

Mapeamento da profundidade do *solum* de Cambissolos em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais, baseado em modelos de conhecimento de campo e técnicas de geoprocessamento⁽¹⁾.

Sérgio Henrique Godinho Silva⁽²⁾; Phillip Owens⁽³⁾; Michele Duarte de Menezes⁽⁴⁾; Walbert Júnior Reis dos Santos⁽⁵⁾; Nilton Curi⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq (Programa Ciência sem Fronteiras) e FAPEMIG

⁽²⁾ Estudante de Eng. Florestal; Universidade Federal de Lavras (UFLA); Lavras, MG; shenrike@hotmail.com;

⁽³⁾ Professor; Purdue University (EUA); prowens@purdue.edu; ⁽⁴⁾ Professora; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; michele_duarte@ig.com.br ⁽⁵⁾ Doutorando em Ciência do Solo; UFLA/Cia. de Desenvolvimento do Vale do São Francisco; walbert.santos@codevasf.gov.br ⁽⁶⁾ Professor Titular; UFLA; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

RESUMO: A profundidade do *solum* é um importante atributo do solo que permite direcionar os usos e manejos mais apropriados para cada estrato da paisagem. O uso de técnicas de geoprocessamento contribui para o mapeamento de solos em locais de difícil acesso. Este trabalho objetivou testar ferramentas de mapeamento digital de solos para condições brasileiras, associando-as ao conhecimento de campo, para criar e validar um mapa pré-campo da profundidade do *solum* de Cambissolos de sub-bacia hidrográfica de MG, com limitação de dados. Foram utilizados um modelo digital de elevação e atributos de terreno dele derivados para se fazerem associações solo-paisagem quanto à profundidade do *solum* ao longo da área. O conhecimento de campo foi utilizado para espacialização de informações com uso de lógica fuzzy. A validação foi feita por meio de amostragem por hipercubo latino condicionado. Índice kappa, erros de omissão e comissão e índice global apresentaram valores aceitáveis para o mapeamento pré-campo. O conhecimento de campo em associação com a lógica fuzzy é um grande suporte na criação de mapas de solos, principalmente quando se trata de locais de difícil amostragem por toda a área. O mapa pré-campo correspondeu significativamente às condições de campo.

Termos de indexação: solos rasos, hipercubo latino condicionado, lógica fuzzy.

INTRODUÇÃO

Segundo Resende et al. (2007), o uso de informações providas de levantamentos de solos para a estratificação de ambientes a nível local é insubstituível. Entretanto, algumas vezes um levantamento de solos adequado não é possível de ser executado devido a dificuldades de acesso à área e às limitações de tempo e recursos.

A falta de informações pedológicas em sub-bacias hidrográficas pode desencadear danos

ambientais. Especialmente naquelas onde predominam solos jovens e relevo acidentado, a profundidade do *solum* (horizontes A + B) passa a ser de grande importância na determinação do uso e manejo mais apropriados por contribuir para a manutenção da qualidade e quantidade de água da sub-bacia que abastece o rio principal.

A profundidade do solo é geralmente correlacionada ao relevo (por exemplo, declividade, curvatura, índice de umidade topográfico, etc.) (Gessler et al., 2000), ao material de origem, clima, organismos e tempo. Entretanto, quando apenas o relevo é variável em uma área, ele se torna o principal fator para a diferenciação dos solos (Menezes, 2011) e a previsão de seus atributos.

Ferramentas computacionais relacionadas ao mapeamento digital de solos têm permitido associar técnicas de espacialização com base em escassez de informações, modelos mentais de conhecimento de campo e lógica fuzzy. Além disso, métodos que otimizam a amostragem promovem grande auxílio nos trabalhos de campo, economizando tempo e recursos quando da validação dos mapas pré-campo.

Este trabalho objetivou testar ferramentas de mapeamento digital de solos para condições brasileiras, associando-as ao conhecimento de campo, para criar e validar um mapa pré-campo da profundidade do *solum* de Cambissolos da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha (MG), com limitação de dados disponíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do Ribeirão Lavrinha (SRL) se localiza no município de Bocaina de Minas, no sul de MG, na região fisiográfica da Serra da Mantiqueira, entre as longitudes 44° 26' 21" e 44° 28' 39" WGr, e latitudes 22° 06' 53" e 22° 08' 28" S (Menezes, 2007), datum WGS 1984. Ela está inserida na Bacia do Alto Rio Grande e é um dos primeiros afluentes desse rio que, por sua vez, é importante para o suprimento de água ao

reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos (Pinto et al., 2009). Possui clima sub-tropical de altitude, declividade média de 35% e nela ocorrem, em 92% da área, Cambissolos e no restante, Neossolos Flúvicos e Gleissolos (Menezes, 2007).

Foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE) Aster de 30 m de resolução para a criação de rasters de três atributos de terreno (ATs) que apresentam correlação com a profundidade do solo (Gessler et al., 2000): declividade, curvatura e índice de umidade (**Figura 1**), pelos programas ArcGIS 9.3 da ESRI e SAGA GIS.

Foram criadas 18 regras para a predição das profundidades do solo de cada pixel de acordo com os três ATs (**Tabela 1**). Locais com baixa declividade (< 20%), côncavos (valores positivos) e com maiores índices de umidade (> 10.5) estão mais sujeitos a terem solos profundos por receberem mais sedimentos de áreas mais altas. A regra a que os valores de cada pixel dos três ATs se adequassem melhor, indicaria a sua profundidade esperada, baseando-se nas classes propostas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006): raso (≤ 50 cm), pouco profundo (>50 e ≤ 100 cm), profundo (>100 e ≤ 200 cm) e muito profundo (> 200 cm). Por se tratar de área com predominância de Cambissolos (solos jovens), as profundidades esperadas foram definidas até a classe profundo.

A validação do mapa da profundidade do *solum* foi feita com 25 prospecções alocadas pelo sistema de amostragem do hipercubo latino condicionado, proposto por Minasny & McBratney (2006). Esse sistema aumenta as chances de representar a variabilidade espacial dos solos ao longo da área por determinar cada ponto de amostragem com base em diferentes combinações de atributos de relevo que são considerados influentes para o atributo que se deseja mapear. Além disso, a restrição de custo (HLCRC) incorporada por (Roudier et al., 2012) condiciona a amostragem para locais de menor dificuldade de acesso, o que diminui os gastos de tempo e recursos nos trabalhos de campo (Roudier et al., 2012), feito pelo pacote "clhs" do programa R (Roudier, 2012). Para isso, foi criado um raster de custo de se atingir cada local da paisagem a partir da reclassificação de rasters de declividade, distância da estrada e vegetação (pastagem ou mata Atlântica), este último obtido de Menezes (2007). Locais com baixa declividade, próximos da estrada e sob pastagem receberam valores de custo mais baixo. Pela álgebra de mapas, adicionaram-se esses três rasters, originando o raster de custo (**Figura 1**).

Índice Kappa, erros de comissão e omissão e índice global foram utilizados como parâmetros

para a validação dos pontos.

Tabela 1 - Regras para a classificação da profundidade do *solum* dos Cambissolos estudados.

Regra	Declive (%)	Curvatura	Índice de Umidade	Profundidade do <i>Solum</i> (cm)
1	≤ 20	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$\leq 10,5$	> 50 e ≤ 100
2	≤ 20	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$> 10,5$	> 100
3	≤ 20	$< -0,0008$	$> 10,5$	> 100
4	≤ 20	$< -0,0008$	$\leq 10,5$	> 100
5	≤ 20	$> 0,0008$	$> 10,5$	> 100
6	≤ 20	$> 0,0008$	$\leq 10,5$	> 100
7	> 20 e ≤ 45	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$\leq 10,5$	> 50 e ≤ 100
8	> 20 e ≤ 45	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$> 10,5$	> 50 e ≤ 100
9	> 20 e ≤ 45	$< -0,0008$	$> 10,5$	> 100
10	> 20 e ≤ 45	$< -0,0008$	$\leq 10,5$	> 50 e ≤ 100
11	> 20 e ≤ 45	$> 0,0008$	$> 10,5$	> 100
12	> 20 e ≤ 45	$> 0,0008$	$\leq 10,5$	> 50 e ≤ 100
13	> 45	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$\leq 10,5$	≤ 50
14	> 45	$\geq -0,0008$ e $\leq +0,0008$	$> 10,5$	> 50 e ≤ 100
15	> 45	$< -0,0008$	$> 10,5$	> 50 e ≤ 100
16	> 45	$< -0,0008$	$\leq 10,5$	≤ 50
17	> 45	$> 0,0008$	$> 10,5$	> 50 e ≤ 100
18	> 45	$> 0,0008$	$\leq 10,5$	≤ 50

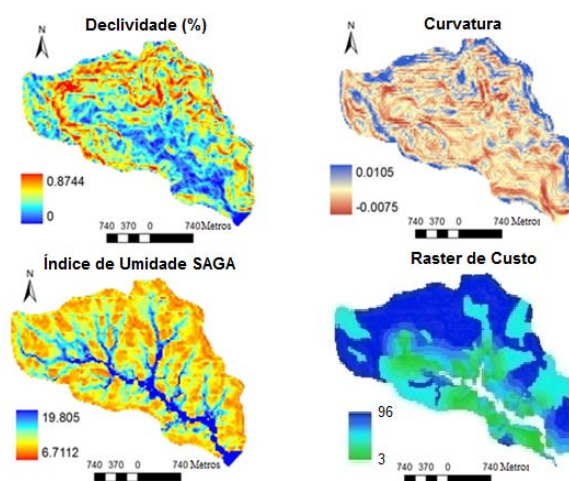


Figura 1 - Rasters dos atributos de terreno e custo de atingir cada pixel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As áreas mais elevadas da sub-bacia apresentaram os menores valores de índice de umidade e alta declividade, sendo aí esperados, solos mais rasos.

O mapa pré-campo (**Figura 2**) resultou em 229,04 ha de solos com *solum* raso, predominantes nas áreas mais declivosas, 215,26 ha de pouco profundos e 211,01 ha de profundos (áreas suavizadas, côncavas e de alto índice de umidade). O *solum* na SRL em áreas de Cambissolo, em muitos casos, é mais profundo que 100 cm, especialmente pelo fato do horizonte BC ser muito espesso. Como registrado por Menezes et al. (2009), os Cambissolos dessa sub-bacia são mais profundos do que aqueles da maioria da Bacia do Alto Rio Grande. Isso se deve ao material de origem dessa sub-bacia, gnaisse, ser mais facilmente intemperizável que aquele predominante no restante da Bacia do Alto Rio Grande (rochas metapelíticas pobres).

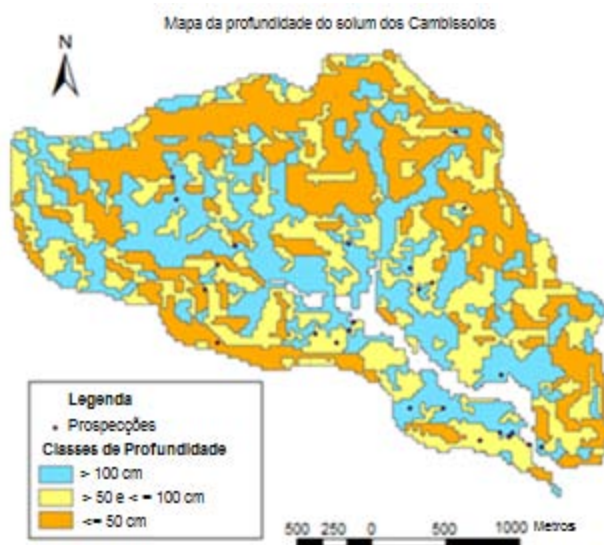


Figura 1 - Mapa da profundidade do *solum* dos Cambissolos da sub-bacia estudada.

20 da 25 amostras foram corretamente classificadas quanto à profundidade do *solum*, gerando índice global (IG) de 80%. Esse valor indica que houve alguns erros, provavelmente incrementados pelo uso de MDE com pixel de 30 m. MDEs de melhor resolução poderiam diminuir os erros por aumentar a quantidade de informações relativas ao relevo da área.

Duas prospeções aleatórias realizadas na área não considerada de Cambissolos revelaram Gleissolos e Neossolos Flúvicos, assim como dois

pontos classificados no trabalho de Menezes (2007) como Gleissolos e Neossolos Flúvicos, confirmaram que as áreas mais baixas da sub-bacia não apresentam Cambissolos.

Em relação ao HLCRC, no campo, os locais de prospeção apresentaram diferentes atributos do solo, como cor, profundidade, umidade, declividade, cascalhos, dentre outros, proporcionando uma ideia de como se comportam os solos ao longo da área. Além disso, o HLCRC, por dar preferência a prospeções em locais de "baixo custo", diminuiu o tempo e investimentos necessários nos trabalhos de campo, representando adequadamente a área.

O Índice Kappa foi calculado de acordo com a matriz de confusão da **tabela 2**, resultando em 0,616, correspondente a uma classificação substancial de acordo com Landis & Koch (1977). Este valor é mais baixo que do IG por considerar todos os valores da matriz e não somente os da diagonal principal, como IG (Bolfe et al., 2004).

Tabela 2 - Matriz de confusão.

Classe	Raso	Pouco Profundo	Profundo	Tota da Linha
Raso	1	1	0	2
Pouco Profundo	0	6	2	8
Profundo	0	2	13	15
Total da Coluna	1	9	15	25

Os erros de omissão (EO) e comissão (EC) (**Tabela 3**) representam a qualidade da classificação por classe. Valores mais baixos significam melhor acurácia da classificação. A classe raso apresentou o menor valor de EO e maior de EC. Entretanto, o fato dessa classe ter tido somente duas prospeções alocadas fazem com que qualquer prospeção erroneamente classificada aumente bastante os valores desses erros, como ocorreu nos valores de EC. A classe profundo apresentou menores valores de erros, mostrando que a classificação da profundidade do *solum* foi significativa. A classe pouco profundo apresentou valores intermediários de erros, com apenas 2 prospeções erroneamente classificadas num total de 8.

Tabela 3 - Erros de omissão e comissão.

Classe	Erro de omissão	Erro de comissão
Raso	$1 - (1/1) * 100 = 0,00$	$1 - (1/2) * 100 = 50,00$
Pouco Profundo	$1 - (6/9) * 100 = 33,33$	$1 - (6/8) * 100 = 25,00$
Profundo	$1 - (13/15) * 100 = 13,33$	$1 - (13/15) * 100 = 13,33$



CONCLUSÕES

Os avanços nas ferramentas de mapeamento digital de solos podem ajudar a se ter ideia prévia aos trabalhos de campo, aspecto importante especialmente para regiões com pouca informação disponível.

O sistema de amostragem por hipercubo latino condicionado se mostrou uma maneira prática para alocar as prospecções e amostras, contribuindo para a economia de tempo e de investimentos durante os trabalhos de campo.

O conhecimento de campo em associação com a lógica fuzzy é um suporte substancial na criação de mapas de solos, principalmente quando se trata de locais de difícil amostragem por toda a área.

O mapa pré-campo da profundidade do *solum* apresentou adequada correspondência com as condições de campo, dando suporte à importância do uso dos conhecimentos de campo como ferramenta indispensável ao mapeamento de solos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; FONSECA, E. L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. *Revista Árvore*, Viçosa, 28:85-90, 2004.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GESSLER, P. E.; CHADWICK, O. A.; CHAMRAN, F.; ALTHOUSE, L.; HOLMES, K.; Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. *Soil Science Society of America Journal*, 64:2046–2056, 2000.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing*. Englewood Cliffs: Prentice - Hall, 1986. 51p.

LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 1:159–174, 1977.

MINASNY, B. & MCBRATNEY, A.B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*, 32:1378–1388, 2006.

MENEZES, M. D. Levantamento de solos em sub-bacia hidrográfica como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga de aquíferos. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007. 107p.

MENEZES, M. D. Levantamento pedológico de hortos florestais e mapeamento digital de atributos físicos do solo para estudos hidrológicos. (Tese de Doutorado) – Lavras : UFLA, 2011. 225p.

MENEZES, M. D.; JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, MG. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 37:175-184, 2009.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na Região do Alto Rio Grande – MG, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 33:1145-1152, 2009.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5. ed. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322 p.

ROUDIER, P. *clhs: a R package for conditioned Latin hypercube sampling*. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/clhs/clhs.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2012.

ROUDIER, P.; BEAUDETTE D.E.; HEWITT A. E. A conditioned Latin hypercube sampling algorithm incorporating operational constraints. *Proceedings: 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping, 2012: Digital Soil Assessments & Beyond*. Sydney, Australia, p.10-13, 2012.