

## **Delineamento de unidades de mapeamento de solos sobre mapa digital de unidades taxonômicas de solos<sup>(1)</sup>.**

**Rodrigo Teske<sup>(2)</sup>; Elvio Giasson<sup>(3)</sup>; Alfred E. Hartemink<sup>(4)</sup>; Tatiane Bagatini<sup>(5)</sup>**

<sup>(1)</sup>Trabalho executado com recursos do CNPq e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

<sup>(2)</sup>Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS, rodrigoteske.agr@gmail.com; Bolsista CAPES;

<sup>(3)</sup>Professor Associado; UFRGS; Porto Alegre, Rio Grande do Sul; giasson@ufrgs.br; Bolsista Produtividade em Pesquisa do CNPq;

<sup>(4)</sup>Associate Professor; University of Wisconsin - Madison, USA; hartemink@wisc.edu;

<sup>(5)</sup>Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS, tatibagatini@yahoo.com.br; Bolsista CNPq.

**RESUMO:** O mapeamento digital de solos (MDS) é utilizado para prever propriedades, classes ou unidades de mapeamento de solos (UM). A capacidade de predição automatizada de UM pode ficar limitada quando ocorrerem UM combinadas ou quanto mais complexa forem as características ambientais. As correlações solo-paisagem geradas pelas técnicas do MDS, utilizando as unidades taxonômicas de solos (UT) podem resultar em maior capacidade preditiva dos modelos. Nesse contexto, utilizou-se a predição de UT como base para delinear UM. No local de estudo, a microbacia do Rio Santo Cristo no Rio Grande do Sul, predominam Latossolos, cujo material de origem é o basalto. Foram utilizadas 193 observações a campo para correlacionar as UT ocorrentes e as variáveis ambientais derivadas do ASTER GDEM v.2. O modelo foi gerado pelo algoritmo de árvore de decisão Simple Cart. O mapa de UT foi sobreposto a um mapa com relevo sombreado e serviu para o pedólogo delinear manualmente as UM. Os mapas das UT e de UM foram avaliados pela verdade de campo. O mapa de UM foi comparado com um mapa convencional na escala de 1:50.000. O modelo preditor classificou corretamente 54,9% das UT. O delineamento das UM apresentou 78% de acertos e concordância de 42,0% com o mapa de solos existente, cuja acurácia era de 80,0%. O delineamento de UM a partir da predição de UT mostrou ser uma técnica viável para o mapeamento digital de solos.

**Termos de indexação:** pedologia, mapeamento digital de solos, árvores de decisão

### **INTRODUÇÃO**

O mapeamento digital de solos (MDS) baseia-se no estabelecimento de relações matemáticas entre as variáveis ambientais e os solos, a fim de prever a distribuição espacial das propriedades ou das classes de solos (Lagacherie & McBratney, 2007). Diversas pesquisas têm utilizado dados dos mapas tradicionais de solos para prever a ocorrência das

unidades de mapeamento de solos (UM), bem como, extrapolar os modelos preditores para áreas ambientalmente semelhantes e ainda não mapeadas (Brus et al., 2011).

O delineamento das UM considera a distribuição espacial dos tipos de solos ou unidades taxonômicas de solos (UT) e as características do ambiente. Desta forma, as relações solo-paisagem são estabelecidas dentro de cada UM, que podem ser simples, com apenas uma UT, ou combinadas, com duas ou mais UT (IBGE, 2007).

As técnicas automatizadas de predição de ocorrência de UM pode ter sua capacidade limitada quando as características da paisagem se apresentarem com alta variabilidade ou ocorrerem UM combinadas na forma de associações ou complexos. Assim, se as variações ambientais forem correlacionadas com a ocorrência de UT, ao invés das UM, talvez possa-se aumentar a capacidade de predição dos modelos. Devido à menor variação ambiental relacionada à ocorrência das UT, em cada um dos locais de observações a campo, os classificadores de árvores de decisão podem apresentar menores confusões, gerando mais acertos na predição de ocorrência de UT, que podem ser usadas para o delineamento de UM.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os resultados da predição de ocorrência de unidades taxonômicas de solo e a sua aplicabilidade para auxiliar no delineamento de unidades de mapeamento de solo.

### **MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo é a microbacia do Rio Santo Cristo que está situada na região noroeste do Rio Grande do Sul, com uma área de 898 km<sup>2</sup>. O clima, segundo Köppen, é o subtropical úmido (Cfa). O material de origem é o basalto da Formação Serra Geral. O relevo se apresenta suave ondulado nas proximidades das nascentes dos Rios Santo Cristo e Tuparendi a montanhoso próximo do Rio Uruguai.

Os solos identificados no campo em 193 pontos georreferenciados foram agrupados ao nível de Subordem do Sistema Brasileiro de Classificação de

Solos (EMBRAPA, 2006), totalizando seis grupos taxonômicos. Destes, 14 são Cambissolos Háplicos (Cx), 13 são Gleissolos Háplicos (Gx), 64 são Latossolos Vermelhos (LV), 8 são Chernossolos Háplicos (Mx), 19 são Neossolos Litólicos (NL) e 75 são Neossolos Regolíticos (RR). Estas observações foram usadas como informação pedológica de referência para a geração do modelo preditor de UT.

A partir do modelo digital de elevação (MDE) ASTER-GDEM v.2 com tamanho de pixel de 30 m (Meyer et al., 2012) e usando ArcGis 9.3 (ESRI, 2009), foram gerados oito atributos do terreno (elevação, declividade, direção do fluxo, acúmulo de fluxo, comprimento do fluxo, curvatura e índice de umidade topográfica). As informações pedológicas e das variáveis foram coletadas nos 193 pontos georreferenciados, que foram tabulados e exportados para o programa Weka 3.6.3 (Hall et al., 2009), para treinar o algoritmo de árvore de decisão Simple Cart. Com o uso deste algoritmo, foi gerado o mapa de distribuição de UT. Este mapa com as UT preditas foi sobreposto ao mapa com relevo sombreado, derivado do MDE ASTER v.2. Sobre essa base, foram delineadas manualmente pelo pedólogo, as UM simples ou combinadas (associações ou complexos) (Tabela 1). Foi utilizada a mesma legenda de UM de um mapa convencional de solos da área já existente na escala de 1:50.000 (Kämpf et al., 2004), cuja acurácia é de 80%.

**Tabela 1.** Legenda do mapa de solos utilizada para delinear as unidades de mapeamento a partir do mapa predito de unidades taxonômicas de solo.

UM*	UT	Proporção (%)	Inclusões
LV1	LV	-	RR, Cx
LV2	LV, RR	60 e 40	Cx
M	Mx	-	Cx
RR1	RR, Cx	60 e 40	NL, Cx
RR2	RR, NL	50 e 50	Cx
RR3	RR, LV	60 e 40	Cx
RR4	RR, NL	70 e 30	-
RR5	RR, Cx, LV	50, 30 e 20	-
RR6	RR, Mx	60 e 40	Cx
G	Gx	-	-

UM = unidade de mapeamento de solo; UT = unidades taxonômicas componentes; Proporção = porcentagem estimada de cada componente; LV = Latossolo Vermelho; RR = Neossolo Regolítico; Mx = Chernossolo Háplico; Cx = Cambissolo Háplico; NL = Neossolo Litólico; Gx = Gleissolo Háplico.

O mapa de UM delineadas foi comparado pixel a pixel com o mapa convencional e foi gerada a matriz de erros de Congalton (1991). Os valores de acurácia são expressos em acurácia geral, erros de

inclusão, erros de omissão, acurácia do mapeador, acurácia do usuário e índice Kappa. A avaliação da verdade de campo foi realizada no mapa contendo as UM delineadas e no mapa com as UT preditas, com valores expressos em porcentagem de acertos e de erros de classificação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo preditor de UT conseguiu estimar todas as seis UT encontradas na área de estudo. A avaliação da verdade de campo do mapa de UT constatou que o modelo classificou corretamente 54,9% das UT (Tabela 2). Entre as UT preditas, a Mx apresentou a maior porcentagem de acertos de classificação (80%), seguida da RR com 66,1% de acertos. A distribuição espacial das UT Gx, NL e LV resultaram acertos de classificação entre 54,5% a 60,5%. A UT Cx apresentou somente 15,6% de instâncias corretamente classificadas.

**Tabela 2.** Avaliação da verdade de campo do mapa predito de unidades taxonômicas de solo.

UT*	Ac.	Erros	Total	Ac. (%)	Erros (%)
Cx	5	27	32	15,6	84,4
Gx	6	5	11	54,5	45,5
LV	46	30	76	60,5	39,5
Mx	4	1	5	80,0	20,0
NL	4	3	7	57,1	42,9
RR	41	21	62	66,1	33,9
<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>87</b>	<b>193</b>		
<b>AG</b>	<b>54,9</b>				

\*UT = unidades taxonômicas de solos; Ac. = quantidade de acertos; AG = acurácia geral em porcentagem.

A implementação do modelo em SIG, possibilitou representar as UT preditas distribuídas nas diversas posições do relevo. A UT LV foi predita nas áreas com maiores altitudes, superiores a 239m, ocupando grandes extensões em relevo suavemente ondulado a ondulado, e em menor proporção ocupando áreas com relevo fortemente ondulado. Algumas predições da LV também foram constatadas nas áreas de interflúvio até o terço inferior das coxilhas. A predição da UT RR ocorreu, principalmente, em grandes manchas nas porções mais a sudeste da microbacia e nas áreas de depressões em direção à porção Noroeste, cujas áreas apresentam-se com relevo suave ondulado a ondulado. A UT RR foi predita nas áreas mais próximas ao Rio Uruguai, ocorrendo em áreas com declividades mais acentuadas (>20%), com relevo ondulado a forte ondulado. Nas demais regiões, a RR foi predita de forma estreita e continuada,

acompanhando as posições de terço médio e inferior de encosta, em relevo ondulado. Na porção mais a noroeste da microbacia observou-se a predição da UT NL nas áreas mais altas do terreno (acima de 170m) e em relevo fortemente ondulado a montanhoso. A predição da UT NL nas demais regiões ocorreu de forma irregular, desde as áreas mais altas, passando pelas posições de terço médio das encostas e inclusive no fundo dos vales. A UT Cx foi predita em toda a microbacia, ocorrendo nos terços inferiores das encostas e em relevo ondulado a forte ondulado. Nas áreas mais a noroeste da microbacia foi predita em relevo montanhoso. A UT Gx, por sua vez, foi predita nas áreas de fundo de vale com relevo plano, principalmente nas porções central e a sudeste da microbacia. A UT Mx foi distribuída nas áreas mais baixas, fundos de vales e relevo menos acidentado, na porção mais a noroeste da microbacia. As UT Cx, RR e NL formam um mosaico com variadas proporções, principalmente nas áreas com relevo mais acidentado e de encostas. Esta distribuição também foi observada na execução do levantamento convencional de solo, já que em diversas UM ocorrem as UT Cx, RR e NL na forma de associações ou de inclusões. Estas observações permitem inferir que o modelo preditor conseguiu distribuir as UT no relevo de forma coerente com o observado pelos pedólogos no levantamento convencional de solos.

Embora o modelo preditor de UT tenha apresentado acurácia de 54,9%, a distribuição na paisagem das UT preditas ocorreu de forma coerente com a descrição dos solos do relatório técnico do levantamento convencional de solos realizado por Kämpf et al. (2004). A junção do mapa de UT ao mapa de relevo sombreado, colocados à disposição do pedólogo, possibilitou delinear as UM com acurácia semelhante ao do mapa de solos gerado pelos métodos convencionais (78,8%).

A avaliação da acurácia das UM delineadas confrontadas com as informações pedológicas da verdade de campo resultou em uma acurácia geral de 78,8% (**Tabela 3**). Em geral, as UM delineadas apresentaram porcentagens de acertos iguais ou maiores que 50%. Dentre os maiores valores de acertos, encontram-se a UM LV2 com 92,3%, seguida da UM LV1 com 89,5% e da RR3 com 87% das UT corretamente classificadas. Em seguida aparecem as UM M, RR1 e a G. Esta última é uma UM simples, com apenas uma UT e ocorre em pequena extensão na área e mesmo assim, o modelo preditor permitiu proceder ao delineamento da respectiva UM, com mais de 71% de acertos.

**Tabela 3.** Avaliação da verdade de campo do mapa de unidades de mapeamento de solo delineadas manualmente.

UM*	Ac.	Erros	Total	Ac. (%)	Erros (%)
G	5	2	7	71,4	28,6
LV1	51	6	57	89,5	10,5
LV2	24	2	26	92,3	7,7
M	4	1	5	80,0	20,0
RR1	29	8	37	78,4	21,6
RR2	19	19	38	50,0	50,0
RR3	20	3	23	87,0	13,0
<b>Total</b>	<b>152</b>	<b>41</b>	<b>193</b>		
<b>AG (%)</b>	<b>78,8</b>				

\*UM = unidades de mapeamento de solos; Ac. = quantidade de acertos; AG = acurácia geral.

Os resultados da comparação entre o mapa original e o mapa das UM delineadas demonstram uma concordância de 42% (**Tabela 4**). O mapa com as UT preditas permitiu delinear sete das dez UM presentes no mapa original, sendo que as UM menos extensas RR4, RR5 e RR6 não foram delineadas porque não foram encontrados os mesmos padrões de distribuição das UT correspondentes à legenda original dos solos.

Dentre as UM delineadas, os maiores valores de acurácia do usuário foram encontrados na LV1 (61,5%) e na RR1 (50,7%). Os maiores valores de acurácia do mapeador foram encontrados também na LV1 com 64,4%, seguido das UM M com 41,1% e RR1 com 35,5%. Tanto no mapa de referência como no mapa produzido, as UM LV1 e RR1 são as mais extensas. No mapa original a LV1 ocupa uma área de 38,3% e 40,1% mapa produzido. A RR1 ocupa no mapa original 34,8% e no mapa produzido 24,3%.

Do total da área ocupada pela UM LV1 no mapa convencional de solos, 64,4% foram delineados como LV1 de forma concordante, sendo os erros de omissão mais expressivos nesta UM os provenientes do delineamento das UM LV2 (18,3%) e RR1 (11,5%) em áreas mapeadas originalmente como LV1 no mapa convencional. Em relação à segunda UM mais expressiva da área, o delineamento da RR1 apresentou uma concordância de 35,5% com o mapa de solos convencional, sendo que na área ocupada pela RR1 no mapa convencional, 26,7% foram delineadas como LV1, 10,9% como LV2 e 10,3% como RR3. Assim, observa-se que os erros de mapeamento deveriam-se principalmente ao confundimento entre áreas das UM mais representativas da microbacia, a LV1 e a RR1. Isso pode ser devido ao fato que as UT que compõe a UM RR1 (RR e Cx) também ocorrem como inclusões na UM LV1.

## CONCLUSÕES

A distribuição na paisagem das unidades taxonômicas de solos preditas é coerente com o descrito no relatório técnico do levantamento convencional da microbacia.

A predição de unidades taxonômicas de solos e a utilização de um modelo digital de elevação são viáveis para o delineamento das unidades de mapeamento de solo de forma semi automatizada.

O mapa delineado manualmente sobre o mapa predito de unidades taxonômicas de solos apresentou acurácia semelhante ao mapa produzido por levantamento pedológico convencional.

## REFERÊNCIAS

BRUS, D.J. et al. Sampling for validation of digital soil maps. *European Journal of Soil Science*, 62:394–407. 2011.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37:35-46, 1991.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESRI. ArcGIS Professional GIS for the desktop, versão 9.3.1 CA. 2009.

HALL, M. et al. The WEKA Data Mining Software: An Update. In *SIGKDD Explorations*, 11:1, 2009.

IBGE. Manual técnico de pedologia. 2.ed. Rio de Janeiro, 2007. 300p.

KÄMPF, N. et al. Levantamento pedológico e análise qualitativa do potencial de uso dos solos para o descarte de dejetos suínos da microbacia do Rio Santo Cristo. SEMA/RS, PNMA II. Relatório final. 2004.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. ed. *Digital soil mapping: an introductory perspective*. Amsterdam: Elsevier, 2007. p.3-24.

MEYER, D.J. et al. Summary of the validation of the second version of the ASTER GDEM, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Inf. Sci.*, 291-293, 2012.

**Tabela 4.** Matriz de erros comparando o mapa de solos de referência produzido por métodos convencionais e o mapa gerado por delineamento manual sobre o mapa predito de UT.

		Mapa de referência										Total	EI (%)	AU (%)	
		UM													
Mapa produzido (delineado)	UM	G	LV1	LV2	M1	RR1	RR2	RR3	RR4	RR5	RR6				
		<b>G</b>	0,5	0,3	0,3	0,0	2,0	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	3,9	86,7	13,3
		<b>LV1</b>	0,3	24,7	1,6	0,0	9,3	1,5	2,4	0,0	0,3	0,0	40,1	38,5	61,5
		<b>LV2</b>	0,2	7,0	2,3	0,0	3,8	0,8	1,0	0,0	0,0	0,0	15,1	84,6	15,4
		<b>M1</b>	0,1	0,0	0,2	0,1	2,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	97,6	2,4
		<b>RR1</b>	0,9	4,4	1,9	0,0	12,4	2,0	2,8	0,0	0,1	0,0	24,3	49,3	50,7
		<b>RR2</b>	0,2	0,2	0,6	0,0	1,7	1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	4,6	74,5	25,5
		<b>RR3</b>	0,3	1,8	0,9	0,1	3,6	1,5	0,6	0,0	0,0	0,0	8,7	93,6	6,4
		<b>RR4</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>RR5</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>RR6</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<b>Total</b>	2,5	38,3	7,9	0,2	34,8	8,1	7,9	0,03	0,4	0,01	100			
	<b>EO* (%)</b>	78,8	35,6	70,6	58,9	64,5	85,6	92,9	100,0	100,0	100,0				
	<b>AM (%)</b>	21,2	64,4	29,4	41,1	35,5	14,4	7,1	0	0	0				
	<b>AG (%)</b>	42,0													
	<b>Kappa</b>	0,21													

\*UM = unidades de mapeamento de solos; AG = acurácia geral; EI = erros de inclusão; EO = erros de omissão; AU = acurácia do usuário; AM = acurácia do mapeador.