

PROPRIEDADES DOS SOLOS E AS RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO TERRENO, NO DISTRITO FEDERAL

SOIL PROPERTIES AND RELATIONS WITH LAND ATTRIBUTES IN THE FEDERAL DISTRICT

Marina Bilich Neumann¹, Francielle do Monte Lima², Luiz Felipe Siqueira Marques Rego², André Luiz Farias de Souza¹, Henrique Llacer Roig², Tati de Almeida², Rejane Ennes Cicerelli²

1 Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - Campus Darcy Ribeiro, ICC - Ala Central - CEP 70.910-900 - Brasília – DF, (marinabilich@unb.br, francielledomonte@gmail.com, felipe6769@gmail.com, andrelfsouza@gmail.com)

2 Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial (LSRAE), Instituto de Geociências (IGD), Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro, 70910-900 Brasília, Brasil; (roig, tati_almeida, rejaneig,)@unb.br,

RESUMO

As propriedades dos solos são relacionadas com posições na paisagem. Isto implica em que as variáveis dos fatores de formação do solo, podem ser usadas para prever atributos dos solos. A modelagem digital do relevo é uma das técnicas quantitativas melhor desenvolvidas para prever atributos e classes de solos. As propriedades do solo estimadas podem ser usadas como dados de entrada em modelos de erosão hídrica e de transporte de sedimentos/nutrientes, risco de acidificação do solo e produtividade. Portanto, o trabalho teve por objetivo avaliar as relações entre propriedades do solo (teor de argila, carbono orgânico e espessura dos horizontes superficial e subsuperficial) e atributos do terreno, derivados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) na Bacia do Rio Jardim, Distrito Federal. A partir do MDE carta, foram obtidos os atributos do terreno declividade, altitude, curvatura e índice topográfico de umidade (TWI) que juntamente com os dados das propriedades do solo de 24 perfis, foram submetidos à análise de regressão linear múltipla para a obtenção dos coeficientes utilizados para a geração de equações de predição dos atributos do solo. A declividade, a altitude e o TWI foram os atributos derivados do MDE que obtiveram uma maior associação com o teor de argila e carbono orgânico nos solos da Bacia do Rio Jardim. A influência da curvatura na predição do teor de argila e carbono orgânico foi pouco representativa, porém, na predição da espessura do horizonte superficial, a curvatura e a declividade obtiveram uma boa associação.

Palavras-chave: modelo digital de elevação, regressão linear múltipla, mapeamento digital de solos.

ABSTRACT

Soil properties are related to positions in the landscape. This implies that the variables of soil formation factors can be used to predict soil attributes. Digital relief modeling is one of the best-developed quantitative techniques for predicting soil attributes and classes. Estimated soil properties can be used as input data in water erosion and sediment / nutrient transport models, risk of soil acidification, and productivity. Therefore, the objective of this work was to evaluate the relationship between soil properties (clay content, organic carbon and thickness of the superficial and subsurface horizons) and terrain attributes derived from a Digital Elevation Model (MDE) in the Rio Jardim Basin, Federal District. From the MDE letter, the slope, altitude, curvature and topographic moisture index (TWI) attributes were obtained, which together with the soil properties data of 24 profiles were subjected to multiple linear regression analysis to obtain the coefficients used for the generation of prediction equations of soil attributes. Slope, altitude and TWI were the attributes derived from the MDE that obtained a greater association with clay and organic carbon content in the soils of the Jardim River Basin. The influence of the curvature on the prediction of clay and organic carbon content was not very representative, but in the prediction of surface horizon thickness, curvature and slope had a good association.

Keywords: digital elevation model, multiple linear regression, digital soil mapping.

INTRODUÇÃO

Várias são as limitações para a aquisição de dados de solos e/ou de suas propriedades, como o custo elevado dos levantamentos, a extensão das áreas a serem mapeadas e em alguns lugares, a dificuldade de acesso. A essas limitações, somam-se os problemas de precisão da informação, confiabilidade das interpretações qualitativas e dificuldade de extrapolação da informação para outras áreas.

O uso de técnicas quantitativas para predição espacial em mapeamento de solos e de seus atributos vem crescendo nos últimos anos, devido ao avanço na capacidade de processamento dos computadores, aliado à disponibilidade de novos métodos matemáticos e estatísticos (McBratney et al., 2000).

As propriedades de solos são relacionadas com posições na paisagem. Isto implica em que as variáveis dos fatores de formação do solo, podem ser usadas para predizer propriedades dos

solos. Diversos estudos mostraram que teores de argila, matéria orgânica, pH e CTC podem ser preditos a partir da declividade, curvaturas do declive e índice topográfico de umidade, que são também boas preditoras de retenção de água (Pachepsky et al. 2001; Romano e Palladino, 2002).

Gobin et al. (2001) afirmam que o movimento da água nas paisagens é o principal responsável pelo processo de desenvolvimento do solo. Por isso, compreender as formas do relevo permite fazer inferências e previsões sobre os atributos do solo em diferentes segmentos de vertentes.

Estudos desenvolvidos por Park e Burt (2002) e Mulla e McBratney (1999) afirmam que os aspectos topográficos do terreno podem ser bons indicadores da variação dos atributos do solo, pois essa variabilidade é causada por pequenas alterações do declive que afeta o transporte e o armazenamento de água dentro do perfil do solo.

A modelagem digital do relevo é uma das técnicas quantitativas melhor desenvolvidas para prever propriedades e classes de solos (McKenzie et al., 2000). Ela se utiliza da parametrização do relevo (Wood, 1996), onde são obtidos atributos topográficos de um Modelo Digital de Elevação (MDE), cujas primeiras derivadas são os atributos primários e de segunda derivada os secundários (Moore et al., 1993; Wilson e Gallant, 2000). Estes atributos são comumente utilizados como variáveis auxiliares na predição espacial dos padrões solo-paisagem e contribuem para o aperfeiçoamento do mapeamento de classes e de propriedades do solo, como espessura de horizontes, elementos na solução do solo, textura, cor, umidade, entre outras (Gessler et al., 2000).

Modelo Digital de Elevação (MDE) é definido por Burrough (1986) como qualquer representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço. Os MDEs podem ser obtidos de diversas formas: aparelhos restituidores como o Digital Video Plotter (DVP) que podem extrair dados tri-dimensionais diretamente das fotografias aéreas, imagens de sensores ópticos, imagens de sensores de RADAR como ERS e RADARSAT, altimetria a laser por meio de sensores aerotransportados (LIDAR) e interpolação de informações de cartas topográficas (Valeriano, 2004).

O uso de Modelos Digitais de Elevação e das técnicas geoestatísticas permite a compreensão do comportamento dos atributos do solo, de forma a favorecer os levantamentos pedológicos, assim como o estabelecimento de práticas de manejo de solo e de culturas adequadas (Campos et al., 2006).

Bui et al. (2002) usaram variáveis ambientais como clima, aspectos do terreno (elevação, declive, distância entre cumes e rios, derivados de Modelos Numéricos de Altitude - MNAs), litologia, imagens MSS de Landsat, uso da terra e classes de solos para prever a distribuição espacial de várias propriedades físicas e químicas de solos.

Bishop e McBratney (2001) utilizaram MDE, fotos aéreas, imagens Landsat TM, dados de monitoramento de colheita, condutividade elétrica e 113 amostras de solo para estimar a capacidade de troca de cátions - CTC, por meio de regressão linear múltipla, modelos aditivos, árvores de regressão, krigagem dos resíduos desses modelos, krigagem ordinária e krigagem com deriva externa. A krigagem com deriva externa e as krigagem dos resíduos da regressão linear múltipla e da árvore de regressão foram os métodos que mais se destacaram.

Lepschet al. (1977), Coelho et al. (1994) e Marques Júnior e Lepsch (2000) estudaram, no Planalto Ocidental de São Paulo, as relações entre as propriedades do solo e as formas do relevo, aplicando conceituações de superfícies geomórficas. Utilizando transeções (ou toposseqüências), tais autores nos estudos de solo-paisagem relacionam variabilidade espacial de atributos dos solos com os compartimentos de relevo. Ressaltam também que a compreensão dessas relações facilita muito a previsão da ocorrência dos diferentes corpos de solo na paisagem e mostram-se favoráveis ao uso desses critérios como base para mapeamento pedológico detalhado, em vez de propriedades quantitativas taxonomicamente estabelecidas, uma vez que estas últimas são consideradas artificiais (Hudson, 1992; Young e Hammer, 2000). Tais estudos são de grande utilidade para fornecer elementos básicos necessários à transferência de conhecimentos pedológicos entre áreas de idêntico clima, material de origem e relevo.

Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as relações entre propriedades do solo (teor de argila, carbono orgânico e espessura dos horizontes superficial e subsuperficial) e atributos do terreno, derivados de um Modelo Digital de Elevação, na Bacia do Rio Jardim, Distrito Federal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo: A área de estudo compreende a Bacia do Rio Jardim situada entre as latitudes 15°40' e 16°02' W e longitudes 47°20' e 47°40' S, possuindo uma área de drenagem de aproximadamente 52.755,15 ha na porção leste do Distrito Federal (Figura 1).

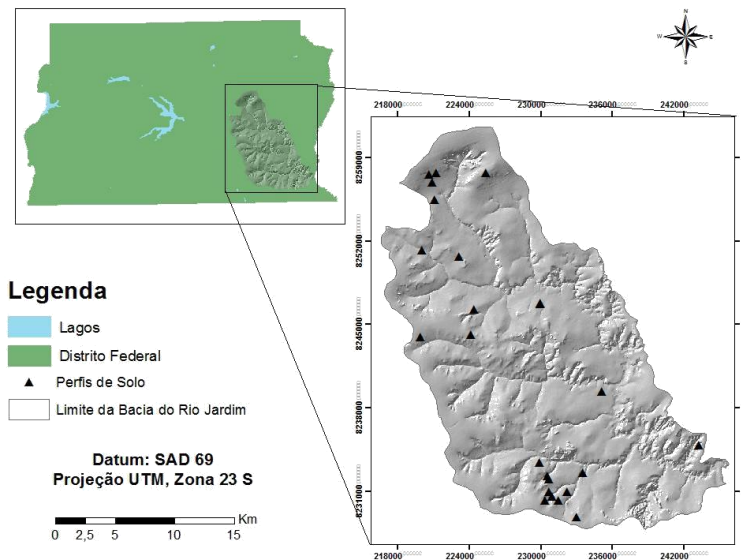


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Rio Jardim.

A área de abrangência da Bacia do Rio Jardim está inserida nos conjuntos litológicos do Grupo Paranoá, Grupo Canastra e Grupo Bambuí.

O Grupo Paranoá de idade Meso/Neoproterozóica (1.300 a 1.100 milhões de anos) é caracterizado por sete unidades litoestratigráficas correlacionáveis, da base para o topo, com as sequências deposicionais Q2, S, A, R3, Q3, R4 e PC (Campos, 2004 e Martins, 1998). Na área da Bacia do Rio Jardim, as unidades presentes são R3 (metarritimito arenoso), Q3 (composta por quartzitos finos a médios, brancos ou rosados, silicificados e intensamente fraturados) e R4 (metarritimitos argilosos) (Lousada, 2005).

O Grupo Canastra de idade Meso/Neoproterozóica (1.300 a 1.100 milhões de anos) é constituído por rochas metamórficas de baixo grau, de fácies xisto verde, composto predominantemente por filitos com ocasionais lentes de quartzitos.

O Grupo Bambuí de idade Neoproterozóica é constituído pela sequência pelito-carbonatada-arcoseana, representados por metassiltitos, metassiltitos argilosos, metargilitos e raras intercalações de arcóseos (Dardenne, 1978).

Na área em estudo é possível observar três unidades geomorfológicas: Pediplano de Brasília (altitudes entre 950 e 1200 m), Depressões Interplanálticas e Planalto Dissecado do Alto

Maranhão (altitudes entre 800 e 950 m) e Planícies Aluviais e Alveolares que correspondem às áreas mais baixas e de formação mais recente (Codeplan, 1984).

O aspecto fitogeográfico do Distrito Federal é caracterizado pelo domínio dos Cerrados. Na Bacia do Rio Jardim encontram-se as seguintes fitofisionomias: Cerrado Típico, Campo Sujo, Campo Limpo e Matas de Galeria.

A principal fonte de informações sobre os solos encontrados no DF é o trabalho realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos (Embrapa, 1978), de onde se obteve o mapa pedológico do DF, na escala 1:100.000. As principais classes de solos que ocorrem na Bacia do Rio Jardim são: Latossolos, Cambissolos, Nitossolos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos.

Metodologia do Estudo

O estudo foi desenvolvido em três etapas a seguir descritas: Compilação e construção de uma base de dados, análise do MDE e análise pela regressão linear múltipla.

Para a construção da base de dados, foram levantadas na bibliografia a localização e a descrição de 24 perfis de solos na área de estudo (Reatto et al., 2000). Cada perfil com suas informações foram incorporados à base de dados no formato vetorial (ponto) no software ArcGIS 10.0, contendo sua localização geográfica, descrição até o segundo nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006), teor de argila, carbono orgânico e espessura dos horizontes de superfície e subsuperfície.

O Modelo Digital de Elevação foi gerado por meio de carta com dados vetoriais do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial - LSRAE/IG/UnB, e então foram gerados os atributos derivados do MDE por meio da ferramenta "Topo toRaster" do software ArcGIS 10.0, são eles: altitude, declividade e curvatura. O Topographic Wetness Index (TWI) foi gerado no software gratuito, de código aberto System for Automated Geoscientific Analysis (SAGA-GIS2.0.8), por meio do módulo "Basic Terrain Analysis".

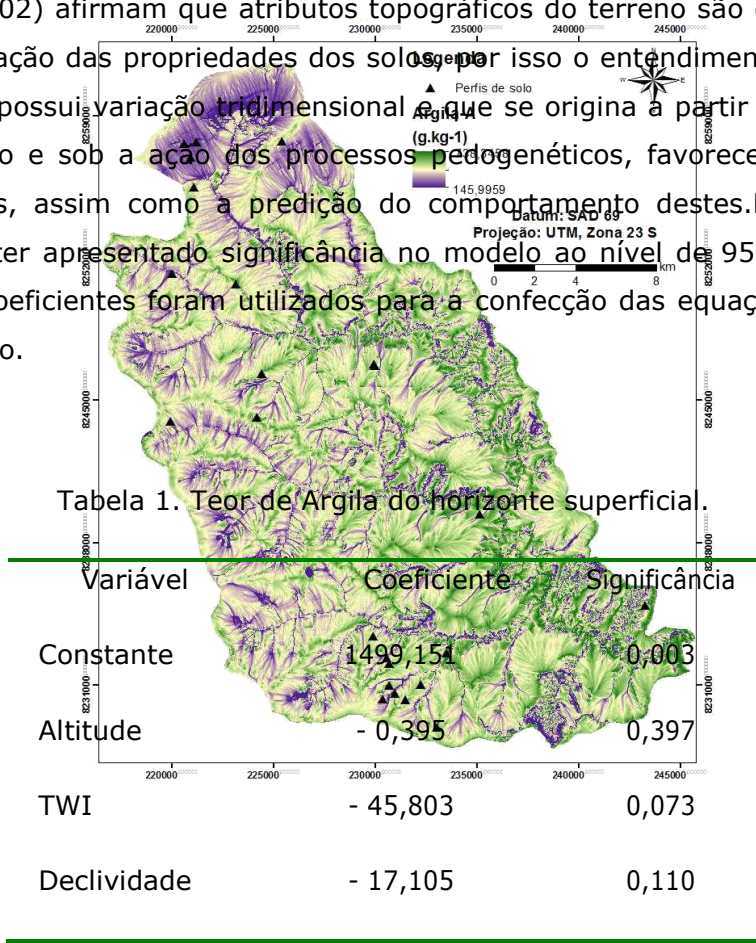
Os valores do teor de argila, carbono orgânico e espessura dos horizontes de superfície e subsuperfície de cada perfil de solo foram organizados em uma tabela juntamente com os valores dos atributos do terreno derivados do MDE. Esta tabela foi inserida no software SPSS 16.0 para a análise estatística de regressão linear múltipla e geração dos coeficientes de regressão das equações de predição das propriedades do solo, sendo a propriedade do solo a variável dependente e os atributos do terreno derivados do MDE as variáveis independentes.

Com a ferramenta "RasterCalculator" do software ArcGIS 10.0 e utilizando as equações de predição das propriedades do solo, foram gerados os mapas das propriedades preditas dos solos da Bacia do Rio Jardim (Figuras 2 a 7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos coeficientes da análise de regressão linear múltipla (Tabelas 1 a 6) foram geradas 6 equações (Eq. 1 a 6) para a predição das propriedades dos solos, são elas: Teor de Argila do horizonte superficial (Argila-A), Teor de Argila do horizonte subsuperficial (Argila-B), Carbono Orgânico do horizonte superficial (CO-A), Carbono Orgânico do horizonte subsuperficial (CO-B), Espessura do horizonte superficial (Espessura-A) e Espessura do horizonte subsuperficial (Espessura-B).

Park e Burt (2002) afirmam que atributos topográficos do terreno são os mais importantes indicadores da variação das propriedades dos solos, por isso o entendimento do solo como um corpo natural, que possui variação tridimensional e que se origina a partir da inter-relação dos fatores de formação e sob a ação dos processos pedogenéticos, favorece a compreensão da geografia dos solos, assim como a predição do comportamento destes. Portanto, apesar de nenhuma variável ter apresentado significância no modelo ao nível de 95% (Sig.= 0,005) de probabilidade, os coeficientes foram utilizados para a confecção das equações de predição das propriedades do solo.



$$\text{Argila-A} = 1499,151 + (-0,395) * \text{Altitude} + (-45,803) * \text{TWI} + (-17,105) * \text{Declividade} \text{ [Eq.1]}$$

Figura 2. Mapa do Teor de Argila do horizonte superficial nos solos da Bacia do Rio Jardim.

Tabela 2. Teor de Argila do horizonte subsuperficial.

Variável	Coeficiente	Significância
Constante	1752,276	0,001
TWI	- 11,767	0,558
Altitude	- 1,037	0,031

$$\text{Argila-B} = 1752,276 + (-11,767) * \text{TWI} + (-1,037) * \text{Altitude} \text{ [Eq. 2]}$$

De acordo com a Figura 2, verificou-se que o teor de argila no horizonte superficial é maior em áreas de baixa declividade (0 a 3%), já em áreas com declive superior a 12%, associado à maior altitude, foram encontrados os menores valores de teor de argila.

No horizonte subsuperficial (Figura 3), o alto teor de argila está associado a menores altitudes e índice topográfico de umidade (TWI) maior que 12,5, principalmente em áreas planas nas proximidades dos cursos d'água. Prates et al. (2012) aplicaram índices de representação da paisagem como suporte na delimitação dos diferentes compartimentos da paisagem na Fazenda Experimental Canguiri, no município de Pinhais, região Metropolitana de Curitiba e observaram correlação de valores altos do índice topográfico com solos hidromórficos.

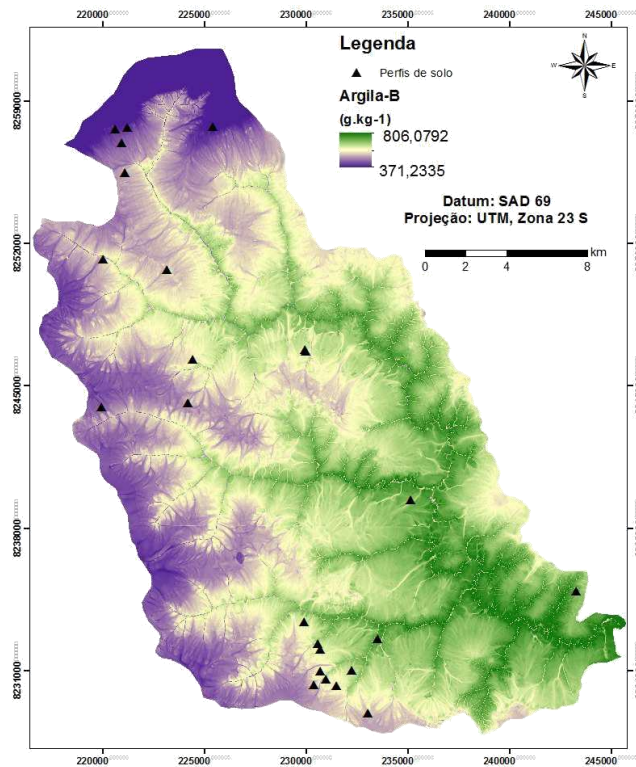


Figura 3. Mapa do Teor de A rgila do horizonte subsuperficial nos solos d a Bacia do Rio Jardim.

Tabela 3. Carbono Orgânico do h orizonte superficial.

Variável	Coeficiente	Significância
Constante	22,149	0,504
Altitude	- 0,055	0,110
TWI	3,317	0,074
Declividade	2,209	0,008

$$CO-A = 22,149 + (-0,055) * \text{Altitude} + (3,317) * \text{TWI} + (2,209) * \text{Declividade} [\text{Eq. 3}]$$

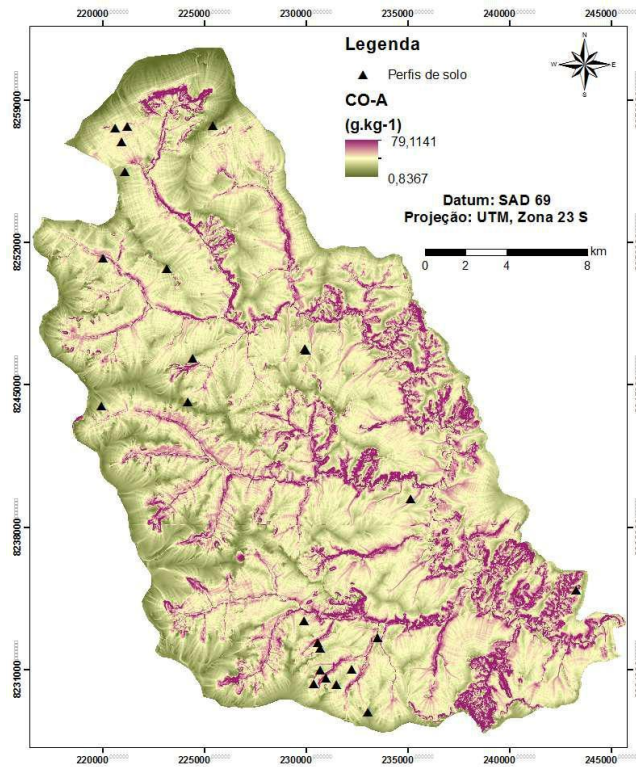


Figura 4. Mapa de Carbono Orgânico do horizonte superficial nos solos da Bacia do Rio Jardim.

Tabela 4. Carbono Orgânico do h orizonte subsuperficial.

Variável	Coeficiente	Significância
Constante	9,225	0,477
Altitude	- 0,010	0,432
Declividade	0,113	0,695
Curvatura	- 0,109	0,551
TWI	0,513	0,468

$$CO-B = 9,225 + (-0,010) * Altitude + (0,113) * Declividade + (-0,109) * Curvatura + (0,513) * TWI \text{ [Eq. 4]}$$

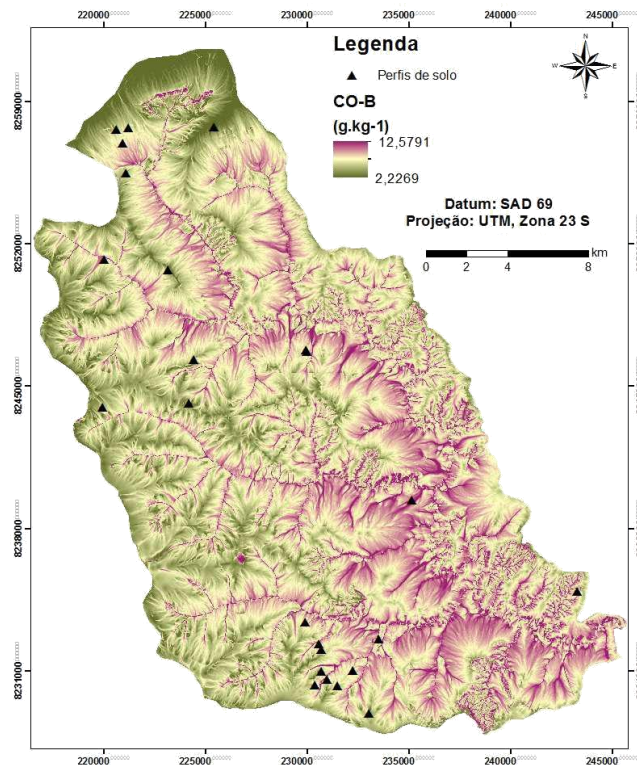


Figura 5. Mapa de Carbono Orgânico do horizonte subsuperficial nos solos da Bacia do Rio Jardim.

Foi possível observar que o teor de Carbono Orgânico no horizonte superficial (Figura 4) é maior em áreas com declividade superior a 10%, associado ao TWI menor que 10,0. Teores baixos estão associados a maior altitude e menor declividade. No horizonte subsuperficial (Figura 5) as áreas com menor declividade (0 a 5%), associado a valores de TWI superior a 11,0 apresentaram um maior teor de Carbono Orgânico.

Tabela 5. Espessura do horizonte superficial.

Variável	Coefficiente	Significância
Constante	37,107	0,147
Curvatura	- 0,395	0,269
Declividade	- 0,425	0,446
Altitude	- 0,014	0,569
TWI	- 0,404	0,766

$$\text{Espessura-A} = 37,107 + (- 0,395) * \text{Curvatura} + (- 0,425) * \text{Declividade} + (- 0,014) * \text{Altitude} + (- 0,404) * \text{TWI} \quad [\text{Eq. 5}]$$

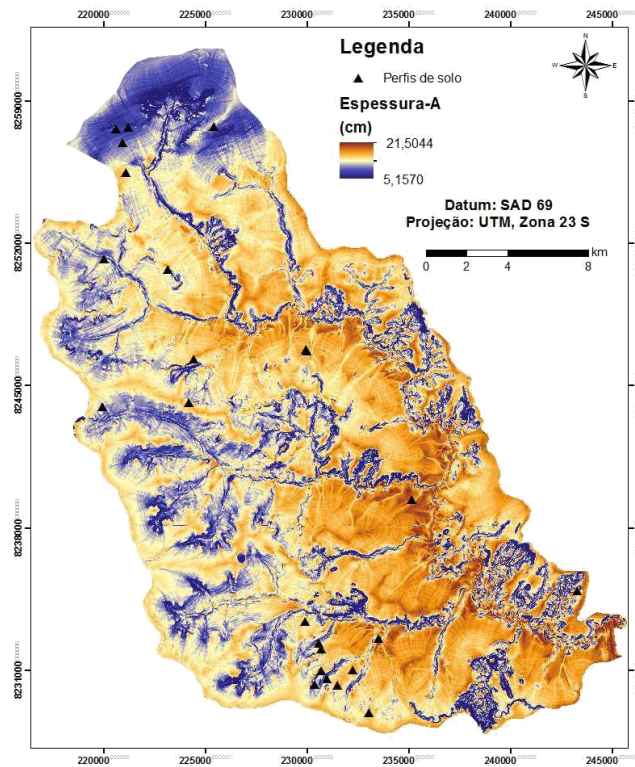


Figura 6. Mapa de Espessura do horizonte superficial dos solos da Bacia do Rio Jardim.

Tabela 6. Espessura do horizonte subsuperficial.

Variável	Coeficiente	Significância
Constante	67,436	0,512
TWI	- 0,375	0,946
Declividade	0,293	0,898
Altitude	- 0,031	0,763
Curvatura	1,528	0,298

$$\text{Espessura-B} = 67,436 + (- 0,375) * \text{TWI} + (0,293) * \text{Declividade} + (- 0,031) * \text{Altitude} + (1,528) * \text{Curvatura} [\text{Eq. 6}]$$

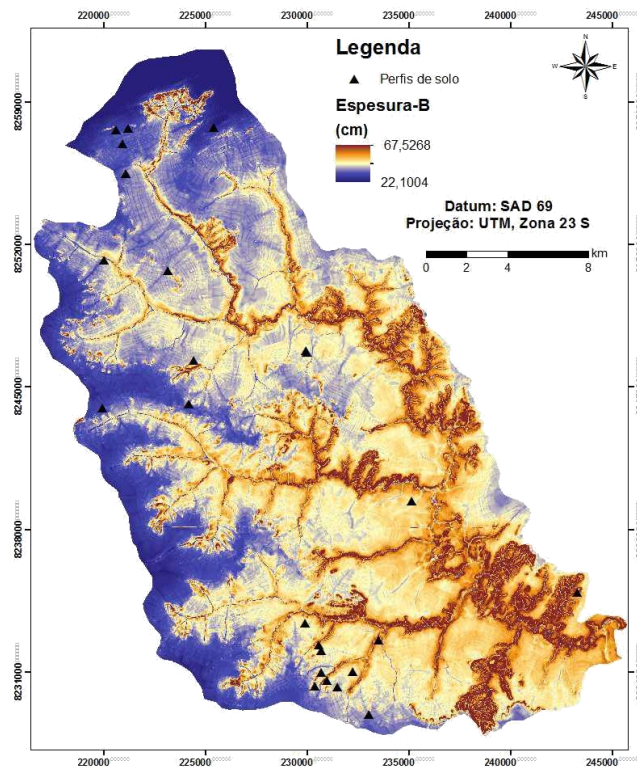


Figura 7. Mapa de Espessura do horizonte subsuperficial dos solos da Bacia do Rio Jardim.

Na Figura 6 foi possível observar que a maior espessura do horizonte superficial está associada à baixa declividade juntamente com a menor altitude do terreno. Os menores valores de espessura do horizonte superficial estão associados à maior declividade, maior curvatura do terreno e menores valores do TWI. De acordo com Jenny (1994), os solos tendem a ser menos desenvolvidos em função da declividade, a qual favorece a menor infiltração da água e maior escoamento superficial.

No horizonte subsuperficial (Figura 7) os resultados da predição da espessura não foram satisfatórios, a causa pode ser a falta de mais pontos amostrados para o treinamento do modelo. Áreas planas e com maior altitude obtiveram valores menores que as áreas com declividade superior a 15%. Na Bacia do Rio Jardim, áreas com declividade superior a 15% estão associadas à presença de Cambissolos, solos com horizontes pouco desenvolvidos.

O uso da declividade, da orientação das vertentes e da elevação nos levantamentos de solos é praticamente generalizado. Mc Bratney et al. (2003) usaram a informação topográfica para o zoneamento de uma região com o objetivo de melhorar a representação de atributos do solo mapeados geoestatisticamente.

O índice topográfico de umidade (TWI) tem sido utilizado para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens. O TWI é definido como uma função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo. Em estudo realizado em uma topossequência no Colorado, Moore et al. (1993) verificaram que o TWI e a declividade foram os atributos do relevo que mais se correlacionaram com a espessura do horizonte A, teor de matéria orgânica e conteúdo de silte e areia.

Os atributos derivados do MDE declividade, altitude e TWI obtiveram melhor associação com as propriedades dos solos da Bacia do Rio Jardim. A influência da curvatura na predição do teor de argila e carbono orgânico foi pouco representativa.

De acordo com Chagas (2006), a curvatura do terreno desempenha um papel limitado devido ao baixo gradiente de relevo, de maneira que o processo de rejuvenescimento do solo não se expressa com a mesma magnitude com que ocorre nas áreas mais acidentadas e côncavas.

CONCLUSÕES

A declividade, a altitude e o TWI foram os atributos derivados do MDE que obtiveram uma maior associação com o teor de argila e carbono orgânico nos solos da Bacia do Rio Jardim.

A influência da curvatura na predição do teor de argila e carbono orgânico foi pouco representativa, porém, na predição da espessura do horizonte superficial, a curvatura e a declividade obtiveram uma boa associação.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- Bishop, T. F. A. &McBratney, A. B. 2001. A comparasion of prediction metods for the creation of field-extent soil property maps.Geoderma, Amsterdam, 103: 149-160.
- Bui, E.; Henderson, B.; Moran, C.; Johnston, R. 2002. Continental-scale spatial modelling of soil properties.In: World Congressof Soil Science, 17. 14-21, Bangkok, Thailand. Proceedings. Bangkok: [s.ed.], 2002. Paper n. 1470.

Burrough, P. A. 1986. Principles of geographical information systems of land resources assessment. Francis & Taylor, 185 p.

Campos, J.E.G. 2004. Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. Revista Brasileira de Geociências. 34: 41-48

Campos, M.C.C., Cardozo, N.P., Marques Júnior, J. 2006. Modelos de Paisagem e sua Utilização em Levantamentos Pedológicos. Revistade Biologia e Ciencias da Terra. 6- No 1

Chagas, C. da S. 2006. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 223 p.

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. 1984. Atlas do Distrito Federal. 1 ed., Brasília: Governo do Distrito Federal. 124p.

Coelho, R.M., Lepsch, I.F., & Menk, J.R.F. |994. Relação solo-relevo em uma encosta com transição arenito-basalto em Jaú (SP). R. Bras. Ci. Solo, 18:125-33.

Dardenne, M. A., 1978. Síntese sobre a estatigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Anais. Salvador: SBG, 2: 597-610.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal, Boletim Técnico, no. 53, SNLCS, Rio de Janeiro, 455 p.

Gessler, P.E., Chadwick, O.A., Chamran, F., Althouse, L., & Holmes, K. 2000. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. Soil Science Society of American Journal, 64: 2046-2056.

Gobin, A., Campling, P., & Feyen, J. 2001. Soil-landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture. Physics and Chemistry of the Earth, 26: 41-45.

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

Jenny, H. 1994. Factors of soil formation-a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 288p.

Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, (ISSN: 0719-3726), 7(1), 2019: 53-69
DOI: <http://dx.doi.org/10.7770/safer-V0N0-art1557>

Lepsch, I.F., Buol, S.W. & Daniels, R.B. 1977. Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. *SoilSci. Soc. Am. J.*, 41:104-109.

Lousada, E.O. 2005. Estudos Hidrogeológicos e Isotópicos no Distrito Federal: Modelos Conceituais de Fluxo. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências – Universidade de Brasília.

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

Martins, E. S.; Baptista, G. M. M., 1998. Compartimentação Geomorfológica e Sistemas Morfodinâmicos do Distrito Federal. In: CAMPOS, J.E.G;FREITAS-SILVA F.H (Coord.). Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. Brasília, /SEMATEC: IEMA: MMA-SRH, 1998. CD-ROM.

McBratney, A.B., ODEH, I.O.A., BISHOP, T. F. A., DUNBAR, M.S., SHATAR, T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, Amsterdam, 97: 293-327.

McBratney, A.B., Santos, M.L.M., Minasny, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, v. 117, p. 3

McKenzie N. J.; Jacquier, D. W.; Ashton L.J., Cresswell, H.P. Estimation of soil properties using the atlas of australian soils. Canberra: CSIRO Land and Water , 2000. 1 v. (Technical Report 11/00).

Moore, I. D. Gessler, P. E.; Nielsen, G. A.; Peterson, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v.57, p.443-452, 1993.

Mulla, D. J.; McBratney, A.B., 1999. Soil Spatial Variability. ___In: SUMMER, M. E. Handbook of science. New York: CRC Press, p.A321-A351.

Pachepsky, Y.A., Timlin, D.J., & Rawls, W.J. 2001. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI, v. 65, p. 1787-1795.

Park, S.J., Burt, T.P., 2002. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 66: 1897-1910.

Sustainability, Agri, Food and Environmental Research, (ISSN: 0719-3726), 7(1), 2019: 53-69
DOI: <http://dx.doi.org/10.7770/safer-V0N0-art1557>

- Prates, V., Souza, L.C. de P., Oliveira Junior, J.C. 2012. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, 16, n. 4
- Reatto, A., Correira, J.R., Spera, S.T., Chagas, C.S., Martins, E.S., Andahur, J.P., Godoy, M.J. S., & Assad, M.L.C.L. Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Jardim – DF, escala 1:50.000. *Boletim de Pesquisa Embrapa Cerrados*. 18: 1-63, 2000.
- Romano, N., & Palladino, M. 2002. Prediction of soil water retention using soil physical data and terrain attributes. *Journal of Hydrology* 265: 56-75.
- Valeriano, M.M., 2004. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul, São José dos Campos, INPE-10550-RPQ/756.
- Wilson, J.P., & Gallant, J.C. 2000. *Terrain analysis: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons. 479p.
- Wood, J. 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Leicester, UK. PhD Thesis -University of Leicester. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>.
- Young, F.J. & Hammer, R.D. 2000. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy and cluster analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 989-998.