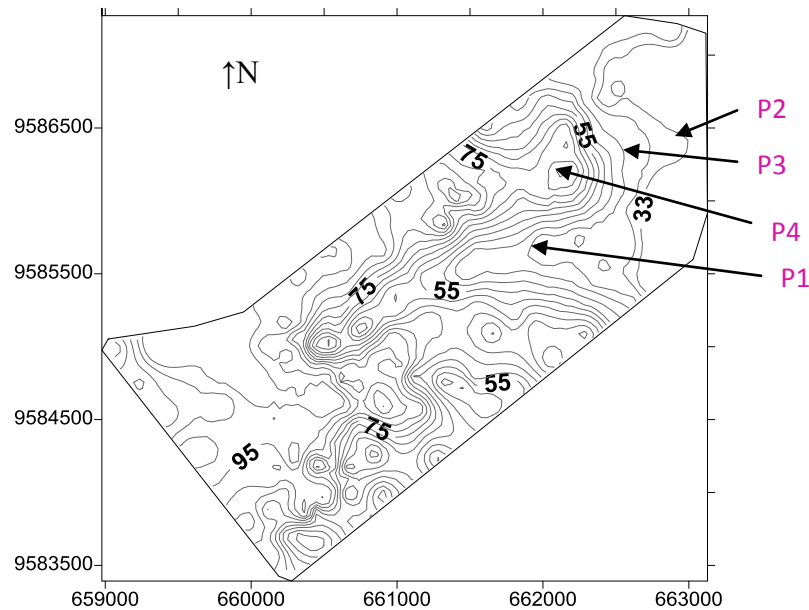


Figura 1. Localização dos perfis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Classificação dos solos

Os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013): Perfil 1 - Neossolo Flúvico, Perfil 2 - Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico, Perfil 3 - Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico e Perfil 4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico. O Neossolo Flúvico foi classificado até o segundo nível em razão do horizonte C1 que corresponde a seção de controle para a identificação da sua atividade da argila, cuja textura era areia franca. Segundo o SiBCS (Santos et al. 2013) o critério da atividade da argila não se aplica a materiais de solo dessa classe textural, fato que o torna sem enquadramento taxonômico a partir do segundo nível categórico.

3.2. Características morfológicas

A descrição das características morfológicas dos perfis estudados encontra-se no Quadro 1. No perfil P1, foram identificados quatro horizontes, todos com matiz 2,5Y. A textura dos horizontes do solo variou de areia-franca a francoarenosa. A estrutura do solo foi moderada, com blocos subangulares médios, a forte, com blocos subangulares grandes (Quadro 1). Não foi identificado horizonte B diagnóstico e o horizonte A tinha menos de 20 cm de espessura, caracterizando solos Neossolos (Santos et al., 2013).

No perfil P2, identificaram-se seis horizontes, todos com matiz 2,5Y. A textura dos horizontes do solo variou de arenosa a francoargilosa. A estrutura do solo foi fraca, granular e grande, a forte, com blocos subangulares grandes (Quadro 1). O horizonte Big1 e 2Big2 apresentaram respectivamente cor 2,5Y 5/3 e 2,5Y 7/1, e presença de mosqueados (Quadro 1), caracterizando o horizonte glei (Santos et al., 2013).

Foram identificados quatro horizontes no perfil P3, todos com matiz 2,5Y. Observou-se no horizonte Btgf, a presença de mosqueados vermelhos (7,5YR), indicando a presença de plintitas (Quadro 1), ocupando mais de 15% do volume do solo, caracterizando o horizonte plíntico (Santos et al., 2013). A textura dos horizontes do solo variou de francoarenosa (predomina) a francoargiloarenosa. A estrutura do solo foi forte com blocos angulares e grandes em todos os horizontes (Quadro 1). Os horizontes Btg e Btgf apresentaram mais de 10% da soma das espessuras dos horizontes subjacentes (A e E), espessura maior que 15 cm e a presença de horizonte E acima, caracterizando os horizontes como B textural (Santos et al., 2013).

Nos horizontes subsuperficiais dos perfis P1, P2 e P3, a coloração acinzentada (2,5Y com croma variando de 1 a 3) (Quadro 1) pode ser resultante da redução dos compostos de ferro em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação do nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódica (Coringa et al., 2012).

Mosqueados foram encontrados nos perfis P1, P2 e P3 (Quadro 1), localizados em áreas baixas, sujeitas a inundações em alguns meses do ano. Mosqueados são indicativos de condições de restrição à drenagem (Costa et al., 2009).

No perfil P4, identificaram-se três horizontes, sendo dois com matiz 2,5Y em função do alto teor de C orgânico. No horizonte Bwc2, a cor era amarelada, com matiz 10YR (presença de goethita) estando no topo da encosta, sem ocorrer inundação. No horizonte Bwc1, observou-se petroplintita, com dimensões de cascalho, ocupando mais de 50% do

volume do solo, caracterizando o horizonte concrecionário (Santos et al., 2013). No horizonte Bwc2 do P4, encontrou-se petroplintita, com dimensões de calhaus (Quadro 1). A petroplintita é resultante do processo de endurecimento da plintita de forma irreversível (Anjos et al., 2007).

Quadro 1. Descrição morfológica dos perfis dos solos estudados

Horizonte	Profundidade cm	Cor Munsell (úmida)		Classe Textural	Estrutura
		Matriz	Mosqueado		
P1 - Neossolo Flúvico					
A	0 - 11	2,5Y 3/1		franca	for. méd. bl. subang.
AC	11 - 56	2,5Y 4/2		francoarenosa	for. méd. bl. subang.
C1	56 - 120	2,5Y 5/2		areia-franca	mod. peq. bl. subang.
C2	120 - 200	2,5Y 5/3	10YR com.	francoarenosa	mod. peq. bl. subang.
P2 - Gleissolo Háptico Tb Distrófico Cambissólico					
A	0 - 19	2,5Y 3/2		franca	for. méd. bl. subang.
AB	19 - 35	2,5Y 4/3		francoargilosa	for. méd. bl. subang.
Big1	35 - 67	2,5Y 5/3	10YR com.	francoargiloarenosa	for. méd. bl. subang.
2Big2	67 - 160	2,5Y 7/1	10YR 5/6 com.	francoarenosa	mod. méd. prism.
3Cg1	160 - 190	2,5Y 5/6	10YR 5/6 pou.	arenosa	fr. muito peq. granu.
4Cg2	190 - 200	2,5Y 5/6		arenosa	fr. muito peq. granu.
P3 - Plintossolo Argilúvico Distrófico Abrúptico Gleissólico					
A	0 - 18	2,5Y 3/1		francoarenosa	for. méd. bl. ang.
E	18 - 43	2,5Y 4/2		francoarenosa	for. méd. bl. ang.
Btg	43 - 87	2,5Y 5/2	7,5YR 4/6 com.	francoarenosa	for. méd. bl. ang.
Btgf	87 - 200	2,5Y 5/2	10R ab.	francoargiloarenosa	for. méd. bl. ang.
P4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Êndico Latossólico					
A	0 - 48	2,5Y 3/1		francoargiloarenosa argiloarenosa muito	for. peq. bl. ang.
Bwc1	48 - 100	2,5Y 3/3		casalhenta	mod. muito peq. granu.
Bwc2	100 - 200	10YR 6/8		Argilosa com calhaus	fr. muito peq. granu.

Com.: comum; po: pouco; ab: abundante; for: forte; bl: bloco; subang.: subangular; ang.: angular; mod: moderada; méd: média; prism: prismática; fr: fraca; granu.: granular; peq.: pequena.

3.3. Características físicas

Os resultados granulométricos dos solos estudados encontram-se no Quadro 2. No P1, predominou a fração areia em todos os horizontes, com maiores quantidades de areia fina (AF) nos horizontes A, AC e C2. A argila dispersa em água (ADA) apresentou variação entre 64 – 107 g kg⁻¹. O grau de floculação (GF) observado foi < 50% em todos os horizontes e pode ser atribuído a sazonalidade das chuvas (Anjos et al., 2007) e/ou a oscilação do lençol freático (Zaparoli & Gasparetto, 2010), pois ambos enfraquecem a estabilidade dos agregados do solo; e/ou aos baixos valores dos óxidos de alumínio e de ferro (Quadro 4) (Vilarinho et al., 2013), e/ou baixos e médios teores de H+Al (Quadro 3), (Morelli & Ferreira, 1987) que são agregantes do solo.

Quadro 2. Granulometria dos solos estudados

Horizonte	AG	AF	Silte	Argila	Silte/Argila	ADA	GF
			g kg ⁻¹ TFSA				%
P1 - Neossolo Flúvico							
A	105,00	400,00	369,00	126,00	2,93	64,00	49,21
AC	111,00	416,00	326,00	147,00	2,22	107,00	27,21
C1	440,00	375,00	82,50	102,50	0,80	81,50	20,49
C2	148,00	589,00	158,50	104,50	1,52	88,00	15,79
P2 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico Cambissólico							
A	29,80	415,20	324,00	231,00	1,40	133,00	42,42
AB	39,00	399,00	276,50	285,50	0,97	187,00	34,50
Big1	45,00	452,00	254,00	249,00	1,02	142,00	42,97
2Big2	20,00	598,00	265,00	117,00	2,26	66,8	42,91
3Cg1	261,00	631,00	87,00	21,00	4,14	12,0	42,86
4Cg2	566,00	384,00	28,50	21,50	1,33	12,2	43,26
P3 - Plintossolo Argilúvico Distrófico Abrúptico gleissólico							
A	81,00	582,00	240,00	97,00	2,47	71,0	26,8
E	83,00	575,00	267,00	75,00	3,56	54,00	28,00
Btg	89,00	504,00	243,00	164,00	1,48	117,50	28,35
Btgf	65,00	436,00	232,50	266,50	0,87	187,00	31,63
P4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Êndico Latossólico							
A	109,00	445,00	164,50	281,50	0,58	113,00	59,86
Bwc1	117,00	397,00	124,50	361,50	0,34	151,00	57,12
Bwc2	90,00	287,00	158,00	465,00	0,34	239,50	48,49

ADA = argila dispersa em água; GF = grau de floculação.

A falta de uniformidade (aumento ou decréscimo) das quantidades de areia, silte e argila ao longo do perfil (Quadro 2) pode ser atribuída à deposição de sedimentos

transportados pelo processo aluvionar e/ou coluvionar, visto que esse perfil foi aberto em um vale que é banhado por um pequeno córrego. Os maiores teores de areia presentes nos horizontes C1 e C2 (Quadro 2) devem ser atribuídos a depósitos flúvio-coluvionares dos Depósitos Aluvionares e Coluvionares.

No P2, encontraram-se maiores quantidades de areia em todos os horizontes com predominância de AF. As maiores quantidades de areia observadas nos horizontes 3Cg1 e 4Cg2 podem ser de sedimentos depositados pelo processo aluvionar dos Depósitos Aluvionares e Coluvionares, pois esse perfil foi descrito na parte mais baixo do relevo, próximo a um córrego. Esse processo aluvionar também pode ser responsável pela descontinuidade litológica das quantidades de areia, silte e argila entre os horizontes. As quantidades da ADA variaram de 12 a 187 g kg⁻¹. Os valores do GF foram < 50%, em razão das mesmas causas relatadas no P1, com exceção de altos teores de H+Al e quantidades médias de óxido de alumínio nos horizontes A, AB e Big1. (Quadro 2).

A fração AF predominou em todos os horizontes no P3, com resultado semelhante observado por Costa et al. (2011) em Plintossolo Argilúvico, e decresceu em profundidade. As maiores quantidades de areia podem estar relacionadas aos arenitos do Grupo Barreiras. Os horizontes Btg e Btgf apresentaram o dobro da quantidade de argila que o horizonte E, com mudança abrupta entre os horizontes, caracterizando mudança textural abrupta (Santos et al., 2013). Os valores da ADA aumentaram em profundidade no perfil. O GF apresentou valores inferiores a 50%. Trabalhando com Plintossolos Argilúvicos no Maranhão, Anjos et al. (2007) encontraram também grau de floculação menor que 50% e atribuíram a forte alternância sazonal de períodos chuvosos, favorecendo a destruição de agregados do solo. Outros fatores, também, podem ter contribuído para explicar valores de GF < 50%, como os citados no P1, excetuando-se as quantidades médias de óxido de alumínio nos horizontes Btg e Btgf (Quadro 2).

No P4, predominou a fração areia nos horizontes A e Bwc1. As quantidades de argila aumentaram em profundidade, resultado também observado por Guimarães & Santos (2012), caracterizando Plintossolo Pétrico Concrecionário êtrico. As quantidades de ADA aumentaram em profundidade. O horizonte A e o Bwc1 apresentaram GF > 50% e as maiores quantidades de argila (Quadro 2) e C orgânico (Quadro 3), estando de acordo com Metzner et al. (2003), segundo os quais, as partículas de argila e matéria orgânica participam como agregantes na floculação; foram observados, também, muito alto e alto teores de H+Al

(Quadro 3) corroborando Morelli & Ferreira (1987), que citam o Al^{3+} e o H^+ como os principais agentes flocculantes em solos ácidos; e quantidades média e alta de óxido de alumínio e maior quantidade de óxido de ferro no horizonte A, que as encontradas nos perfis P1, P2 e P3 (Quadro 4). Óxido de alumínio e óxido de ferro são agregantes do solo, de acordo com Vilarinho et al. (2013).

3.4. Características químicas

Os resultados das análises químicas da caracterização dos perfis dos solos são apresentados no Quadro 3.

No P1, o pH em água variou de alto a médio e o pH em KCl variou de muito alto a alto, ambos com variação desuniforme, enquanto os valores de H^+Al diminuíram em profundidade, e os valores de Al quase não variaram. Os valores de ΔpH foram negativos em todos os horizontes, indicando a presença de cargas positivas na superfície dos coloides. No horizonte superficial, o teor de Ca foi superior ao de Mg, e resultado igual foi observado por Benedetti et al. (2011) em Neossolo Flúvico. A soma de bases (SB) apresentou valores decrescentes em profundidade, paralelamente aos valores de T (CTC) e de C orgânico. Os valores de T foram menores que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ caracterizando a presença de caulinita, argila de baixa atividade. Quanto ao valor V %, todos os horizontes apresentaram baixa saturação por bases (V <50%) caracterizando solos distróficos, ou seja, de baixa fertilidade. Os valores de P reduziram e aumentaram de um horizonte para outro (Quadro 3); este comportamento em Neossolo Flúvico encontra-se também no trabalho de Brandão et al. (2010) e pode ser atribuído ao processo aluvionar e coluvionar. A baixa fertilidade desse solo deve-se possivelmente a pobreza dos sedimentos transportados pelo processo aluvionar e coluvionar.

O P2 apresentou valor do pH em água variando de alto a muito baixo, e em KCl, de muito alto a médio. Os valores de ΔpH foram negativos em todos os horizontes, caracterizando a presença de cargas positivas na superfície dos coloides. Os valores de pH, H^+Al e Al tiveram variação desuniforme em profundidade.. Os valores de Mg foram iguais em quatro horizontes e maiores do que os valores de Ca, que tiveram maior variação. Os valores de SB, T, V % e C orgânico nos horizontes foram desuniformes. Esta desuniformidade nos horizontes, presente em todas as variáveis químicas, pode ser causada por sedimentos transportados pelo processo aluvionar, influenciando o conteúdo dos

horizontes superficiais. Os valores de T foram menores que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, indicando a presença de caulinita, argila de baixa atividade. Os valores de V foram inferiores a 50% em todos os horizontes, caracterizando solos distróficos, ou seja, de baixa fertilidade, provavelmente causada pela pobreza dos sedimentos depositados (Quadro 3).

Quadro 3. Atributos químicos dos solos estudados

Horizonte	pH		ΔpH	C org. g kg^{-1}	P mg kg^{-1}	K	Ca	Mg	H+Al $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		Al	SB	T	V %
	H ₂ O	KCl												
P1 - Neossolo Flúvico														
A	5,4	4,4	-1	15,7	4,51	0,07	1,17	0,72	3,79	0,27	1,97	5,76	34	
AC	4,8	4,6	-0,2	6,3	2,33	0,05	0,78	0,78	2,95	0,23	1,60	4,55	35	
C1	5,4	4,3	-1,1	2,9	2,02	2,79	0,28	0,56	1,74	0,21	0,88	2,62	34	
C2	4,7	4,3	-0,4	1,63	0,03	0,03	0,25	0,41	1,31	0,33	0,69	1,99	34	
P2 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico Cambissólico														
A	5	3,8	-1,2	9,41	3,82	0,08	0,67	0,76	5,53	1,34	1,51	7,04	21	
AB	4,5	4,1	-0,4	5,74	2,70	0,07	0,54	0,72	4,68	1,35	1,33	6,01	22	
Big1	5,3	3,6	-1,7	2,49	1,72	0,05	0,26	0,69	6,87	2,58	1,00	7,87	13	
2Big2	5,4	4,9	-0,5	2,65	1,52	0,04	0,38	0,61	1,22	0,00	1,03	2,25	46	
3Cg1	6,2	4,2	-2	0,75	1,30	0,01	0,13	0,06	0,84	0,13	0,21	1,05	20	
4Cg2	6,1	5,1	-1	0,78	2,01	0,02	0,13	0,07	0,74	0,07	0,22	0,96	23	
P3 - Plintossolo Argilúvico Distrófico Abrúptico Gleissólico														
A	5,3	4,2	-1,1	8,67	3,32	0,07	0,91	0,25	2,82	0,17	1,23	4,05	30	
E	4,8	4,4	-0,4	4,02	2,31	0,05	0,46	0,15	1,69	0,23	0,67	2,36	28	
Btg	4,9	3,8	-1,1	3,30	2,44	0,08	0,32	0,65	3,08	0,73	1,06	4,14	25	
Btgf	4,3	4,1	-0,2	2,42	2,51	0,08	0,33	0,84	3,18	1,00	1,25	4,42	28	
P4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Êndico Latossólico														
A	5,2	4,2	-1	22,07	3,62	0,05	1,72	1,63	9,87	0,54	3,41	13,28	26	
Bwc1	4,1	4,1	0	9,34	2,54	0,02	0,17	0,34	7,46	2,37	0,53	7,98	7	
Bwc2	4,4	3,8	-0,6	4,14	2,68	0,02	0,18	0,36	7,14	1,61	0,55	7,70	7	

C org. = C orgânico; SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions.

No P3, o pH em água teve variação de muito alto a médio, e o pH em KCl, em todos os horizontes, apresentou acidez muito alta. A acidez aumentou em profundidade, aliada a elevados teores de Al trocável. Resultados semelhantes foram encontrados por Coelho et al. (2001), Anjos et al. (2007) e Coringa et al. (2012) com Plintossolo Argilúvico. Esse comportamento, provavelmente, seja por causa do processo de ferrólise, geralmente observada em solos que sofrem encharcamentos periódicos (Brinkman, 1970). Os valores de ΔpH foram negativos em todos os horizontes, caracterizando a presença de cargas positivas na

superfície dos coloides. Os valores de SB e T diminuíram do horizonte A para o horizonte E, e depois aumentaram em profundidade. A quantidade de C orgânico foi maior no horizonte superficial e diminuiu em profundidade. Os valores de T foram menores que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, indicando a presença de caulinita, argila de baixa atividade. Os valores de V foram inferiores a 50% em todos os horizontes (Quadro 3), caracterizando solos distróficos, ou seja, de baixa fertilidade ocasionada provavelmente pela pobreza dos sedimentos poucos consolidados do Grupo Barreiras.

O P4 apresentou valores de pH em água com variação de muito alto a médio, e pH em KCl muito alto em todos os horizontes, com valores diminuindo em profundidade. Acidez muito alta em horizonte superficial encontra-se também no estudo de Benedetti et al. (2011) com Plintossolo Pétrico. Os valores de ΔpH foram negativos nos horizontes A e Bwc2, caracterizando a presença de cargas positivas na superfície dos coloides e igual a zero no horizonte Bwc1. Os teores de acidez potencial (H+Al) diminuíram em profundidade, enquanto os de acidez trocável (Al) foram desuniformes. Os valores de T foram menores que $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, indicando a presença de caulinita, argila de baixa atividade. Os valores de V foram inferiores a 50% em todos os horizontes, caracterizando solos distróficos, ou seja, de baixa fertilidade, relacionada à pobreza dos sedimentos poucos consolidados do Grupo Barreiras. O valor de C orgânico foi mais elevado no horizonte superficial desse perfil, pois estava sob floresta, mais preservada e adensada.

As menores quantidades de C orgânico nos horizontes superficiais de P2 e P3 (Quadro 3) devem-se, possivelmente, à vegetação de Savana Estépica Parque, que se caracteriza por árvores espaçadas (carnaúbas) com presença de gramíneas rasteiras.

A baixa saturação por bases, associada a altos valores de alumínio trocável, contribui para a manutenção de valores de pH próximos a 4,0 (Quadro 3) devido à alta intemperização dos minerais primários, condicionada pela elevada concentração de chuvas em alguns meses do ano.

A composição química da TFSA, determinada pelo ataque sulfúrico, encontra-se no Quadro 4. No P1, os valores de SiO_2 decresceram em profundidade, acompanhados pelos teores de Fe_2O_3 . Os valores de Al_2O_3 tiveram comportamento semelhante. As quantidades de óxido de ferro foram menores entre os óxidos (Quadro 2). Esse perfil era imperfeitamente drenado, apresentando mosqueados com indícios de gleização. Por essas condições, os baixos valores de ferro podem ser devido à pobreza de minerais com Fe dos sedimentos, e/ou à

proximidade do lençol freático e à drenagem deficiente, que promovem maior redução do Fe e sua remoção gradativa do sistema (Correa et al., 2008; Coringa et al., 2012).

No P2, os valores de SiO_2 e Al_2O_3 aumentaram do horizonte A para o AB e depois diminuíram em profundidade. Os valores de Fe_2O_3 apresentaram resultados semelhantes. Este comportamento semelhante foi verificado em Gleissolo Háplico no trabalho de Sousa & Souza (2013). Esse perfil apresentou horizontes glei e era imperfeitamente drenado. Por essas condições, os baixos valores de ferro podem ser devido à pobreza de minerais com Fe dos sedimentos, e/ou à proximidade do lençol freático e à drenagem deficiente, que promovem maior redução do Fe e sua remoção gradativa do sistema (Correa et al., 2008; Coringa et al., 2012).

Quadro 4. Atributos químicos da argila dos solos estudados

Horizonte	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
	----- g kg ⁻¹ -----		
P1 - Neossolo Flúvico			
A	70,00	60,00	14,11
AC	66,00	50,00	16,12
C1	40,00	25,00	9,47
C2	36,00	70,00	8,67
P2 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico Cambissólico			
A	106,50	145,00	19,95
AB	125,00	165,00	26,20
Big1	108,00	130,00	24,19
2Big2	42,00	75,00	11,69
3Cg1	31,00	40,00	3,02
4Cg2	3,50	25,00	5,85
P3 - Plintossolo Argilúvico Distrófico Abrúptico Gleissólico			
A	43,50	65,00	6,25
E	68,50	60,00	6,25
Btg	27,50	115,00	9,27
Btgf	14,50	160,00	21,16
P4 - Plintossolo Pétrico Concrecionário Êndico Latossólico			
A	68,00	150,00	42,12
Bwc1	51,00	255,00	20,36
Bwc2	22,00	310,00	57,64

O P3 apresentou valores dos óxidos desuniformes com certa tendência de aumento dos valores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 em profundidade (Quadro 3). Esse perfil era imperfeitamente drenado, apresentando horizontes glei. Por essas condições, os baixos valores de ferro podem ser devido à proximidade do lençol freático e à drenagem deficiente, que promovem maior redução do Fe e sua remoção gradativa do sistema (Correa et al., 2008; Coringa et al., 2012). Baixos teores de óxido de ferro em Plintossolo Argilúvico Distrófico petroplúntico no Maranhão foram também encontrados por Anjos et al. (2007).

No P4, os valores de SiO_2 diminuíram em profundidade, os valores de Al_2O_3 tiveram comportamento inverso, enquanto os valores de Fe_2O_3 apresentaram variação desuniforme. Entre os perfis, o P4 foi o que apresentou os maiores valores de Fe_2O_3 , estando em uma posição mais elevada do relevo, sendo um perfil moderadamente drenado. As maiores quantidades de Al_2O_3 foram encontradas nesse perfil e podem estar relacionadas às maiores quantidades de argila (Quadro 4).

3.5. Potencialidades e restrições dos solos estudados

Os quatro tipos de solo são de baixa fertilidade natural, dentre eles o Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico foi o mais fértil, considerando o maior valor de SB, T e C orgânico, apesar de apresentar valores de P baixos e K muito baixos.

A diferença de pH em KCl nos horizontes superficiais, entre os tipos de solo, foi pequena. O Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico foi o mais ácido com pH em KCl igual a 3,8, e o menos ácido foi o Neossolo Flúvico, com pH em KCl igual a 4,4.

Em relação à parte física, o Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico apresentou maior quantidade de argila no horizonte A, e uma barreira física para o crescimento das raízes no horizonte Bwc2, devido à presença do horizonte concrecionário, estando de acordo com os estudos de Oliveira (2005) e IBGE (2007). No Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico, foi observado no horizonte 2Big2 uma estrutura moderada prismática extremamente dura, dificultando o desenvolvimento das raízes.

O Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico (altitude 29 m) e o Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico (altitude 34 m) apresentaram drenagem deficiente, com inundações sazonais, o lençol freático sobe demais, ficando a alguns centímetros da

superfície do solo, dificultando o manejo. Essa limitação de uso e manejo foi também relatada por Martins et al. (2006) em Plintossolos e por Guimarães et al. (2013) em Gleissolos. O Neossolo Flúvico (altitude 41 m) apresentou pouca restrição em relação à drenagem, e o Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico (altitude 86 m) não apresentou nenhuma restrição, por estar em uma posição mais elevada do relevo.

Todos os perfis situaram-se em relevos relativamente planos, não tendo restrições à mecanização. Em alguns meses do ano, o Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico e o Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico apresentaram limitação à mecanização, devido à elevação do lençol freático.

Diante do exposto, o solo mais indicado para o cultivo agrícola foi o Neossolo Flúvico, pois apresentou menor acidez, pouca restrição à drenagem, sem restrição à mecanização e impedimento ao desenvolvimento das raízes.

4. CONCLUSÕES

1. As limitações agrícolas entre os solos estudados (baixa fertilidade, drenagem deficiente, impedimentos à mecanização e ao desenvolvimento das raízes) podem restringir a produtividade das culturas agrícolas e afetar a qualidade de vida das famílias assentadas.
2. É necessário medir, em vários pontos, a profundidade do horizonte concrecionário na área onde ocorre o Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico para avaliar melhor a sua potencialidade e restrição agrícola.

LITERATURA CITADA

ANJOS, L.H.C. dos; PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V. & RAMOS, D.P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. R. Bras. Ci. Solo, 31:1035-1044, 2007.

BENEDETTI, U.G.; VALE JÚNIOR, J.F. do; SCHAEFER, C.E.G.R.; MELO, V.F. & UCHÔA, S.C.P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos pliopleistocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. R. Bras. Ci. Solo, 35:299-312, 2011.

BRANDÃO, P.C.; SOARES, V.P.; SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, A.L. de & MENDONÇA, B.A.F. de. Caracterização de geo ambientes da floresta nacional do Purus, Amazônia ocidental: uma contribuição ao plano de manejo. Rev. Árvore, 34:115-126, 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Folha SA. 23-X/Z: São Luís NE/SE. Recife, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. (Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil). Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/sluisnese/sluisnese_ctgeologica.pdf>. Acesso em: 27 maio 2013.

BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3:199-206, 1970.

COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P. & LADEIRA, F.S.B. Macro e micromorfologia de ferricretes nodulares desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:371-385, 2001.

CORINGA, E.A.O.; COUTO, E.G.; PEREZ, X.L.O. & TORRADO, P.V. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. *Acta Amaz.*, 42:19-28, 2012.

CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; FONTES, M.P.F.; TORRENT, J. & CURI, N. Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1017-1031, 2008.

COSTA, A.M. da; CURI, N.; ARAÚJO, E.F. de; MARQUES, J.J.; MENEZES, M.D. de. Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul utilizando-se levantamento de solos. *Sci. For.*, 37:367-375, 2009.

COSTA, J.J.F.; NORONHA, N.C.; OLIVEIRA, C.S. de; AMARAL, V.P. do & PEREIRA, J.K.B. Descontinuidade litológica em solos de uma topossequência na ilha do Marajó. In: SEMINÁRIO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., Belém, 2011. Anais. Belém, UFRA, 2011. Disponível em: <http://www.proped.ufra.edu.br/attachments/072_DESCONTINUIDADE%20LITOL%C3%93GICA%20EM%20SOLOS%20DE%20UMA%20TOPOSSEQ%C3%9C%C3%80NCIA%20NA%20ILHA%20DO%20MARAJ%C3%93.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

FREITAS, J.P. de; SILVA NETO, M.F. da; FREITAS, F.E. de; LINHARES, E.J. & MEDEIROS, M.C.S. Análise do uso e ocupação do solo no assentamento Santo Antônio no município de Cajazeiras-PB. *Geo Ambient.*, 18:100-117, 2012. Disponível em: <<http://revistas.jatai.ufg.br/index.php/geoambiente/issue/view/63#.UknVQdJ6bfU>>. Acesso em: 30 set. 2013.

GUIMARÃES, H.M.A. & SANTOS, M.Z.F. dos. Caracterização dos atributos morfológicos, físicos e químicos do solo em uma propriedade no município de Silvanópolis, TO. *Rev. Interface*, 5:55-65, 2012.

GUIMARÃES, S.T.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; NEVES JUNIOR, A.F.; SILVA, F.W.R.; MACEDO, R.S. & SOUZA, K.W. de. Caracterização e classificação de Gleissolos da várzea do rio Solimões (Manacapuru e Iranduba), Amazonas, Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 37:317-326, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. 2.ed. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. 316p.

MARANHÃO (Estado). Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Laboratório de Geoprocessamento-UEMA. Atlas do Maranhão. São Luís, GEPLAN, 2002. 44p.

MARTINS, A. K. E.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SILVA, E.; SOARES, V.P.; CORRÊA, G.R. & MENDONÇA, B.A.F. de. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de ipucas na planície do médio Araguaia – Estado de Tocantins. Rev. Árvore, 30:297-310, 2006.

METZNER, A.F.; CENTURION, J.F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Botucatu, UNESP, 2003. CD-ROM.

MORELLI, M. & FERREIRA, F.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas de um Latossolo. R. Bras. Ci. Solo, 11:1-6, 1987.

OLIVEIRA, J.B. de. Pedologia aplicada. 2.ed. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p.

QUEIROZ, A.F. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA NETO, M.B. de & MENDES, A.M.S. Potencialidades e limitações para o uso agrícola de solos localizados no entorno do lago de Sobradinho em Remanso – BA. In: FERTIBIO, 2012., Maceió, 2012. Anais. Maceió, SBCS, 2012.
Disponível em:
<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/946672/1/FERTBIO1722.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2013.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

SANTOS, A.C. dos; FERREIRA, E.M. & ARAÚJO, L.C. de. Propriedades químicas e físicas de solos em áreas sob pastagens em cerrado do norte do Tocantins. Rev. Acad. Cien. Agrar. Ambient., 7:55-63, 2009.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. & SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 6.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100p.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F. & OLIVEIRA, J.B. de. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2013. 353p.

SILVA, E.B. da; NOGUEIRA, R.E. & UBERTI, A.A.A. Avaliação da aptidão agrícola das terras como subsídio ao assentamento de famílias rurais, utilizando sistemas de informações geográficas. R. Bras. Ci. Solo, 34:1977-1990, 2010.

SOUSA, J.B. de. & SOUZA, C.A. de. Caracterização morfológica e mineralógica de solos em ambientes de cordilheira e campo de inundação no pantanal de Poconé, Mato Grosso. Bol. Geogr., 31:53-66, 2013.

SPAROVEK, G. & MAULE, R.F. Recomendação para a melhoria da qualidade dos assentamentos. In: SPAROVEK, G., org. A qualidade dos assentamentos da reforma agrária brasileira. São Paulo, Páginas & letras Editora e Gráfica, 2003. p.89-135.

STEEG, J.; COOPER, M.; DOURADO NETO, D.; SPAROCEK, G.; MAULE, R.F. & STEEG, J.V. de. Os assentamentos inseridos no contexto nacional. In: SPAROVEK, G., org. A qualidade dos assentamentos da reforma agrária brasileira. São Paulo, Páginas & letras Editora e Gráfica, 2003. p.141-157.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38:55-94, 1948.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, L.R. & LIMA, J.C. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE, 1991. 124p.

VILARINHO, M.K. C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A.F.; SILVA, M.C. & BONFIM-SILVA, E.M. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. Rev. Bras. Agric. Irrig., 7:17-26, 2013.

ZAPAROLI, F.C. M. & GASPARETTO, N.V.L. Distribuição de solos e sua relação com o relevo em uma vertente no município de Floraf-PR. Bol. Geogr., 28:49-63, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Descrição geral: perfil de Neossolo Flúvico

1A - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL 1

DATA – 07-07-2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – Neossolo Flúvico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Assentamento Malhada do Meio (Tamburi). Chapadinha-MA, 662181 S e 9586184 W (UTM).

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira aberta, com declive de 2%, sob *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá ou unha-de-gato).

ALTITUDE – 41 metros.

LITOLOGIA – areias coluviões fluviais.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Depósitos Aluvionares e Coluvionares.

CRONOLOGIA – Cenozoico-Quartenário-Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – plano.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Savana Estépica Parque.

USO ATUAL – área de lavoura anual abandonada.

CLIMA – Subúmido C₂WA'a'.

DESCRITO E COLETADO POR - James Ribeiro de Azevedo.

2A. Descrição morfológica do Perfil 1

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 – 11 cm, cinzento muito escuro (2,5Y 3/1 úmida) e cinzento-brumado-claro (2,5Y 6/2, seco); franca; forte média blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AC 11 – 56 cm, bruno-acinzentado-escuro (2,5Y 4/2 úmida) e bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 seco); francoarenoso; forte média blocos subangulares; dura, muito firme, plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C1 56 – 120 cm, bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 úmida) e amarelo-oliváceo (2,5Y 7/3 seca); areia franca; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura e friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- C2 120 – 200 cm +, bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/3 úmida), mosqueado bruno-amarelado (10YR úmida) e cinzento-claro (2,5Y 7/2 seco), mosqueado amarelo-brunado (10YR 6/8 seco); franco-arenoso; moderada pequena blocos subangulares; dura e friável, ligeiramente plástica e não pegajosa.

APÊNDICE B. Descrição geral: perfil de Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico

1B - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL 2

DATA – 07-07-2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Assentamento Malhada do Meio (Tamburi). Chapadinha-MA, 662893 S e 9586290 W (UTM).

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira aberta, com declive de 2%, sob carnaúba.

ALTITUDE – 29 metros.

LITOLOGIA – areias coluviões fluviais.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Depósitos Aluvionares e Coluvionares.

CRONOLOGIA – Cenozoico-Quaternário-Holoceno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produtos da alteração dos sedimentos supracitados.

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – plano.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – mal drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Savana Estépica Parque.

USO ATUAL – mata ciliar.

CLIMA – Subúmido C2WA'a'.

DESCRITO E COLETADO POR - James Ribeiro de Azevedo.

2B. Descrição morfológica do Perfil 2

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 – 19 cm, bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2 úmida) e cinzento-brumado-claro (2,5Y 6/2 seco); franca; forte média blocos subangulares; dura e friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- AB 19 – 35 cm, bruno-oliváceo (2,5Y 4/3 úmida) e bruno-amarelo-claro (2,5Y 6/3 seca); francoargiloso; forte média blocos subangulares; ligeiramente dura e friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Big1 35 – 67 cm, bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/3 úmida), mosqueado bruno-amarelado (10YR úmida) e bruno-amarelado-claro (2,5Y 6/3 seca), mosqueado amarelo-brunado (10YR 6/6 seca); francoargiloarenoso; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura e friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.
- 2Big2 67 – 160 cm, cinzento-claro (2,5Y 7/1 úmida), mosqueado bruno-amarelado (10YR 5/6 úmida) e amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 8/2 seca), mosqueado amarelo (10YR 7/6 seco); francoarenoso; moderada média prismática; extremamente dura e extremamente firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição abrupta e plana.
- 3Cg1 160 – 190 cm, amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 5/6 úmida), mosqueado bruno-amarelado (10YR 5/6 úmida) e branco (2,5Y 8/1 seca), mosqueado amarelo-brunado (10YR 6/6 seco); areia; fraca muito pequena granular; dura e extremamente firme, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e plana.

4Cg2 190 – 200 cm +, bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/6 úmida) e amarelo (2,5Y 8/6 seco); areia; fraca muito pequena granular; solta e friável, não plástica e não pegajosa.

APÊNDICE C. Descrição geral: perfil de Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico

1C - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL 3

DATA – 07-07-2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Assentamento Malhada do Meio (Tamburi), Chapadinha-MA, 662646 S e 9586219 W (UTM).

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira aberta, com declive de 2%, sob vegetação nativa de carnaúba.

ALTITUDE – 33 metros.

LITOLOGIA –arenitos finos argilosos e cangas ferruginosas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Paleogeno-Neogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produtos de alteração.

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – plano.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Savana Estépica Parque.

USO ATUAL – extrativismo de carnaúba.

CLIMA – Subúmido C₂WA'a'.

DESCRITO E COLETADO POR - James Ribeiro de Azevedo.

2C. Descrição morfológica do Perfil 3

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 – 18 cm, cinzento muito escuro (2,5Y 3/1 úmida) e bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 seco); francoarenoso; forte média blocos angulares; macia e muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E 18 – 43 cm, bruno-acinzentado-escuro (2,5Y 4/2 úmida) e bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 seca); francoarenoso; forte média blocos angulares; macia e muito friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e abrupta.
- Btg 43 – 87 cm, bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 úmida), mosqueado bruno-forte (7,5YR 4/6 úmida) e amarelo-oliváceo (2,5Y 7/3 seca), mosqueado amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8 seca); francoarenoso; forte média blocos angulares; macia e muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e plana.
- Btgf 87 – 200 cm +, bruno-acinzentado (2,5Y 5/2 úmida), mosqueado vermelho (10R úmida) e cinzento-claro (2,5Y 7/1 seca), mosqueado vermelho (10R 5/8 seco); francoargiloarenoso; forte média blocos angulares; dura e muito friável, plástica e pegajosa.

APÊNDICE D. Descrição geral: perfil de Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico

1D - DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL 4

DATA – 12-07-2012

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Assentamento Malhada do Meio (Tamburi), Chapadinha-MA, 661996 S e 9585644 W (UTM).

SITUAÇÃO, DECLIVE e COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira aberta, com declive de 2%, sob vegetação nativa de babaçu.

ALTITUDE – 86 metros.

LITOLOGIA –arenitos finos argilosos e cangas ferruginosas.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Grupo Barreiras.

CRONOLOGIA – Paleogeno-Neogeno.

MATERIAL ORIGINÁRIO – produtos de alteração.

PEDREGOSIDADE – extremamente pedregosa.

ROCHOSIDADE – ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM – moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Estacional Decidual Submontana.

USO ATUAL – extrativismo de babaçu.

CLIMA – Subúmido C₂WA'a'.

DESCRITO E COLETADO POR - James Ribeiro de Azevedo.

2D. Descrição morfológica do Perfil 4

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0 – 48 cm, cinzento muito escuro (2,5Y 3/1 úmida) e cinzento-escuro (2,5Y 4/1 seco); francoargiloarenoso; forte pequena blocos angulares; ligeiramente dura e friável, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Bwc1 48 – 100 cm, bruno-oliváceo-escuro (2,5Y 3/3 úmida) e bruno-oliváceo (2,5Y 4/3 seca); argiloarenosa muito cascalhenta; moderada muito pequena granular; não plástica e não pegajosa; transição ondulada e abrupta.
- Bwc2 100 – 200 cm +, amarelo-brumado (10YR 6/8 úmida) e amarelo (10YR 7/6 seca); argila cascalhenta e com calhaus; fraca muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa.

APÊNDICE E. Perfis dos solos estudados



1E. Perfil 1 – Neossolo Hápico



2E. Perfil 2 – Gleissolo Hápico Tb
Distrófico cambissólico



3 E. Perfil 3 – Plintossolo Argilúvico
Distrófico abruptico gleissólico



4 E. Perfil 4 – Plintossolo Pétrico
Concrecionário êndico latossólico

CAPÍTULO 3 - VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DO SOLO EM UM ASSENTAMENTO DE REFORMA AGRÁRIA EM CHAPADINHA-MA

RESUMO - O estudo da variabilidade de atributos químicos e físicos do solo é muito importante para realizar seu manejo de forma adequada. O assentamento Malhada do Meio, localizado em Chapadinha-MA, possui uma área de 630,86 ha, a vegetação é de Floresta Estacional Decidual Submontana e Savana Estépica (Parque e Arborizada), o relevo é ondulado e plano, com altitude média de 67 m, e a geologia é formada por arenitos finos argilosos do Grupo Barreiras, e Depósitos Coluvionares e Aluvionares. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo no assentamento Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha, Estado do Maranhão, para subsidiar o planejamento do uso do solo. Coletaram-se 183 amostras de solo georreferenciadas, na profundidade de 0,0 - 0,20 m, em Plintossolos, Neossolo e Gleissolo. Foram analisadas as variáveis químicas: pH, H+Al, Al, SB, V %, T, P, K, C orgânico, Ca e Mg, e granulométrica: argila, silte e areia. Realizaram-se análises de estatística descritiva e geoestatística. O CV foi alto para a maioria das variáveis, com exceção de pH com Cv baixo e da areia, com CV médio. Os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais destas variáveis foram o exponencial e o esférico. O Grau de Dependência Espacial foi forte para C orgânico, K, Ca, H+Al, T, V %, argila e areia, e moderado para P, Al, pH, Mg, SB e silte. Os valores do alcance foram divididos em dois grupos: os menores, com valores entre 333 m a 693 m para K, H+Al, T, argila e areia, e os maiores, variando entre 903 m a 1772 para pH, P, C orgânico, Ca, Mg, SB, V %, Al e silte. Concluiu-se que os mapas do padrão espacial identificaram áreas com maiores teores dos principais macronutrientes e de maior pH que podem auxiliar no planejamento do uso e manejo do solo

Termos de indexação: geoestatística, atributos químicos e físicos, manejo do solo.

SOIL ATTRIBUTES SPATIAL VARIABILITY IN A LAND REFORM SETTLEMENT IN CHAPADINHA-MA, BRAZIL

SUMMARY - Chemical and physical soil properties are particularly important to guide adequate soil management. The Malhada do Meio settlement, located in Chapadinha-MA, has an area of 630.86 ha; vegetation is Floresta Estacional Decidual Submontana and Savana Estépica (Parque and Arborizada); terrain is undulating and flat, with an average elevation of 67 m, and the geology is composed of clayey fine sandstones of Grupo Barreiras, and Depósitos Aluvionares and Coluvionares. The aim of this study was to evaluate the spatial variability of the soil properties in Malhada do Meio settlement, located in Chapadinha Municipality, State of Maranhão, Brazil, in order to assist land use planning. 183 geo-referenced soil samples were collected, at 0.00-0.20 m depths, in Plinthsoils, Entisol and Gleysol. The chemical variables: pH, H+Al, Al, BS, V%, CEC, P, K, organic C, Ca, Mg, SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃; and physical variables: clay, silt and sand were evaluated. The spatial dependence was stronger for organic C, K, Ca, H+Al, CEC, V%, clay and sand, and moderate for P, Al, pH, Mg, BS and silt. The range values were divided into two groups; lower, ranging from 333 m to 693 m K, H+Al, CEC, clay and sand, and the higher, ranging from 903 to 1772 m pH, P, organic C, Ca, Mg, BS, V%, Al and silt. Maps of the spatial pattern identified areas with higher concentrations of the major macro-nutrients and higher pH can assist in planning the use and management of the soil.

Index terms: geostatistics, chemical and physical attributes, soil management.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, foram implantados, no período de 1900 – 2011, 8.865 projetos de assentamento de reforma agrária, abrangendo uma área de 87.559.858,95 ha, beneficiando 931.730 famílias (Brasil, 2012). No Maranhão, foram implantados 952 projetos de assentamento, em uma área de 4.600.598,87 ha, com 124.288 famílias assentadas. Malhada do Meio é um desses assentamentos do Estado, onde se pratica o sistema de derruba e queima, e não possui um plano de uso e de manejo do solo.

O uso da terra sem um planejamento adequado implica seu empobrecimento e baixa produtividade das culturas, que resulta na diminuição do nível socioeconômico e tecnológico da população rural (Rampim et al., 2012). Para realizar um planejamento do solo para fins de uso e manejo, é importante avaliar como os atributos químicos e físicos do solo estão distribuídos em uma determinada área.

A geoestatística é uma ferramenta utilizada para analisar como estão distribuídos espacialmente os atributos do solo em uma área, sendo eficaz para a compreensão da magnitude e a estrutura da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos, e estes são indicadores fundamentais para o manejo sustentável do solo (Wojciechowski et al., 2009).

O estudo da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo visa minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas, procurando otimizar os sistemas de produção agrícola (Molin, 2000). Com o intuito de avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo para auxiliar o seu manejo, vários autores têm contribuído para esse fim. Valladares et al. (2006) analisaram a relação espacial entre a eficiência técnica da cultura do arroz e alguns atributos relacionados à fertilidade do solo, em área de assentamento de reforma agrária; A identificação de zonas homogêneas de uso e manejo do solo com fins de produção agrícola pode ser encontrada em Lima et al. (2010a) que avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos e da produção de pimenta-do-reino, e Silva et al. (2010) avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos em duas áreas cultivadas com café, sob manejo orgânico e convencional.

Em áreas de vegetação nativa, também têm sido estudada a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo nos trabalhos realizados por Bekele & Hudnall (2006), Cavalcante et al. (2007), Wojciechowski et al. (2009), Nascimento & Landim (2009), Carvalho et al. (2010), Silva Neto et al. (2011) e Skorupa et al. (2012).

Poucos são os trabalhos realizados com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo em projetos de assentamento de reforma agrária.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo no assentamento de reforma agrária Malhada do Meio, em área de floresta, localizado no município de Chapadinha, Estado do Maranhão, para subsidiar o planejamento do uso do solo, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida das famílias assentadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no assentamento de reforma agrária Malhada do Meio, localizado no município de Chapadinha – MA, com coordenadas centrais (UTM) 9585546 W e 661510 S, com altitude média de 67 m e área de 630,86 ha. O relevo é de colinas de topos arredondados de baixa altitude e plano (Figura 1). O substrato geológico é constituído por arenitos finos argilosos ou muito argilosos e cangas ferruginosas do Grupo Barreiras (Paleogeno-Neogeno) e de areias coluviões fluviais dos Depósitos Aluvionares e Coluvionares (Cenozoico-Quaternário-Holoceno) (Brasil, 2000). O solo predominante é Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico latossólico, seguido de Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto gleissólico, Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico Tb Distrófico cambissólico classificados de acordo com os critérios de Santos et al. (2013). A vegetação, de acordo com a classificação de Veloso et al. (1991), é de Floresta Estacional Decidual Submontana (maior área) com ocorrência de babaçu e Savana Estépica (Parque e Arborizada), com ocorrência de carnaúba.

O clima da região de acordo com a classificação de Thornthwaite (1948) é do tipo C₂WA'a', com precipitação pluviométrica anual entre 1600 a 2000 mm e temperatura média anual variando de 26° a 27°C (Maranhão, 2002).

Em Malhada do Meio, vivem 38 famílias de agricultores familiares que adquiriram a área por meio do crédito fundiário. O sistema de produção consiste no cultivo consorciado de mandioca, arroz, milho e feijão; na fabricação de farinha de mandioca; na criação de pequenos e médios animais de forma extensiva (aves, suínos e ovinos); no extrativismo do babaçu (mais importante); na caça de animais silvestres (cutia, paca e tatu), e na pesca. A área de cultivo agrícola é de aproximadamente um ha por família, que consiste na derruba e queima da vegetação, na construção de cerca para evitar a entrada de animais domésticos, no

plantio, na capina e/ou aplicação de herbicida e na colheita. Depois de dois anos, quando se colhem arroz, milho, feijão e, por último, as raízes de mandioca, a área é abandonada e fica em pousio. Depois de alguns anos, a vegetação é novamente derrubada para implantação de novos cultivos. As famílias cultivaram arroz, por três anos consecutivos, em área de 65 ha, com uso de mecanização, calcário e adubos, mas foi abandonada há mais de cinco anos por falta de assistência técnica e de crédito.

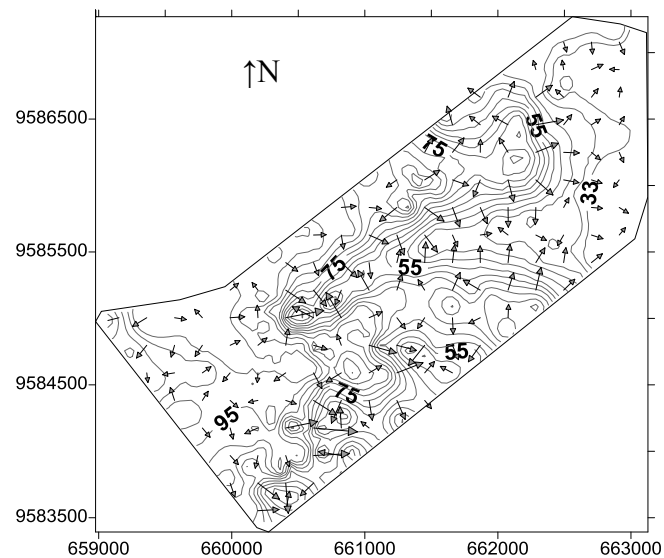


Figura 1. Mapa de elevação com vetores das diferentes cotas

Amostras do solo foram coletadas e georreferenciadas na profundidade de 0,0 – 0,20 m, em uma grade irregular, sendo 92 pontos com distância de 300 m e em cinco adensamentos, distribuídos de forma representativa da área total, com 91 pontos distanciados de 150 m, totalizando uma malha amostral de 183 pontos. A esta malha foram amostrados mais 16 pontos para validação externa (Figura 2), correspondendo a 9% dos dados.

Os valores de pH (em CaCl_2), P (método da resina), K, Ca, Mg, C orgânico, H+Al e Al foram determinados pelos métodos de Raij et al. (1987). Realizou-se a granulometria do solo, pelo método da pipeta, utilizando-se de uma solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação mecânica em baixa rotação, por 16 h (Embrapa, 1997). A fração argila foi separada por sedimentação, as areias grossa e fina por tamisação, e o silte foi calculado por diferença.

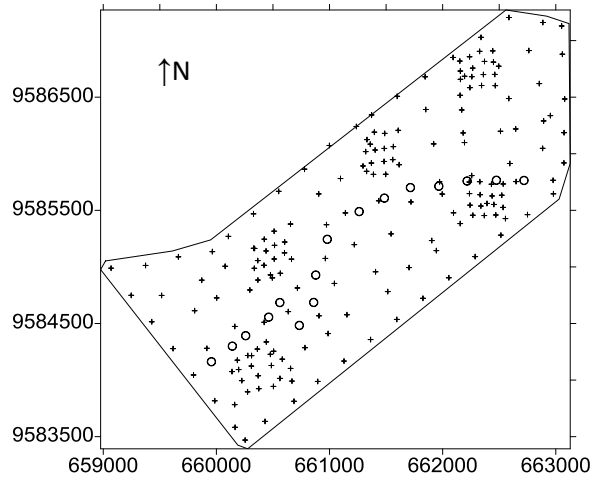


Figura 2. Malha amostral (x). Pontos amostrados para validação externa (o)

Inicialmente, a variabilidade dos dados foi analisada pela estatística descritiva (média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão, assimetria, curtose e coeficiente de variação). A dependência espacial foi modelada com ajustes de modelos matemáticos teóricos permissíveis aos semivariogramas experimentais. A escolha desses modelos foi baseada principalmente, na validação cruzada, na menor SQR (Soma de Quadrados do Resíduo) e no maior coeficiente de determinação (R^2). Na validação cruzada, todas as decisões da modelagem da variografia (escolha de modelo, direção e número de vizinhos) foram testadas. Definidos os modelos, fez-se a interpolação de dados (krigagem ordinária) para a elaboração dos mapas de padrão espacial.

Na validação externa, compararam-se os valores estimados pela Krigagem Ordinária (KO) com os valores observados nos 16 pontos amostrais. Para isso, foram utilizadas as equações da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM)

$$REQM = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2 \right\}^{0,5} \quad (1)$$

e do Erro Absoluto Médio (EAM).

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |z(x_i) - \hat{z}(x_i)|}{n} \quad (2)$$

Em que, n é o número de valores utilizados na validação; $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i , e $\hat{z}(x_i)$ é o valor estimado da propriedade pela KO no ponto i . Menores valores de REQM e EAM estão relacionados, respectivamente, a maior acurácia e a maior precisão nas estimativas.

Foram utilizados os seguintes programas: Minitab, GS+ versão 9 (Robertson, 1998) e o programa Surfer versão 9 (Golden Software, 1999).

O Grau de Dependência Espacial (GDE) foi calculado pela fórmula [$GDE = (C_0/C_0+C_1) \times 100$] desenvolvida por Cambardella et al. (1994), com a seguinte classificação: forte, se $GDE < 25\%$; moderada, se $26\% < GDE < 75\%$, e fraca, se $GDE > 75\%$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferenças significativas entre os dois conjuntos de dados, malha amostral ($n=183$) e validação externa ($n=16$) pelo teste-t ($p > 0,05$) para todas as variáveis estudadas.

Os valores da média e da mediana das variáveis estudadas foram próximos, indicando simetria dos dados (Quadro 1). A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, embora caudas alongadas possam comprometer as análises (Cressie, 1991); por este motivo, os dados das variáveis K, Ca, Mg, SB (soma de bases), T (capacidade de troca de cátions), areia e argila foram transformados para escala logarítmica e para P, H+Al, Al e V %, foi utilizada a transformação radicial. A maioria dos coeficientes de variação (CV) das variáveis, classificados de acordo com Warrick & Nielsen (1980), foi de valores altos, com exceção do pH, com CV baixo, e da areia, com CV médio. As altas variações dos atributos estudados podem ser atribuídas às variações do relevo, dos tipos de solo, das diferentes idades das capoeiras (vegetação em regeneração) e da composição da serrapilheira.

Quadro 1. Estatística descritiva das variáveis químicas e granulométrica estudadas

Variável	M	Med.	Máx.	Mín.	DP	Assim.	Curt.	CV
pH	4,2	4,2	5,1	3,5	0,33	0,29	-0,3	7,84
P ¹	6,66	6	14	3	2,23	0,76	0,3	33,46
C org. ²	19,49	19,14	40,02	5,22	8,45	0,23	-0,33	43,36
K ³	1,5	1,3	4,3	0,4	0,81	1,2	1,19	54,78
Ca ³	14	12	47	3	9,3	1,21	1,43	66,36
Mg ³	8,6	8	30	2	5,54	1,29	1,8	63,97
H+Al ³	68,15	64	150	28	25,05	0,53	-0,12	36,76
SB ³	26,19	22,4	80,3	5,5	16,88	1,3	1,46	63,71
T ³	91,13	91,5	199,8	33,6	28,77	0,34	0,18	31,57
V ⁵	26,62	26	57	4	10,89	0,18	-0,31	42,51
Al ³	6,82	4	56	0	7,34	2,81	12,3	107,63
Arg. ⁴	188,29	186,5	346	75	62,62	0,43	-0,48	33,26
Silte ⁴	176,6	171	344	56	68,5	0,61	-0,33	38,79
Areia ⁴	632,33	653	834	342	96,58	-0,45	-0,21	15,27

¹ (mg dm⁻³); C org. = C orgânico; ² (g dm⁻³); SB = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions; ³ (mmolc dm⁻³); Arg. = argila; ⁴ (g kg⁻¹); ⁵ (%); M = Média; Med. = Mediana; Máx. = Máximo; Mín. = Mínimo; DP = desvio-padrão; Assim. = Assimetria, e Curt. = Curtose.

Valores altos de CV para a maioria das variáveis também foram encontrados por Lima et al. (2010b) em Argissolo Vermelho-Amarelo, em área de vegetação natural, em processo de regeneração; Silva Neto et al. (2011), trabalhando em Neossolo Quartzarênico Órtico, sob diferentes formas de uso e manejo: floresta, capoeira, solo desnudo, cultura agrícola, pastagem e cerradão, e Skorupa et al. (2012), em área composta de vegetação de campo cerrado, cerradão e cerrado *stricto sensu*. Valores de CV baixo de pH foram também observados nos trabalhos de Nascimento & Landim (2009) e Lima et al. (2010b), ambos em área de floresta, e Silva Neto et al. (2011) em área de floresta e em outros tipos de vegetação. Resultados com CV médio de pH foram encontrados por Bekele & Hudnall (2006), em área de floresta, e Skorupa et al. (2012), em área de cerrado. CV alto de areia, sob cerrado, foram observados por Skorupa et al. (2012), diferente de CV médio encontrado nesse estudo.

Os valores dos coeficientes angulares próximos de um e dos lineares próximos de zero da validação cruzada, além de valores de SQR baixos, para a maioria das variáveis, e valor de $R^2 \geq 0,656$ indicam que a maioria dos semivariogramas foi bem ajustada (Quadro 2). O modelo exponencial predominou no ajuste, o qual descreve fenômenos mais erráticos em pequena escala. Já o modelo esférico descreve fenômenos menos erráticos em pequena escala (Isaaks & Srivastava, 1989), estando de acordo com Mcbratney & Webster (1986), os quais

observaram que os modelos matemáticos que mais se ajustam aos atributos do solo são os modelos esférico e exponencial.

Quadro 2. Modelos, parâmetros dos semivariogramas e coeficientes de validação cruzada e externa das variáveis químicas e granulométrica estudadas

Variável	Mod.	C ₀	C ₀ +C ₁	A (m)	GDE	SQR	R ²	Val. Cruzada		Val. Externa	
								CRA	CRL	EAM	REQM
pH	Esf.	0,0633	0,1276	1727	49,61	4,06E-04	0,897	0,98	0,08	0,25	0,31
P	Esf.	0,1022	0,2054	1656	49,76	1,97E+00	0,798	1,023	0,0	1,86	2,29
C org.	Exp.	0,0194	0,2138	921	42,48	3,77E+00	0,760	1,051	0,06	11,69	14,64
K	Exp.	0,0101	0,2572	693	3,93	2,93E-03	0,77	1,092	0,02	0,47	0,65
Ca	Exp.	0,07	0,496	903	14,11	0,0141	0,754	1,168	-0,12	6,26	8,33
Mg	Esf.	0,2026	0,5042	1766	40,18	3,45E-03	0,949	1,119	0,1	3,51	4,97
H+Al	Exp.	0,218	22,680	333	9,61	0,0808	0,656	1,035	0,1	23,80	28,56
SB	Esf.	0,1716	0,4682	1772	36,65	8,85E-03	0,899	1,112	0,08	10,18	12,73
T	Exp.	0,0179	0,1208	660	14,82	4,51E-01	0,807	1,047	0,07	23,89	29,76
V	Exp.	0,253	1,403	1230	18,03	0,0563	0,909	1,025	0,03	9,59	11,89
Al	Esf.	0,659	1,352	1633	48,74	0,0688	0,832	1,167	0,13	2,45	2,88
Arg.	Exp.	0,0114	0,1178	417	9,68	1,92E-01	0,865	1,063	-0,14	41,4	53,3
Silte	Esf.	1480	4390	1686,7	33,71	2332885	0,858	0,981	4	49,44	59,60
Areia	Exp.	0,00193	0,02536	489	7,61	2,30E-02	0,672	1,004	0,01	82,97	102,2

Grau de Dependência Espacial forte foi encontrado na maioria das seguintes variáveis: C orgânico, K, Ca, H+Al, T, V %, argila e areia, e moderado em P, Al, pH, Mg, SB e silte (Quadro 2). Resultado semelhante em que encontraram GDE forte para a maioria dos atributos do solo foi obtido por Carvalho et al. (2010), trabalhando em Latossolo Amarelo Distrocoeso Argissólico em área de reserva natural e Silva Neto et al. (2011) em área de floresta e em outros tipos de vegetação.

O GDE forte e moderado decorre pelo fato de ser uma área ainda pouco explorada por agricultura convencional, pois os agricultores familiares ainda não utilizam correção de acidez do solo ou fertilizantes, apenas a queima da vegetação como forma de fertilização e preparo de solo. Segundo Cambardella et al. (1994), a dependência espacial fraca ou a ocorrência de estrutura não definida se deve às variações extrínsecas, causadas pela aplicação de fertilizantes, preparo do solo e outras práticas de cultivo.

Os valores do alcance dos atributos do solo foram divididos em dois grupos: os menores, com valores entre 333 m a 693 m para K, H+Al, T, argila e areia, e os maiores,

variando entre 903 m a 2.394 m para pH, P, C orgânico, Ca, Mg, SB, V %, Al e silte (Quadro 2). As variáveis que apresentaram alcances maiores foram justamente as que obtiveram GDE moderado, excetuando Ca e V %, que apresentaram GDE forte.

Para valores de Ca, Mg, K, SB, V % e pH, a distribuição espacial foi semelhante, com maiores valores na área central dos mapas de padrão espacial, e menores valores nas áreas de menor cota, e nas áreas mais onduladas de maior cota (Figura 3).

Quanto ao pH, seus maiores valores foram observados onde se encontram os maiores valores das bases, pois estas têm, segundo Ronquim (2010), a propriedade de elevar o pH do solo. Padrão de distribuição espacial semelhante foi também encontrado por Carvalho et al. (2010) entre Ca, Mg, SB e pH, e Lima et al. (2010b) entre pH, K, Ca, Mg, SB e V %.

A distribuição espacial do Ca diferenciou-se do Mg com zonas pontuais de concentração, enquanto a concentração do Mg se distribuiu em maior área (Figura 3).

Na parte central do mapa de padrão espacial, observaram-se valores mais altos de pH, coincidindo com a ocorrência dos menores teores de Al e H+Al. Resultado semelhante foi encontrado por Carvalho et al. (2010) e Lima et al. (2010b), corroborando Ronquim (2010), que solos menos ácidos, ou seja, com maior pH, têm menores teores de H e Al trocáveis (Figura 3).

O C orgânico apresentou distribuição mais homogênea, coadunando com a distribuição da argila. É importante ressaltar a ocorrência dos maiores valores de T com os maiores valores de argila e C orgânico, demonstrando a importância do C orgânico nesses solos. De acordo com Ronquim (2010), o C orgânico pode representar mais de 80% de T em solos tropicais. Ao noroeste do mapa, onde a vegetação era de floresta, encontrou-se maior quantidade de C orgânico (acima de 30 g dm^{-3}); provavelmente nesse local a floresta estava mais preservada, e os menores teores de C orgânico (abaixo de 6 g dm^{-3}) situaram-se ao norte, onde a vegetação era de Savana Estépica (Figura 3).

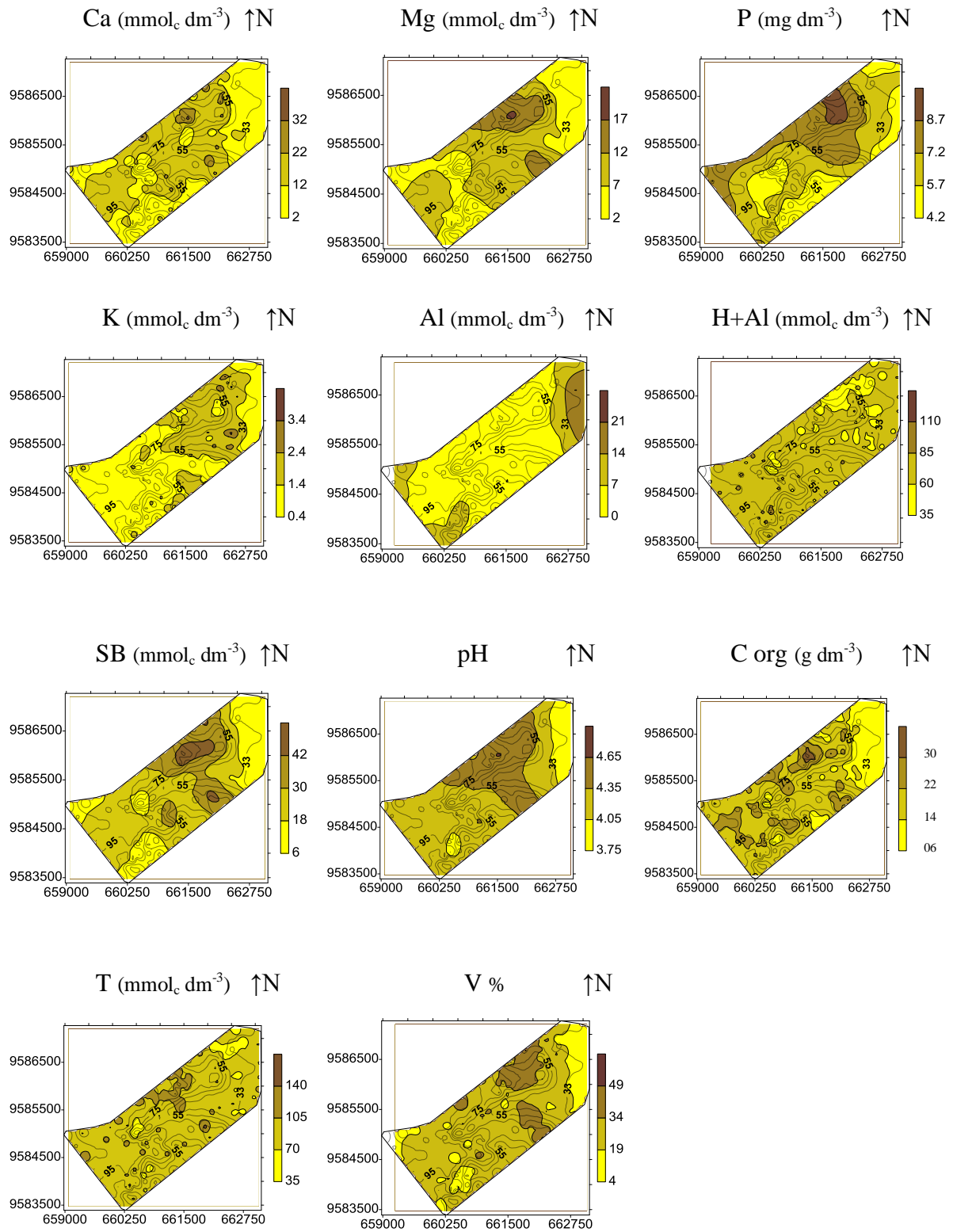


Figura 3. Mapas de padrão espacial para os atributos químicos do solo

As quantidades mais elevadas da fração areia encontraram-se nas maiores altitudes, do centro ao sul da área, e apresentaram maior variabilidade com valores de 342 a 834 g kg⁻¹, compatível com a rocha de origem, arenitos. As maiores quantidades de silte foram observadas ao norte da área, relacionadas provavelmente com sedimentos transportados pelo processo aluvionar. A fração argila não apresentou grande variabilidade, com maiores quantidades ao centro da área. A quantidade máxima de argila foi de 346 g kg⁻¹, compatível com o material de origem, arenitos finos argilosos ou muito argilosos. (Figura 4).

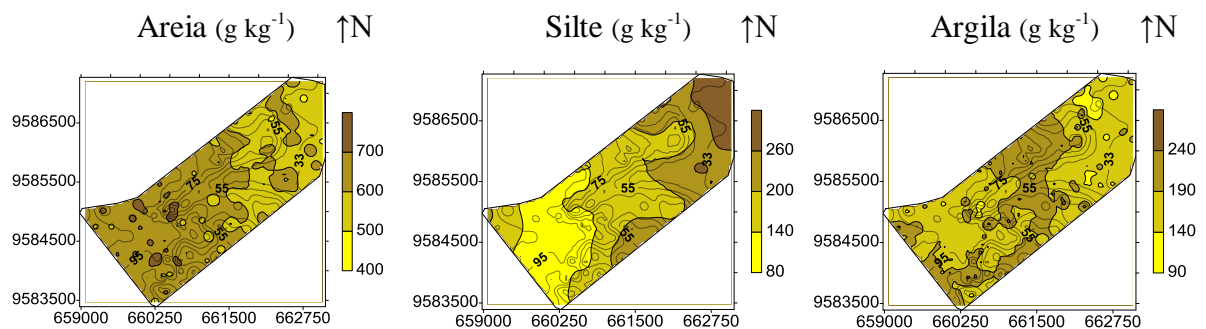


Figura 4. Mapas de padrão espacial para o atributo granulométrico do solo

4. CONCLUSÕES

1. Os mapas dos atributos químicos do solo apresentaram áreas de maior fertilidade onde se encontraram os maiores teores de C orgânico, indicando sua importância para a manutenção da fertilidade dos solos na área em estudo.
2. Os mapas do padrão espacial identificaram áreas com maiores teores dos principais macronutrientes e de maior pH que podem auxiliar no planejamento do uso e manejo do solo.

LITERATURA CITADA

BEKELE, A. & HUDNALL, W.H. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie–forest transition in Louisiana. *Plant Soil*. 280:7–21, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Folha SA. 23-X/Z: São Luís NE/SE. Recife, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:500.000 (Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil). Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/sluisnese/sluisnese_ctgeologica.pdf>. Acesso em: 27 maio 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Projetos de reforma agrária conforme fases de implantação. 2012. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/index.php/reforma-agraria-2/questao-agraria/numeros-da-reforma-agraria/file/31-relacao-de-projetos-de-reforma-agraria>>. Acesso em: 30 maio 2013.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A. E. Fieldscale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511, 1994.

CARVALHO, S.R.L. de; VILAS BOAS, G.S. & FADIGAS, F.S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação Barreiras. *Cad. Geocienc.*, 7:63-79, 2010. Disponível em: <<http://www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br>>. Acesso em: 21 abr. 2013.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. de. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1329-1339, 2007.

CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York, John Wiley, 1991. 900p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GOLDEN SOFTWARE INC. *Surfer for windows: Realize 7,0: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide*. New York, 1999. 619p.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. Nova York, Oxford University Press, 1989. 561p.

LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S. de & SILVA, S.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. Rev. Árvore, 34:127-136, 2010a.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B. de; ROCHA, W. da; OLIVEIRA, P.C. & QUARTEZANI, W.Z. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). Idesia, 28:31-39, 2010b.

MARANHÃO (Estado). Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Estadual do Maranhão. Atlas do Maranhão. São Luís, GEPLAN, 2002. 39p.

McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. J. Soil Sci., 37:617-639, 1986.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão, In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P. del; QUEIROZ, D.M. de; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R. do & GOMIDE, R.L. Agricultura de precisão. Viçosa, UFV, 2000. p.237-258.

NASCIMENTO, G.F. & LANDIM, P.M.B. Agricultura de precisão por metodologia geoestatística: aplicação em solos do Estado de Rondônia. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Botucatu, 2009. Anais. Botucatu, Unesp, 2009. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/sgea/Docs/19.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2013.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAMPIM, L.; TAVARES FILHO, J.; BEHLAU, F. & ROMANO, D. Determinação da capacidade de uso do solo visando o manejo sustentável para uma média propriedade em Londrina-PR. *Biosci. J.*, 28:251-264, 2012.

ROBERTSON, G.P. *GS + geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

RONQUIM, C.C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas, Embrapa, 2010. 26p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de. CUNHA, T.J.F. & OLIVEIRA, J.B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2013. 353p.

SILVA, A.F. da; LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S. de & OLIVEIRA, R.B. de. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com café arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes manejos. *Coffee Sci.*, 5:173-182, 2010.

SILVA NETO, S.P.S.; SANTOS, A.C. dos; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; CRUZ, R.S. da; PEDRICO, A.L. & NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Semin: cien. agrár.*, 32:541-552, 2011.

SKORUPA, A.L.A.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, C.P.C.; SCOLFORO, J. R. S. & MARQUES, J.J.G.S.M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:11-22, 2012.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, 38:55-94, 1948.

VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; MANGABEIRA, J.A.C.; GREGO, C.R.; BATISTELLA, M.; MIRANDA, E.E. de & HOTT, M.C. Geoestatística na avaliação da fertilidade do solo e eficiência técnica para a cultura do arroz em Machadinho D'oeste, RO. In: FERTIBIO, Bonito, 2006. Anais. Bonito, Embrapa, 2006. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/newsdownload/artigos_resumos%20anais%20eventos/apc_27fertbio06_geoestavalfertsolomacha_gusta.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, L.R. & LIMA, J.C. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro, IBGE, 1991. 124p.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic, 1980. p.319-344.

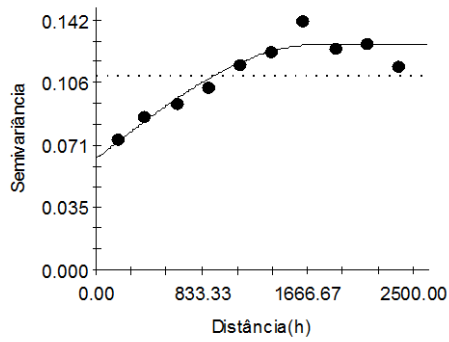
WOJCIECHOWSKI, J.C.; SCHUMACHER, M.V.; PIRES, C. A.F.; MADRUGA, P.R.A.; KILCA, R.V.; BRUN, E.J.; SILVA, C.R.S. da; VACCARO, S. & RONDON NETO, R.M. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. Cien. Flor., 19:383-391, 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais dos atributos químicos do solo

(continua)

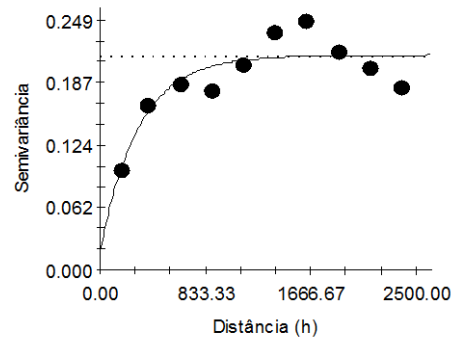
pH



C_0 $C_0 + C_1$ a R^2 SQR

Esf. (0,0633 0,1276 1727 0,897 4,056e-04)

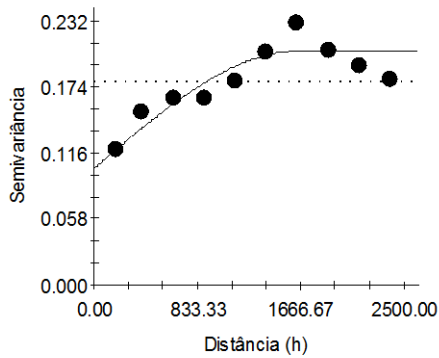
M. O.



C_0 $C_0 + C_1$ a R^2 SQR

Exp. (0,0194 0,2138 921 0,76 3,7772e-03)

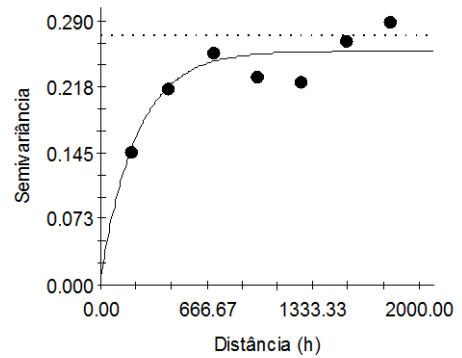
P



C_0 $C_0 + C_1$ a R^2 SQR

Esf. (0,1022 0,2054 1656 0,798 1,969e-03)

K



C_0 $C_0 + C_1$ a R^2 SQR

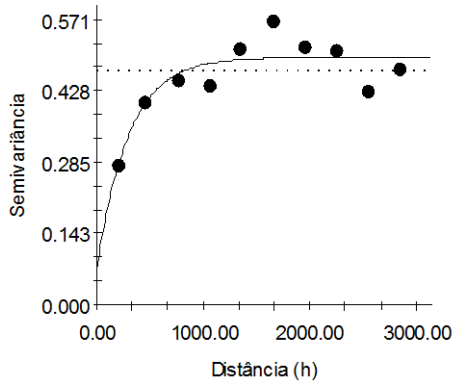
Exp. (0,0101 0,2572 693 0,77 2,928e-03)

● observado — modelo

APÊNDICE A - Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais dos atributos químicos do solo

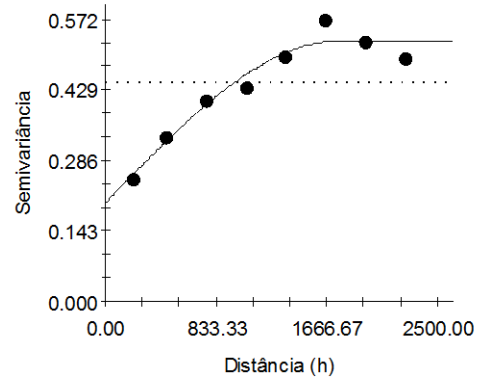
(continuação)

Ca



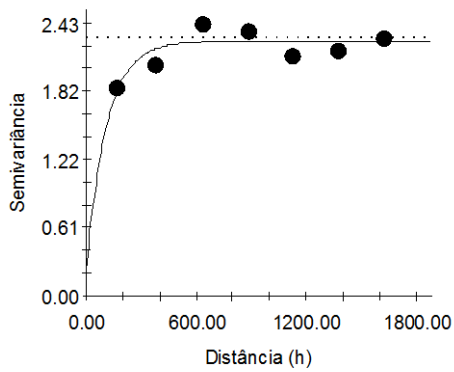
C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Exp (0,07	0,496	903	0,754	0,0141)

Mg



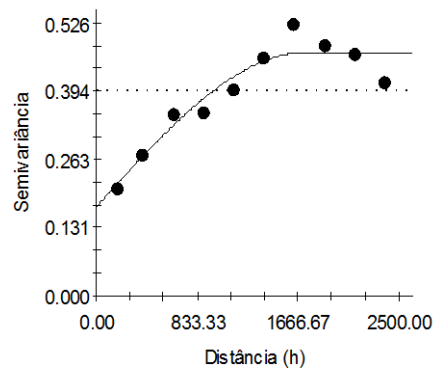
C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Esf (0,2026	0,5042	1756	0,948	3,45e-03)

H+Al



C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Exp (0,2180	2,268	333	0,656	0,0808)

SB

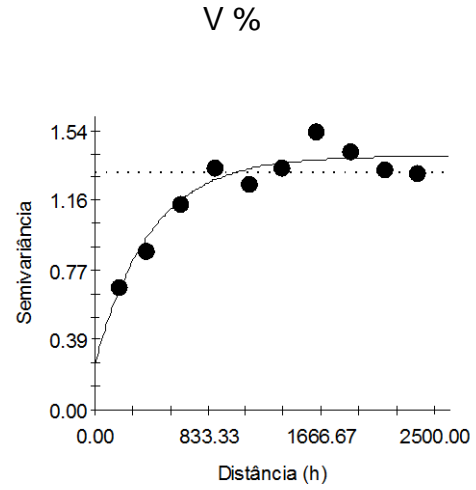
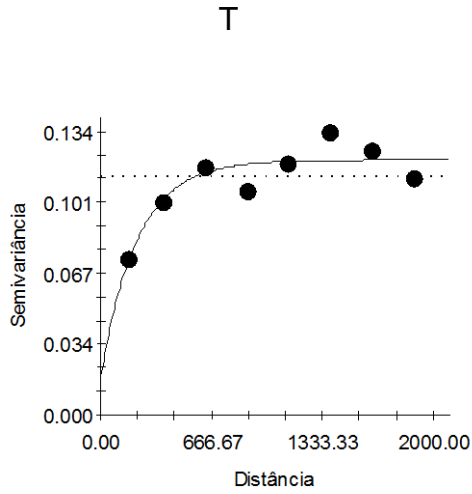


C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Esf (0,1716	0,4682	1772	0,899	8,85e-03)

● observado — modelo

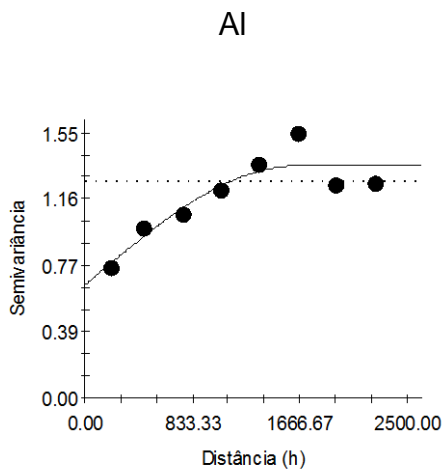
APÊNDICE A - Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais dos atributos químicos do solo

(conclusão)



C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Exp (0,0179	0,1208	660	0,807	4,513e-04)

C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Esf (0,253	1,403	1230	0,909	0,0563)

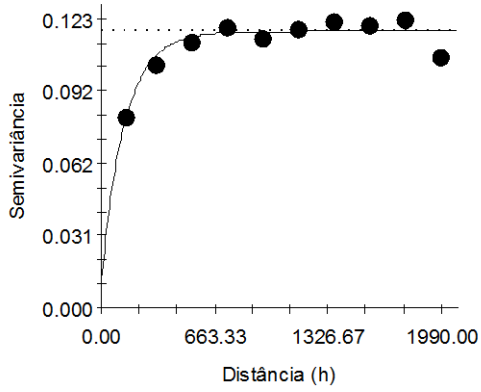


C_0	$C_0 + C_1$	a	R^2	SQR
Exp (0,659	1,352	1633	0,832	0,0688)

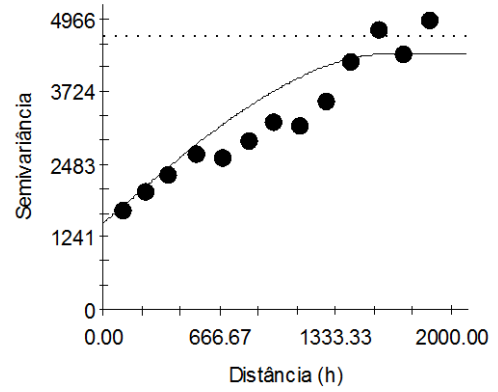
● observado — modelo

APÊNDICE B - Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais do atributo granulométrico do solo

Argila



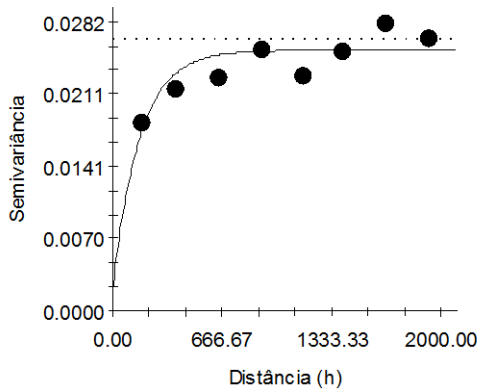
Silte



C_0	C_0+C_1	a	R^2	SQR
Exp (0,0114	0,1178	417	0,865	1,924e-04)

C_0	C_0+C_1	a	R^2	SQR
Esf (1480	4390	1686,7	0,858	2332885)

Areia



C_0	C_0+C_1	a	R^2	SQR
Exp (0,00193	0,02536	489	0,672	2,301e-05)

● observado ————— modelo