

Álgebra de mapas de atributos de solos para estimativa da aptidão agrícola das terras

Maria Leonor Lopes Assad¹
Emília Hamada²
José Tadeu de Oliveira Lana²

¹ Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Rod. Anhanguera, km 174 - 13600-970 – Araras - SP, Brasil
assad@cca.ufscar.br

² Embrapa Meio Ambiente
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Jaguariúna - SP, Brasil
{emilia, lana}@cnpma.embrapa.br

Abstract. The land suitability evaluation is used to establish land zonings for agriculture activities. Geographic information systems (GIS) are useful for integrating different attributes necessary to define apt and not apt lands. The present study had as main objective to describe procedures to define land suitability using GIS tools, soils maps and data soils profiles data, emphasizing procedures to define soil attributes. The area studied was the watershed of Córrego Espriado, Ribeirão Preto-SP, located on the recharging area of the Guarani Aquifer, with approximately 4,130 ha and predominance of sugar cane culture. The database project was developed using the GIS Idrisi 32. The land suitability evaluation was done considering the intensive agricultural production system predominant in the watershed, adjusted for the vulnerability of the areas of recharge and for the methodology of GIS tools. Numerical terrain models (NTM) had been constructed for cation exchange capacity, basis saturation, clay content and silt+clay content using kriging (geostatistical interpolator), and for aluminum saturation using the inverse-square-distance. Boolean operations for handling geographic fields (thematic maps and NTM) to produce information plans are described and a land suitability map obtained by GIS tools is presented, indicating that 85% of watershed lands are apt to annual cultures.

Palavras-chave: GIS, boolean operations, evaluation, SIG, operações booleanas, avaliação.

1. Introdução

O zoneamento de terras constitui etapa importante do planejamento ambiental e contribui para a definição de práticas mitigadoras dos impactos devidos ao uso intensivo dos recursos naturais disponíveis. Sua elaboração exige a integração de um grande número de variáveis, o que representa muitas vezes uma dificuldade para gestores ambientais, pois os dados possuem estruturas diversas e estão disponíveis sob suportes distintos (mapas, planilhas de dados, textos) e em densidades diferentes para uma mesma área alvo.

O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (Ramalho Filho e Beek, 1995) permite avaliar as terras conforme o nível de manejo a partir de atributos de solos, reclassificando-se cada unidade de mapeamento representada no mapa de solos.

Trabalhos utilizando ambiente de SIG para avaliação da aptidão agrícola das terras (Formaggio et al., 1992; Lopes-Assad, 1995; Hamada et al., 2006) envolvem interpretações realizadas por especialistas em solos e estabelecem uma classificação baseada em critérios qualitativos. Alguns trabalhos utilizam MNT (Modelo Numérico de Terreno) para refinar a compatimentação do relevo e melhor definir a suscetibilidade à erosão (Fiorio et al., 1999; Pedron et al., 2006). No ambiente de SIG as operações tendem a ser mais numerosas, mas a definição de intervalos numéricos para as diferentes classes e a espacialização de atributos importantes para a estimativa da aptidão agrícola das terras podem facilitar a metodologia de zoneamento de terras aptas para agricultura acessível ao usuário não especializado (Hamada et al., 2007).

O objetivo do presente trabalho é apresentar as diferentes operações booleanas de álgebra de mapas de atributos de solos desenvolvidas em um sistema de informações geográficas, elaborado com dados de solos e de relevo, para a definição da aptidão agrícola de terras no nível de manejo tecnológico alto (manejo C), visando sua aplicação por parte do usuário não especializado em solos.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo é a microbacia hidrográfica do Córrego Espreado, Ribeirão Preto (SP), que ocupa uma superfície de aproximadamente 4.131 ha, onde se cultiva predominantemente cana-de-açúcar. São encontradas também pequenas áreas de matas ciliares marginais aos cursos d'água e campos higrófilos nas áreas mal drenadas das planícies de inundação. Na microbacia ocorrem Latossolos Vermelhos e Vermelhos Amarelos, de fertilidade variada (eutroféricos, distroféricos, eutróficos, distróficos e álicos), Nitossolos Eutroféricos, Neossolos Litólicos Eutróficos e Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Distróficos e Álicos, e Gleissolos Hápicos, com ou sem associação com Organossolos (Miklós e Gomes, 1996; Hamada et al., 2006).

A avaliação da aptidão agrícola das terras da microbacia foi feita por meio da metodologia proposta por Ramalho e Beek (1995), adaptada para SIG conforme proposta de Lopes-Assad (1995), que prevê a elaboração de planos de informação (PI) de deficiência de fertilidade (DF), deficiência de água (DA), deficiência de oxigenação (DO), suscetibilidade à erosão (SE) e impedimento à mecanização (IM).

O projeto do banco de dados foi desenvolvido no Idrisi Kilimanjaro, com sistema de projeção UTM, com limites da área de 213.002 m e 224.498 m e 7.642.943 m e 7.654.502 m, Datum 23 S e resolução espacial 5 m x 5 m.

Os dados de entrada do SIG foram cartas topográficas, na escala de 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC): Fazenda Santa Rita do Picadão (SF-23-V-C-I-2-SO-E), Fazenda Santa Maria (SF-23-V-C-I-2-SO-F), Fazenda São Tomáz (SF-23-V-C-I-4-NE-B) e Córrego do Espreado (SF-23-V-C-I-4-NO-A) e o mapa de solos da microbacia, na escala de 1:25.000 (Miklós e Gomes, 1996).

As cartas planialtimétricas foram digitalizadas utilizando mesa digitalizadora e o software Cartalinx, onde também foi realizado o mosaico das quatro cartas. Desta forma, foram obtidas as curvas de nível e o limite da microbacia estudada. A informação de curva de nível foi processada no software Surfer 8.02 para a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando o método de interpolação de triangulação linear. Em seguida, a informação foi importada no SIG em formato vetorial e, posteriormente, transformada em *raster*. Esse resultado foi recortado para os limites da microbacia e foi estabelecido o mapa de classes de declive (DECL), conforme Tabela 1.

O mapa de solos na escala de 1:25.000 foi escaneado, transferido para o SIG e georreferenciado, tendo como referência o mapa de curva de nível e o limite da microbacia. Essa imagem foi processada no Cartalinx, formando-se dois PI, um com os polígonos das classes de solos e outro, com os pontos de amostragem, associados aos valores de atributos químicos e físicos, no total de 76 pontos. Esses atributos foram colhidos em dez trincheiras, dois barrancos e 64 tradagens (Hamada et al, 2007).

Inicialmente, foram definidos os intervalos de classe para os atributos considerados (Tabela 1), aplicando-se, à metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), recomendações de Oliveira e Berg (1985), Oliveira e Sosa (1995) e Pereira e Lombardi Neto (2004). Em seguida, foram criados PI representativos dos atributos argila (ARG), silte+argila (SA), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (M). Considerando os valores determinados na profundidade de 60 cm, foram criados MNT utilizando o método de krigagem ordinária, exceto para M, quando foi adotado o método do

inverso do quadrado da distância. Por reclassificação de polígonos do mapa de solos foi obtido o PI fixação de fósforo (F), de acordo com critérios de Oliveira e Sosa (1995) e Pereira e Lombardi Neto (2004). Assim, os Neossolos e os Gleissolos apresentam fixação de fósforo nula, nos Latossolos Distróficos e Álicos a fixação é ligeira e nos Latossolos Férricos e nos Nitossolos é muito forte. O fator erodibilidade do solo (Fator K) foi estimado utilizando-se o método indireto, para cada subhorizonte, por meio da equação de Bouyoucos, extraída de Pereira e Lombardi Neto (2004):

$$FatorK = \left(\frac{areia + silte}{argila} \right) X 100 \quad (1)$$

onde: Fator K é a erodibilidade de cada solo ($t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$) e areia, silte e argila representam as porcentagens das respectivas frações para cada ponto.

Em seguida, foram definidas operações booleanas de álgebra de mapas no SIG (Tabela 2) e procedimentos de reclassificação, conforme fluxograma ilustrado na Figura 1. Primeiramente foram estabelecidos os PI deficiência de nutrientes (DN), posteriormente cruzado com o PI F para obtenção do PI DF. O PI (DA) foi definido a partir do cruzamento dos PI (SA) e (ARG), adaptando-se a proposta de Pereira et al. (2004). O PI DO foi obtido por reclassificação do mapa de solos considerando-se que nos Latossolos, nos Nitossolos e nos Neossolos Quartzarênicos a deficiência de oxigenação é nula; nos Neossolos Litólicos é ligeira e nos Gleissolos é forte. O PI SE foi obtido a partir do cruzamento do PI DECL com PI K (Tabela 2). A determinação de IM foi feita também em duas etapas. Na primeira, o PI solos foi reclassificado com base nos atributos profundidade efetiva (pe), rochiosidade/pedregosidade (rp) e desgaste de máquinas (dm), gerando-se o PI limitação à mecanização (IMP). Assim, nos Latossolos e nos Nitossolos IMP é nulo; nos Neossolos Quartzarênicos é ligeiro; nos Neossolos Litólicos é muito forte e nos Gleissolos é moderado. Em seguida, IMP foi cruzado com DECL, conforme operações indicadas na Tabela 2, gerando-se o PI IM.

Finalmente, por meio de algoritmos definidos conforme metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995) para região de clima subtropical (Tabela 3), foi elaborado o PI aptidão agrícola das terras no nível de manejo tecnológico alto (manejo C) e foram calculadas as áreas de cada classe de aptidão (Tabela 3).

3. Resultados e Discussão

A avaliação de aptidão agrícola das terras, a partir de mapas de solos e de dados de perfis, e utilizando o sistema proposto por Ramalho Filho e Beek (1995) tem sido bastante utilizada no Brasil em estudos de zoneamento de culturas (Carvalho Júnior et al., 2003; Ramos et al., 2007) e em estudos de conflito de uso de terras agrícolas (Barros et al., 2004; Pedron et al., 2006). Nesses trabalhos, o uso de SIG e de técnicas de geoprocessamento tem sido comum visando automatizar operações e facilitar o cruzamento de dados de solos. Entretanto, persistem os problemas gerados pelas estimativas qualitativas de atributos condicionadores da fertilidade e da disponibilidade de água, fundamentais em sistemas agrícolas. Pereira e Lombardi Neto (2004), com base em trabalhos de Oliveira e Berg (1985) e Oliveira e Sosa (1995), ampliaram o caráter quantitativo da estimativa da fertilidade no sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras. Entretanto, a ausência de algoritmos específicos para os cruzamentos dos diferentes planos de informação gerados em ambiente de SIG confere uma grande subjetividade na avaliação da aptidão agrícola das terras e torna o trabalho fortemente dependente da atuação de pedólogo com grande experiência.

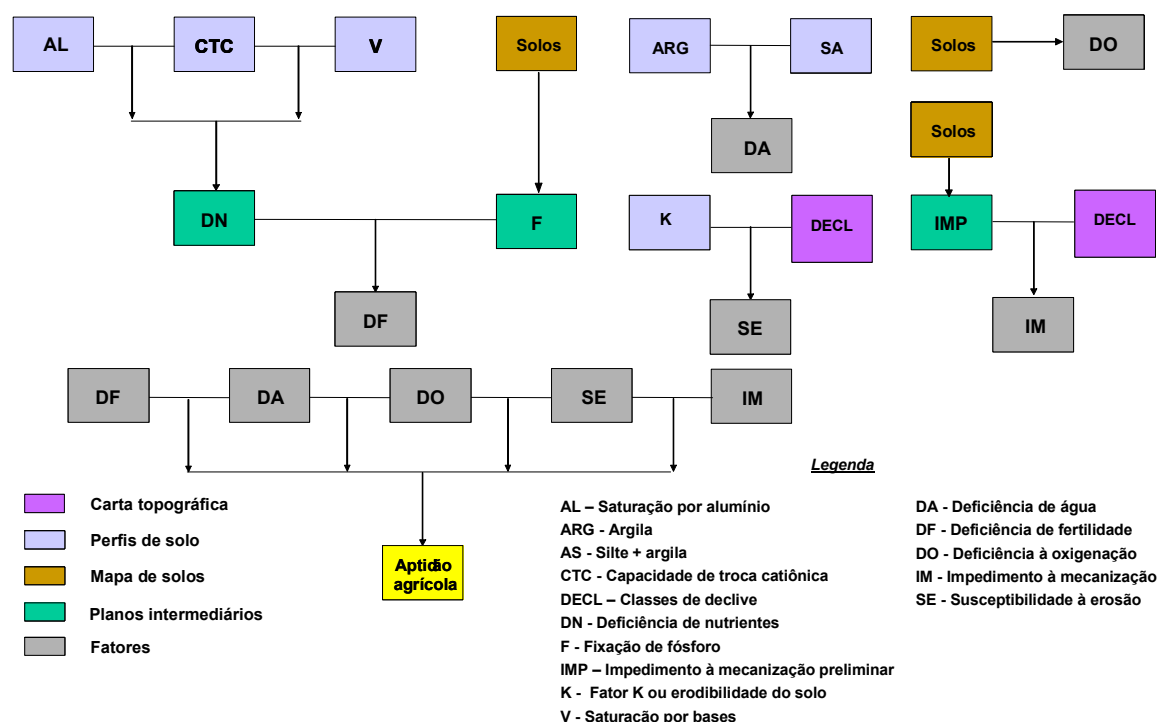


Figura 1. Fluxograma de operações realizadas em ambiente de SIG para obtenção da aptidão agrícola das terras da Microbacia do Córrego Espreado, localizada em Ribeirão Preto, São Paulo.

Tabela 1. Intervalos de classes definidas para os atributos utilizados na elaboração dos diferentes planos de informação (PI), para determinação da aptidão agrícola das terras da microbacia do córrego Espreado, localizada em Ribeirão Preto (SP).

PI	Classe	PI	Classe	PI	Classe	PI	Classe
V	$0 \leq V < 10$	CTC	$0 \leq CTC < 30$	SA	$sa < 5$	ARG	$arg \leq 15$
	$25 \leq V < 50$		$30 \leq CTC < 50$		$5 \leq sa < 10$		$15 < arg < 35$
AL	$10 \leq V < 25$	K	$CTC \geq 50$	DECL	$10 \leq sa < 15$	DECL	$8 \leq d < 13$
	$0 \leq V < 10$		$K < 0,010$		$15 \leq sa < 20$		$13 \leq d < 20$
	$0 \leq m < 10$		$0,10 \leq K < 0,20$		$20 \leq sa < 30$		$20 \leq d < 45$
	$10 \leq m < 30$		$0,20 \leq K < 0,30$		$30 \leq sa < 60$		$45 \leq d \leq 100$
	$30 \leq m < 50$		$0,30 \leq K < 0,40$		$60 \leq sa < 75$		
	$50 \leq m < 70$		$K \geq 0,40$		$75 \leq sa < 85$		
	$70 \leq m \leq 100$				$85 \leq sa < 90$		
					$90 \leq sa < 95$		
					$sa \geq 95$		

Atributos: V = saturação por bases, em %; m = saturação por alumínio, em %; CTC = capacidade de troca catiônica, em $\text{mmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$; K = erodibilidade do solo, em $\text{t.h.MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$; sa = teor de silte + teor de argila, em %; arg = teor de argila, em %; d = declividade, em %.

Tabela 2. Operações booleanas realizadas por meio de álgebra de mapas para obtenção dos PI deficiência de nutrientes (DN), deficiência de fertilidade (DF), deficiência de água (DA), deficiência de oxigenação (DO), suscetibilidade à erosão (SE) e impedimento à mecanização (IM).

Classe	Operações booleanas
PI DN	
Nulo	$50 \leq V \leq 100$ e $CTC \geq 50$ e $0 \leq m < 10$
Ligeiro	$(50 \leq V \leq 100$ e $CTC \geq 50$ e $10 \leq m < 30)$ ou $(50 \leq V \leq 100$ e $30 \leq CTC < 50$ e $0 \leq m < 50)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $CTC \geq 50$ e $0 \leq m < 30)$
Moderado	$(50 \leq V \leq 100$ e $CTC \geq 50$ e $30 \leq m < 50)$ ou $(50 \leq V \leq 100$ e $30 \leq CTC < 50$ e $50 \leq m < 70)$ ou $(50 \leq V \leq 100$ e $0 \leq CTC < 30$ e $0 \leq m < 70)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $CTC \geq 50$ e $30 \leq m < 50)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $3 \leq CTC < 50$ e $0 \leq m < 70)$
Forte	$(50 \leq V \leq 100$ e $CTC \geq 50$ e $50 \leq m < 70)$ ou $(50 \leq V \leq 100$ e $30 \leq CTC < 50$ e $70 \leq m \leq 100)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $CTC \geq 50$ e $50 \leq m < 70)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $30 \leq CTC < 50$ e $70 \leq m \leq 100)$ ou $(25 \leq V < 50$ e $0 \leq CTC < 30)$ ou $(10 \leq V < 25$ e $CTC \geq 50$ e $0 \leq m < 70)$ ou $(10 \leq V < 25$ e $3 \leq CTC < 50)$
Muito forte	$(0 \leq V < 10)$ ou $(10 \leq V < 25$ e $0 \leq CTC < 30)$ ou $(10 \leq V \leq 100$ e $CTC \geq 50$ e $70 \leq m \leq 100)$
PI DF	
Nulo	DN = nulo e (F = nulo ou F = ligeiro ou F = moderado)
Ligeiro	(DN = ligeiro e (F = nulo ou F = ligeiro ou F = moderado)) ou ((DN = nulo ou DN = ligeiro) e (DF = forte))
Moderado	(DN = moderado) ou ((DN = nulo ou DN = ligeiro) e F = muito forte)
Forte	DN = forte
Muito forte	DN = muito forte
PI DA	
Nulo	$(30 \leq sa < 75$ e $15 < arg < 60)$ ou $(60 \leq sa < 75$ e $arg \geq 60)$
Ligeiro	$(25 \leq sa < 30$ e $arg \leq 15)$ ou $(20 \leq sa < 30$ e $15 < arg < 60)$ ou $(75 \leq sa < 85$ e $arg > 15)$
Moderado	$(85 \leq sa < 90$ e $15 < arg < 60)$ ou $(15 \leq sa < 20$ e $15 \leq arg < 60)$ ou $(15 \leq sa < 30$ e $arg \leq 15)$ ou $(85 \leq sa < 90$ e $arg \geq 60)$
Forte	$(5 \leq sa < 15)$ ou $(90 \leq sa < 95$ e $15 < arg < 60)$ ou $(90 \leq sa < 95$ e $arg \geq 60)$
Muito forte	$(sa \geq 95$ e $15 < arg < 60)$ ou $(sa \geq 95$ e $arg \geq 60)$ ou $(sa < 50)$
PI SE	
Nulo	$0 \leq d < 3$ e $K < 0,010$
Ligeiro	$(0 \leq d < 3$ e $0,010 \leq K < 0,030)$ ou $(3 \leq d < 8$ e $K < 0,020)$
Moderado	$(0 \leq d < 3$ e $0,030 \leq K < 0,040)$ ou $(3 \leq d < 8$ e $0,020 \leq K < 0,030)$ ou $(8 \leq d < 13$ e $K < 0,010)$
Forte	$(0 \leq d < 3$ e $K \geq 0,040)$ ou $(3 \leq d < 8$ e $0,030 \leq K < 0,040)$ ou $(8 \leq d < 13$ e $0,010 \leq K < 0,030)$ ou $(13 \leq d < 20$ e $K < 0,010)$
Muito forte	$(3 \leq d < 8$ e $K \geq 0,040)$ ou $(8 \leq d < 13$ e $K \geq 0,030)$ ou $(13 \leq d < 20$ e $K \geq 0,010)$ ou $(d \geq 20)$
PI IM	
Nulo	$d < 8$ e IMP = nulo
Ligeiro	$(d < 8$ e IMP = ligeiro) ou $(8 \leq d < 13$ e IMP = nulo)
Moderado	$(0 \leq d < 3$ e IMP = moderado) ou $(8 \leq d < 13$ e IMP = ligeiro) ou $(13 \leq d < 20$ e (IMP = nulo ou IMP = ligeiro))
Forte	$(0 \leq d < 3$ e IMP = muito forte) ou $(3 \leq d < 20$ e IMP = moderado) ou $(20 \leq d < 45$ e (IMP = nulo ou IMP = ligeiro))
Muito forte	$(3 \leq d < 45$ e IMP = muito forte) ou $(20 \leq d < 45$ e IMP = moderado) ou $(d > 45)$

V = saturação por bases em %; CTC = capacidade de troca catiônica em $\text{mmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$; m = saturação por alumínio; sa = teor de silte + teor de argila, em $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; arg = teor de argila, em $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; K = erodibilidade do solo, em $\text{t.h.MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$; d = declividade; F = plano de informação de fixação de fósforo; IMP = plano de informação de limitação à mecanização.

Neste trabalho, buscou-se definir limites numéricos para diferentes atributos de solos e estabelecer algoritmos de lógica booleana baseados nos critérios definidos por Ramalho e

Beek (1995). Dos perfis de solos, foram utilizados atributos disponíveis em mapeamentos, para estabelecer os PI ARG, SA, CTC, V e M correspondentes, respectivamente, à espacialização de teor de argila (arg), teor de argila + silte (sa), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

Como para a Bacia do Córrego Espreado, em Ribeirão Preto, dispunha-se de dados de atributos químicos e físicos para 76 pontos, foi possível criar MNT utilizando-se interpoladores. Com isso, a estimativa da deficiência de fertilidade e da deficiência de água pôde ser feita levando-se em conta a variabilidade espacial desses atributos.

A agregação da estimativa da erodibilidade do solo (fator K), a partir de dados de granulometria, na avaliação da suscetibilidade à erosão também constitui um passo importante, pois solos diferentes apresentam diferentes graus de resistência à erosão, mesmo quando se encontram em mesma declividade. Na literatura, existem outros métodos para estimativa do fator K, mas esses utilizam atributos nem sempre disponíveis em mapeamentos de solos, o que dificulta seu emprego.

Alguns atributos, como a estimativa da deficiência de oxigenação e de impedimento à mecanização, bem como a estimativa da fixação de fósforo como parte da avaliação da fertilidade do solo, ainda se apóiam em uma avaliação qualitativa. Mas em todos esses casos, a classe de solo é um bom estratificador.

Tabela 3. Operações booleanas realizadas por meio de álgebra de mapas para obtenção do PI aptidão agrícola.

Classe	Operações booleanas	Área (ha)
Boa	$IM = 1$ e $DF < 4$ e $DA < 4$ e $DO < 4$ e $SE < 4$	1.217,77
Regular	$(IM = 2$ e $DF < 5$ e $DA < 5$ e $DO < 5$ e $SE < 5)$ ou $(IM = 1$ e $DF = 4$ ou $DA = 4$ ou $DO = 4$ ou $SE = 4)$	1.421,74
Restrita	$(IM = 3)$ ou $(IM < 3$ e $DF = 5$ ou $DA = 5$ ou $DO = 5$ ou $SE = 5)$	969,97
Não recomendada	$IM > 3$	521,28
1= nulo; 2 = ligeiro; 3= moderado; 4 = forte; 5 = muito forte		Total 4.130,76

Os algoritmos para o cruzamento dos PI DF, DA, DO, SE e IM (Tabela 3) foram definidos com base no quadro-guia para região subtropical, proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), visando sistema de manejo agrícola de alto nível tecnológico. Constata-se que 87% das terras da Bacia do Córrego Espreado possuem aptidão para culturas anuais e que 13% das terras não devem ser submetidas a manejo agrícola tecnificado. Neste caso, a grande limitação é a declividade que torna impeditivo o emprego de mecanização, essencial em sistemas de alto nível tecnológico.

O mapa de aptidão agrícola obtido por meio dos procedimentos aqui propostos (Figura 2) apresenta uma fragmentação de polígonos diferente daquela que seria obtida por procedimento manual de reclassificação. Isto porque os MNT gerados permitem revelar uma variabilidade espacial decorrente da variabilidade dos solos e do relevo local. Essa variabilidade só pôde ser evidenciada a partir dos valores extraídos dos perfis de solos e das curvas de nível utilizadas para elaboração do MDE. Isto evidencia, mais uma vez, que o tratamento de informações por meio de SIG permite representar a variabilidade espacial a partir de dados de campo.

É necessário destacar que o uso de atributos facilmente disponíveis em levantamentos de solos, a definição de intervalos de classe para esses atributos e a definição de algoritmos apropriados têm por objetivo permitir que o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, conforme proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), seja amplamente utilizado, sem

distorções inerentes a avaliações qualitativas e por vezes muito subjetivas. Entretanto, o papel do pedólogo continua sendo importante no sentido de verificar a coerência dos resultados obtidos e possíveis ajustes na avaliação que podem ser feitos com base no avanço do conhecimento disponível sobre manejo agrícola de solos tropicais.

4. Conclusões

Embora as operações no ambiente de SIG sejam mais numerosas, o procedimento de espacializar atributos importantes para a estimativa da aptidão agrícola das terras e a definição de intervalos numéricos para as diferentes classes podem permitir que o usuário não especializado em solos utilize o sistema apoiando-se em técnicas de geoprocessamento.

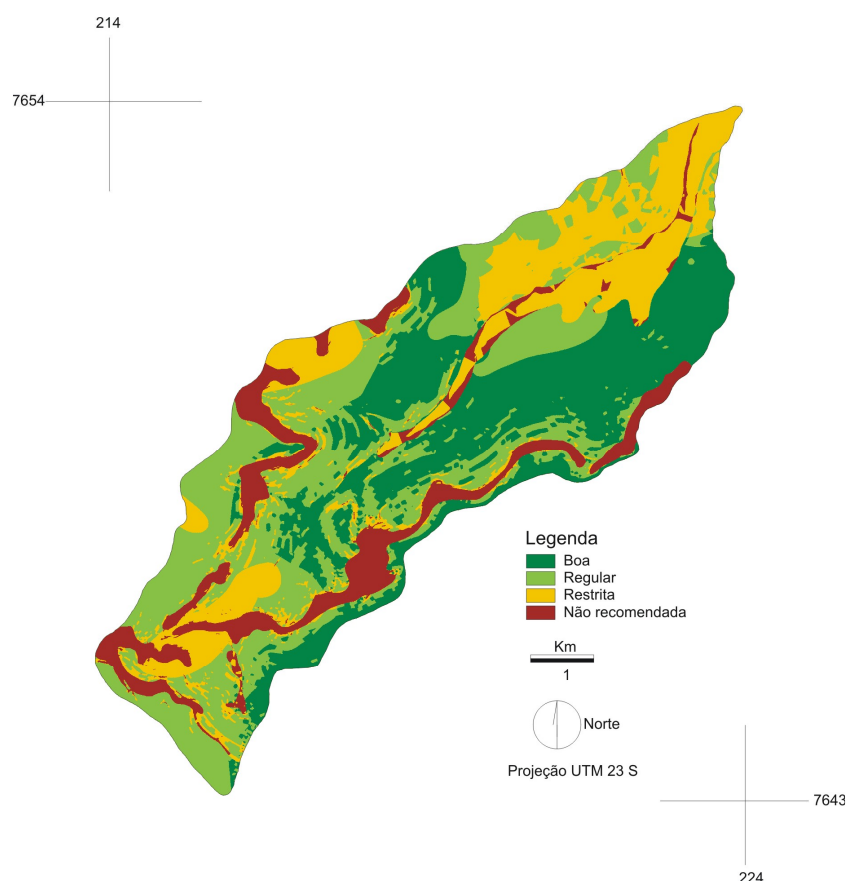


Figura 2. Aptidão agrícola das terras da microbacia do córrego Espraiado, localizada em Ribeirão Preto (SP), estabelecida a partir de modelos numéricos de terreno e operações algébricas com mapas de atributos de solos.

Referências

- Barros, Z. X.; Tornero, M. T.; Stipp, N. A. F.; Cardoso, L. G.; Pollo, R. A.. Estudo da adequação do uso do solo, no município de Maringá - PR, utilizando-se de geoprocessamento. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 436-444, 2004.
- Carvalho Júnior, W.; Chagas, C. S.; Pereira, N. R.; Strauch, J. C. M. Elaboração de zoneamentos agropedoclimáticos por geoprocessamento: soja em municípios do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 379-387, 2003.
- Fiorio, P. R.; Dematte, J. A. M.; Melem Júnior, N. J. et al. Land use potential in the ceveiro stream watershed of Piracicaba. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p. 1273-1280, 1999.
- Formaggio, A. R.; Alves, D. S.; Epiphanyo, J. C. N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 249-256, 1992.

Hamada, E.; Lopes-Assad, M. L.; Pereira, D. A. Aptidão agrícola na área de recarga do Aquífero Guarani: caso da microbacia hidrográfica do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto SP. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 62-71, 2006.

Hamada, E. Lopes-Assad, M. L.; Pereira, D. A.; Boschi, R. S. Operações de álgebra de mapas em sistema de informações geográficas para estimativa da aptidão agrícola das terras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 2713-2720. CD-ROM.

Lopes-Assad, M. L. Uso de sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n.1, p. 133-139, 1995.

Miklós, A. A. W.; Gomes, M. A. F. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto – SP**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1996. 48 p. + anexos. (Relatório de projeto).

Oliveira, J. B. de; van den Berg, M. **Aptidão agrícola das terras do estado de São Paulo**: quadrícula de Araras. II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985. 60 p. (IAC. Boletim Técnico, 102).

Oliveira, J. B. de; Sosa, S. M. B. **Sistema de clasificación de la aptitud agroecológica de la tierra (S.C.A.A.T.) para la región oriental del Paraguay**. 1ª aproximación. Assunción, Paraguay: UMA: FCA: CIF; GTZ, 1995. 77p.

Pedron, F. A.; Poelking, E. L.; Dalmolin, R. S. D.; Azevedo, A. C.; Klamt, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, v.36, n.1, 2006.

Pereira, L. C.; Lombardi Neto, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras**: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1994. 65 p.

Ramos, I. C.; Boschi, R. S.; Lopes-Assad, M. L.; Marin, F. R. Aptidão agrícola de solos para a viticultura no estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (CBCS), 30., 2007, Gramado (RS). **Anais...** Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. CD-ROM.