



Sistema de informações geográficas no planejamento de uso do solo

Mayesse A. da Silva¹, Diego A. F. de Freitas¹, Marx L. N. Silva¹,
Anna H. Oliveira¹, Gabriela C. Lima¹ & Nilton Curi¹

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil. Caixa Postal 3037. E-mail: mayesse@gmail.com; diego_ufla@yahoo.com.br; marx@dcs.ufla.br; anna.ufla@gmail.com; gabscamargos@gmail.com; niltcuri@dcs.ufla.br

RESUMO

O uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) possibilita extrapolar informações pontuais permitindo maior rapidez, menor custo e elevada acurácia no planejamento de uso do solo em bacias hidrográficas. O objetivo deste trabalho foi utilizar o SIG como apoio ao planejamento de uso do solo na sub-bacia das Posses (Extrema, MG); para isto, o modelo digital de elevação (MDE) foi determinado pelo método topogrid e a qualidade da interpolação avaliada de duas formas: por meio da comparação das curvas de nível geradas pelo MDE e das curvas originais da sub-bacia (escala 1:10.000) e identificação do erro do modelo através da raiz quadrada do erro médio (RSME); a partir do MDE as classes de planejamento de uso do solo foram expandidas e interpretadas para toda a sub-bacia conforme o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso do Solo utilizado para o Brasil. Os usos dos solos mais recomendados para a sub-bacia das Posses são as pastagens nativas, reflorestamentos e conservação ambiental; a Sub-bacia das Posses possui 11% de suas terras subutilizadas, 12% acima da capacidade de uso, 58% dentro do uso adequado, 18% de áreas de preservação permanente e um 1% de estradas.

Palavras-chave: adequação do uso do solo, capacidade de uso das terras, modelo digital de elevação hidrologicamente consistente

Geographic information system on the land use planning

ABSTRACT

Geographic information system (GIS) can be used on the extrapolation of the specific information, allowing more rapid, lower cost and high accuracy in the land use planning at catchments. The goal of this study was to use GIS as support in the land use planning at Posses catchment (Extrema, MG, Brazil). For this, the digital elevation model (DEM) was determined using the method topogrid and the interpolation quality was evaluated of two ways: comparing contour lines from survey of the catchment (scale 1:10,000) and contour lines derived from DEM and identification of model error by root mean square error (RMSE). From the DEM class of land use planning were expanded and interpreted for the catchment according the Land Use Capability Classification System used for the Brazil. Land uses recommended for the Posses catchment were native grasslands, reforestation and environmental conservancy. Posses catchment has 11% of its lands underutilized, 12% with use above the land use capability, 58% in the appropriate use, 18% of the permanent preservation areas and 1% of the roads.

Key words: land use appropriate, land use capability, hydrologically correct digital elevation model

Introdução

Como suporte ao manejo de bacias hidrográficas o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) tem possibilitado o desenvolvimento e a extrapolação de informações úteis ao planejamento de uso do solo, a partir da extração, tratamento, análise e modelagem de dados e informações espaciais, dentre os quais se destaca o relevo.

O modelo digital de elevação (MDE) deve representar as feições do relevo (divisores de água, talvegue, rede de drenagem e pedofoma) o mais próximo possível da realidade a fim de assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo sua consistência hidrológica (Baena et al., 2004). O MDE pode ser construído a partir de grades regulares retangulares como, por exemplo, o inverso do quadrado da distância (IDW) (Redivo et al., 2002; Medeiros et al., 2009), topogrid (Hutchinson, 1989; Hutchinson & Gallant, 2000; Zeilhofer, 2001; Redivo et al., 2002; Baena et al., 2004; Medeiros et al., 2009; Chagas et al., 2010; Oliveira et al., 2012a; Oliveira et al., 2012b), krigagem (Redivo et al., 2002) ou a partir de redes irregulares triangulares (TIN) (Redivo et al., 2002; Sousa Junior & Demattê, 2008; Medeiros et al., 2009) como os métodos TIN linear e TIN natural neighbors (Oliveira et al., 2012b).

O topogrid é um método de interpolação de diferenças finitas que calcula o modelo digital de elevação a partir de diferentes bases de dados ou sua associação como, por exemplo, pontos de elevação, linhas de contorno (curvas de nível), rede de drenagem etc. e incorpora um algoritmo de execução de drenagem que remove automaticamente as depressões espúrias (células cercadas por outras de maior altitude que interrompem o escoamento superficial para a célula vizinha) gerando o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (Hutchinson, 1989).

A partir do MDE é possível extrapolar informações pontuais com maior rapidez, menor custo e elevada acurácia no planejamento de uso do solo em bacias hidrográficas.

Analisar o uso e a ocupação do solo considerando-se a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, possibilita definir os graus de vulnerabilidade dos recursos hídricos e planejar ações adequadas de adaptação local, além de definir os futuros riscos para o desenvolvimento de projetos ambientais (Lelis et al., 2011).

O Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (Marques, 1971; Lepsch et al., 1991), define os melhores usos do solo considerando principalmente sua capacidade produtiva e avaliando características específicas dos solos representados por índices indicativos da condição de cada um deles.

Junto ao Sistema de Classificação da Capacidade de Uso é importante considerar a aplicação da legislação ambiental brasileira, que define restrições ao uso em áreas de preservação permanente (APPs). Segundo a Lei 12.651/12 do Código Florestal Brasileiro, a APP deve ser uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Portanto, áreas que apresentem capacidade

adequada de uso do solo ao cultivo mas que se enquadrem como APP deverão, obrigatoriamente, ser consideradas área de preservação da flora e da fauna.

Assim, o objetivo deste trabalho foi utilizar o sistema de informações geográficas (SIG) como apoio ao planejamento de uso do solo na sub-bacia das Posses (Extrema, MG).

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na sub-bacia das Posses, Extrema, MG. Esta região se encontra na porção sul da Serra da Mantiqueira, apresentando relevo declivoso e bastante movimentado. O uso do solo predominante é pastagem extensiva com ausência de práticas conservacionistas; a sub-bacia das Posses possui 1.196,7 ha e se encontra entre as coordenadas 46°14'W e 22°51'S e entre as altitudes de 968 a 1.420 m (Figura 1). Esta sub-bacia está incluída como bacia piloto no Programa Produtor de Água da Agência Nacional das Águas (ANA), o qual visa recuperar bacias hidrográficas com foco nos recursos hídricos (ANA, 2008), sendo a primeira sub-bacia a ter o Projeto Conservador das Águas implantado no município de Extrema, conforme a Lei Municipal nº 2.100/05.

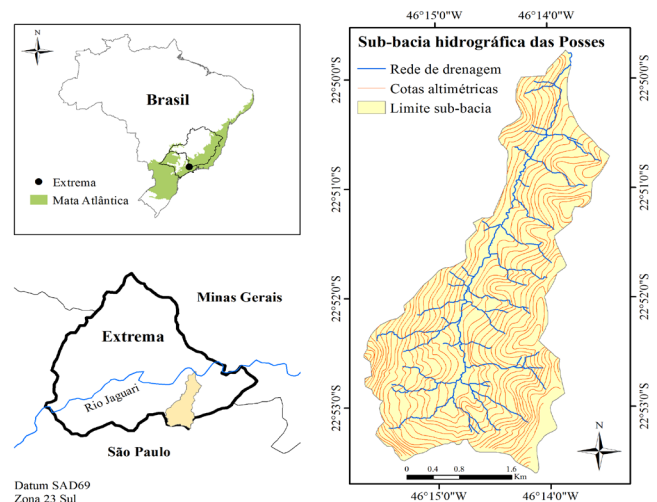


Figura 1. Localização da área de estudo com destaque para as curvas altimétricas da sub-bacia das Posses, Extrema, MG

O clima da região é do tipo Cwb (mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno) segundo Köppen; a temperatura média anual é 18°C, tendo os meses mais quente e mais frio temperaturas médias de 25,6°C e 13,1°C, respectivamente, com ocorrência anual de geadas e precipitação média anual de 1.477 mm (ANA, 2008).

A partir de dados do levantamento topográfico foi gerado o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), com resolução de 15 x 15 m cujas curvas de nível possuem equidistância de 20 m e escala 1:50.000. As curvas de nível foram transformadas em pontos para que fosse possível retirar uma amostra de 100 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo das curvas de nível do levantamento topográfico em toda a sub-bacia, para posterior validação. O MDEHC da sub-bacia das Posses foi gerado utilizando-se o método de interpolação *Topo To Raster*, o qual é a implementação do topogrid no *software* ArcGIS 9.3 (ESRI, 2009).

Visando avaliar a adequação do MDEHC na sub-bacia das Posses procedeu-se uma análise visual de comparação entre as curvas de nível geradas pelo MDEHC e às curvas de nível do levantamento topográfico. Foram geradas curvas de nível a partir do MDEHC com a mesma distância entre curvas das curvas de nível do levantamento topográfico; a não coincidência entre curvas demonstra que o método de interpolação utilizado não está adequado àquela bacia (Hutchinson & Gallant, 2000). Outra avaliação da qualidade do MDEHC utilizada neste trabalho foi verificar a sensibilidade do modelo com base na raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE), que fornece o nível de erro ou incerteza contido nos dados estimados pelo modelo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_j)^2}{N}}$$

em que: y_i é o valor altimétrico do MDEHC, y_j é o valor altimétrico da curva de nível do levantamento topográfico e N é o número de amostras.

A partir do MDEHC obteve-se o mapa de declividade o qual foi reclassificado em cinco classes representando as fases

do relevo conforme Embrapa (2006): plano (<3%), suave ondulado (3% a 12%), ondulado (12% a 24%), forte ondulado (24% a 45%) e montanhoso (45 a 75%).

O mapa de solos foi preparado a partir das informações obtidas durante a descrição e coleta de perfis modais em levantamento de solos semidetalhados da sub-bacia, segundo Santos et al. (2005). Os solos foram classificados segundo Embrapa (2006) definindo-se as seguintes classes: Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Cambissolo Húmico, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico.

O planejamento de uso do solo para a sub-bacia foi realizado de acordo com o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso do Solo (Marques, 1971; Lepsch et al., 1991). Realizaram-se determinações dos atributos químicos e físicos do solo, das unidades de mapeamentos representativas da sub-bacia, com base em Embrapa (1997) cujos resultados podem ser observados na Tabela 1. Foram considerados, no levantamento do meio físico, os fatores limitantes gerais e específicos dos solos (Tabela 2), adaptados de Lepsch et al. (1991) além de aspectos, características e propriedades do perfil do solo, independente de serem ou não fatores limitantes, o uso atual e diversas características gerais da propriedade.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos dos solos estudados na sub-bacia das Posses, Extrema, MG

Solos ¹	Hor.	Prof. cm	Granulometria			MO	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	Al	H+Al	S	CTC	V	m
			Areia	Silte	Argila									
			g kg ⁻¹						cmol _c dm ⁻³			%		
RL1	A	0-40	170	540	290	22	5,7	16,5	0,5	4,0	3,5	7,5	46,6	13
RL2	A	0-48	300	410	290	30	5,6	12,5	0,7	5,6	2,3	7,9	29,5	23
RL3	A	0-30	220	380	400	54	5,6	13,6	0,2	5,0	5,2	10,2	50,9	4
RY1	A	0-40	590	370	40	12	6,0	33,8	0,2	1,7	1,5	3,2	47,4	12
CH1	A	0-20	170	420	410	37	5,1	4,5	2,7	9,8	0,5	10,3	4,8	85
	Bi	35-60	130	410	460	22	5,3	3,1	2,5	8,8	0,1	8,9	1,6	95
CH2	A	0-90	200	310	490	21	4,9	1,7	2,9	9,8	0,3	10,1	2,7	91
	Bi	90-120	160	230	610	10	4,7	1,2	2,7	7,9	0,2	8,1	2,7	92
CX1	A	0-30	230	440	330	24	5,1	11,2	2,4	7,0	0,3	7,3	3,6	90
	Bi	30-60	190	410	400	16	5,2	8,8	2,4	6,3	0,2	6,5	3,7	91
CX2	A	0-25	270	450	280	24	5,3	22,3	1,1	5,0	1,4	6,4	22,1	44
	Bi	25-60	180	430	390	13	5,4	9,4	1,7	5,6	0,6	6,2	9,4	75
CX3	A	0-20	250	390	360	37	5,1	7,5	1,2	7,0	1,2	8,2	14,4	50
	Bi	40-70	200	260	540	15	5,2	5,6	1,1	5,0	0,4	5,4	6,7	75
CX4	A	0-40	140	330	530	21	5,0	1,2	2,1	7,0	0,2	7,2	3,3	90
	Bi	50-90	110	260	630	10	5,3	1,4	1,6	5,6	0,2	5,8	3,8	88
CX5	A	0-24	210	390	400	25	5,2	1,4	1,9	7,0	0,7	7,7	8,9	74
	Bi	24-61	110	260	630	12	5,4	0,9	1,9	6,3	0,2	6,5	3,7	89
CX6	A	0-30	210	290	500	29	5,1	2,3	1,5	7,9	0,6	8,5	7,2	71
	Bi	50-70	160	290	550	15	5,2	0,9	1,6	6,3	0,3	6,6	5,1	82
CX7	A	0-25	70	530	400	26	5,3	1,7	1,3	6,3	0,9	7,2	12,5	59
	Bi	25-60	50	420	530	13	5,3	0,6	1,5	5,6	0,3	5,9	5,6	82
CX8	A	0-20	120	610	270	34	5,4	3,7	0,7	5,0	2,3	7,3	31	24
	Bi	50-70	90	370	540	9	5,4	0,6	1,9	5,0	0,7	5,7	11,7	74
CX9	A	0-30	250	430	320	25	5,7	1,4	0,4	5,0	4,1	9,1	44,8	9
	Bi	48-68	160	300	540	13	6,0	0,6	0,1	3,2	4,4	7,6	58	2
PVA1	A	0-30	270	390	340	26	5,5	15,1	0,7	7,9	2,4	10,3	23	23
	Bt	80-140	110	100	790	12	6,0	7,2	0,2	2,6	2,9	5,5	52,6	6
PVA2	A	0-20	220	380	400	24	5,5	0,9	0,7	4,5	1,8	6,3	28,6	28
	Bt	60-100	130	240	630	8	5,6	1,2	0,1	2,3	0,7	3	22,3	13
PVA3	A	0-30	190	390	420	21	5,6	0,9	0,4	4,0	3,2	7,2	44,4	11
	Bt	60-100	90	240	670	8	6,1	2	0,1	2,6	1,6	4,2	38,7	6
PVA4	A	0-24	200	540	260	27	5,5	2	0,9	5,6	2,3	7,9	28,9	28
	Bt	60-90	120	410	470	11	5,8	1,2	0,9	4,0	1,1	5,1	22	44
PVA5	A	0-27	140	360	500	34	5,6	1,7	0,3	4,5	4,7	9,2	51,3	6
	Bt	40-60	110	260	630	20	5,9	0,6	0,5	4,5	2,4	6,9	34,5	17
PVA6	A	0-30	240	380	380	26	5,6	0,9	0,3	3,6	3	6,6	45,6	9
	Bt	56-90	110	230	660	6	6,0	2	0	1,7	2,2	3,9	56,2	0

¹ Solos: RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; CH: Cambissolo Húmico; CX: Cambissolo Háplico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; Hor.: Horizontes; Prof.: Profundidade; MO: Matéria Orgânica; S: Soma de Bases Trocáveis; CTC: Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0; V: Saturação por Bases; m: Saturação por Alumínio

Tabela 2. Fatores limitantes gerais e específicos dos solos estudados na sub-bacia das Posses, Extrema, MG

Solos ¹	Fatores limitantes ²					
	Profundidade efetiva ³	Textura ⁴	Permeabilidade do solo à água ⁵	Relevo ⁶	Erosão hídrica ⁷	Específicos
RL1	raso	méd.	lenta	fortond.	sul. rasos - ocas.	dis., lig. roch., pedr.
RL2	raso	méd.	lenta	mont.	lam. lig.	dis.
RL3	raso	arg.	mod.	suav. ond., ond.	lam. lig.	-
RY1	raso	aren.	lenta	plano	aus.	dis., inud. méd. - freq.
CH1	mod. prof.	arg.	mod.	fort.ond., mont.	sul. rasos - ocas.	al., lig. roch.
CH2	mod. prof.	m. arg.	mod.	suav. ond., ond.	lam. mod.	al.
CX1	mod. prof.	arg.	mod.	ond.	lam. mod.	al., lig. roch.
CX2	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond.	lam. lig.	al., lig. pedr.
CX3	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond.	lam. mod.	al., lig. roch., pedr.
CX4	mod. prof.	m. arg.	mod.	suav. ond.	lam. mod.	al., mod. pedr.
CX5	mod. prof.	m. arg.	mod.	ond.	lam. mod.	al., lig. pedr.
CX6	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond.	lam. lig.	al., lig. pedr.
CX7	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond., ond.	lam. sev.	al., lig. roch., lig. pedr.
CX8	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond.	lam. mod.	al.
CX9	mod. prof.	arg.	mod.	fort. ond.	lam. lig.	dis., lig. pedr.
PVA1	prof.	méd./m. arg.	rap./mod.	ond.	lam. lig.	dis., lig. pedr., ab.
PVA2	mod. prof.	arg./m. arg.	mod./mod.	suav. ond.	lam. lig.	dis.
PVA3	mod. prof.	arg./m. arg.	mod./mod.	fort. ond.	lam. mod.	dis., lig. pedr.
PVA4	prof.	méd./arg.	rap./mod.	ond.	lam. lig.	dis.,
PVA5	mod. prof.	arg./m. arg.	mod./mod.	mont.	lam. mod.	dis.
PVA6	prof.	méd./m. arg.	rap./mod.	fort.ond.	lam. mod.	dis., lig. pedr., ab.

¹Solos: RL: Neossolo Litólico; RY: Neossolo Flúvico; CH: Cambissolo Húmico; CX: Cambissolo Háptico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; ²Fatores limitantes gerais e específicos adaptados de Lepsch et al., (1991); ³Classes de Profundidade efetiva: mod. prof.: moderadamente profundo; prof.: profundo; méd.: média; ⁴Classes de textura: arg.: argilosa; aren.: arenosa; m. arg.: muito argilosa; ⁵Classes de permeabilidade do solo à água: mod.: moderada; rap.: rápida; ⁶Classes de relevo: mont.: montanhoso, fort. ond.: forte ondulado, ond.: ondulado, suav. ond.: suave ondulado; ⁷Classes de erosão hídrica: sul. rasos - ocas.: sulcos rasos e ocasionais, lam. lig.: laminar ligeira, lam. mod.: laminar moderada; dis.: distrófico, lig. Roch.: ligeiramente rochoso, pedr.: pedregoso, inud. Méd. - freq.: risco de inundação médio e frequente, al.: álico, lig. Pedr.: ligeiramente pedregoso, ab.: mudança textural abrupta.

O mapa de relevo associado ao mapa de solos, resultou no mapa de solos fase relevo permitindo a extrapolação dos dados pontuais das classes de capacidade de uso do solo para toda a sub-bacia.

Para verificar a concordância do uso atual do solo na sub-bacia em relação ao planejamento de uso proposto, foi construído o mapa de uso atual, na escala 1:6.000, a partir da interpretação visual em meio digital da imagem de satélite QuickBird do ano de 2006, com resolução de 0,6m, cedida pelo Departamento de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Extrema, visitas a campo e incorporação das áreas de preservação permanente (APPs) ao redor das nascentes e cursos d'água, estabelecidas segundo a Lei 12.651/12 e implantadas pelo Projeto Conservador das Águas, segundo a Lei 2.100/05 (Extrema, 2005).

Os mapas de capacidade de uso e o uso atual, foram unidos e sobrepostos com a ferramenta *overlay/union* no programa ArcGIS 9.3, permitindo determinar a taxa de adequação do uso das terras de acordo com Menezes et al. (2009).

Resultados e Discussões

O MDEHC obtido para a sub-bacia das Posses pode ser visualizado na Figura 2A; na análise estatística o MDEHC apresentou um RSME de 3 metros, corroborando com Chagas et al. (2010) e Oliveira et al. (2012b) que atribuem baixos valores do RSME à base de dados de alta qualidade utilizada na construção do MDE. Hutchinson & Gallant (2000) acrescentam que além da qualidade da base de dados existe também a interferência do método de interpolação. Diversos trabalhos têm encontrado superioridade do método de interpolação topogrid em relação a outros métodos comumente

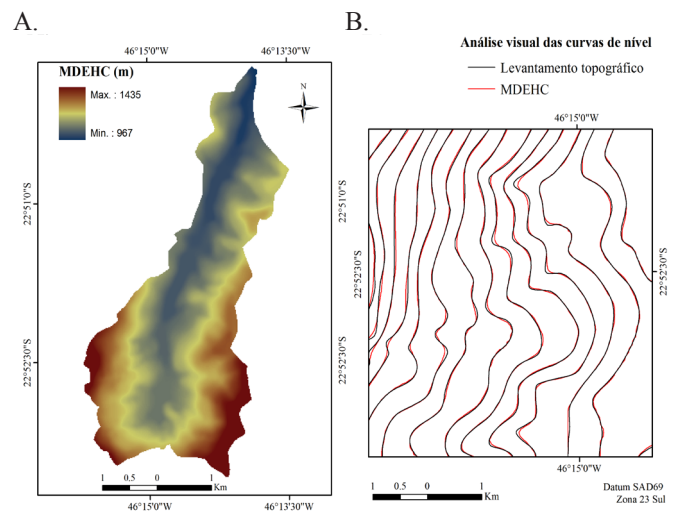


Figura 2. Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Correto (A) e análise visual das curvas de nível do levantamento topográfico e as curvas de nível do MDEHC (B) para a sub-bacia das Posses, Extrema, MG

usados como, por exemplo, o TIN e IDW, independente da característica do relevo (Sharma et al., 2009; Chagas et al., 2010; Medeiros et al., 2009; Oliveira et al., 2012b).

Como complemento à análise estatística formas visuais de avaliação da qualidade do MDE tem sido utilizadas (Hutchinson & Gallant, 2000; Sharma et al., 2009; Chagas et al., 2010; Oliveira et al., 2012b). Na análise visual (Figura 2B) o MDEHC gerou adequadamente as curvas de nível quando comparadas às curvas do levantamento topográfico, sobrepondo as curvas de forma contínua sem a formação de arestas, mostrando adequação do método à base de dados utilizada e ao relevo aplicado. Oliveira et al. (2012b), compararam os métodos de interpolação topogrid e TIN, em

uma sub-bacia caracterizada por relevo ondulado e observaram que as curvas de nível geradas pelo topogrid coincidiram com as curvas de nível do levantamento topográfico apresentando curvas contínuas enquanto o método TIN indicou curvas com formação de arestas.

A partir do MDEHC e do mapa de solos foi gerado o mapa de solos fase relevo resultando em dezessete diferentes combinações de solo-relevo (Figura 3).

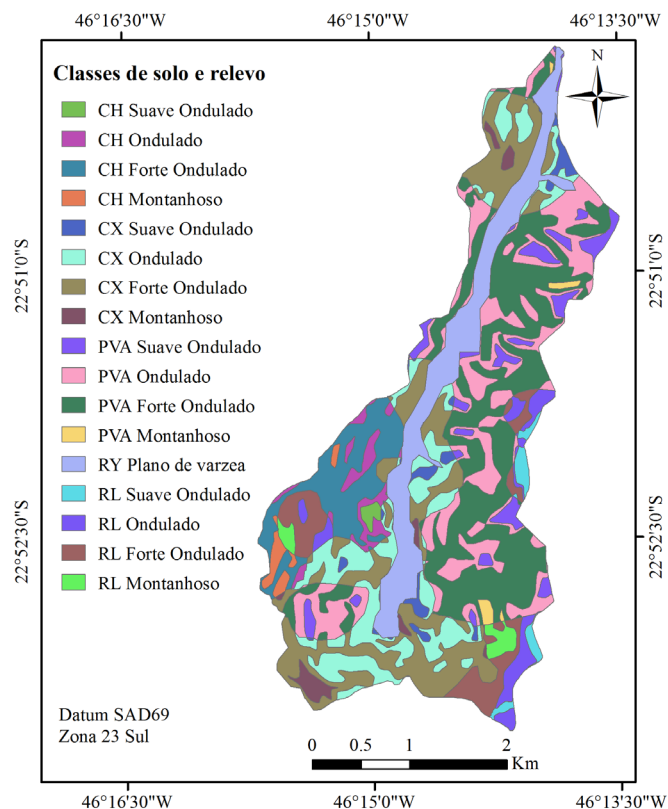


Figura 3. Classes de solo e relevo para a Sub-bacia das Posses, Extrema, MG. CH: Cambissolo Húmico; CX: Cambissolo Háplico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; RY: Neossolo Flúvico e RL: Neossolo Litólico

Os Neossolos estão relacionados a ambientes que apresentam relevo suave ondulado a montanhoso e solos rasos com afloramento de rochas, que dificultam o preparo mecanizado do solo (Resende et al., 2007) sendo destinado apenas ao pastoreio com grandes restrições (Lepsch et al., 1991). Associado aos Neossolos Litólicos tem-se os Cambissolos e Argissolos que, comparados ao Neossolo Litólico, são solos mais profundos, com presença de pedregosidade e rochosidade dificultando o preparo do solo (Resende et al., 2007). A baixa infiltração de água, tendência ao encrostamento, pouca espessura do solo, presença de horizontes diagnósticos B textural e incipiente conferem, a esses solos, altos valores de erodibilidade, ou seja, alta susceptibilidade à erosão hídrica.

Conforme o potencial de uso do solo (Figura 4) os Neossolos Litólicos, com classe VIIIe-9 e que representam 9% da área, são os solos mais restritivos ao uso dentro da sub-bacia das Posses. Esta classe de capacidade de uso é destinada às terras impróprias para serem utilizadas com qualquer tipo de cultivo, inclusive reflorestamentos ou para a produção de qualquer outra forma de vegetação permanente de valor

econômico. São destinadas apenas para proteção e abrigo da fauna e flora silvestre, para fins de recreação e turismo ou de armazenamento de água em açudes (Lepsch et al., 1991).

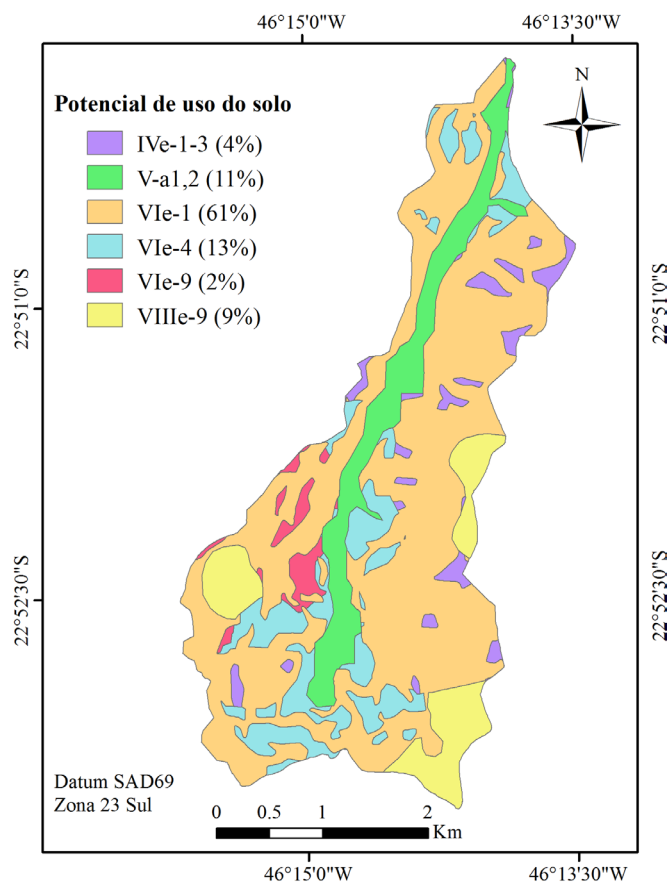


Figura 4. Potencial de uso do solo para a sub-bacia das Posses, Extrema, MG

As limitações deste solo se devem ao fato dos Neossolos Litólicos serem solos bastante rasos (horizonte A sobre rocha) e associados normalmente a afloramentos de rochas devido à erosão, naturalmente acentuada, que expõe o material rochoso subjacente, tornando este sistema muito instável (Resende, 1985). Esta instabilidade também resulta na rápida perda de nutrientes da vegetação colocados à superfície, pela queima durante o preparo do solo para o cultivo (Resende, 1985).

Através da classificação de Lepsch et al. (1991), os Cambissolos, com classes VIe-1, VIe-4 (Cambissolo Háplico) e VIe-1, VIe-9 (Cambissolo Húmico) apresentaram restrições em função da declividade, permeabilidade e devido ao elevado grau de erosão laminar em algumas áreas, conforme verificado nas análises de campo (Tabelas 1 e 2). Esses solos se encontram, principalmente em áreas de declives acentuados que proporcionam deflúvio severo e dificuldades de mecanização, tornando-os vulneráveis ao processo erosivo e, portanto, não recomendados para culturas anuais que requerem maiores intervenções durante o seu cultivo; entretanto, podem ser cultivados com pastagens, reflorestamentos e algumas culturas permanentes protetoras do solo, desde que adequadamente manejadas utilizando-se práticas especiais de conservação do solo uma vez que, mesmo sob este tipo de vegetação, tais solos são suscetíveis ao processo erosivo.

O Neossolo Flúvico está localizado em uma área de declive suave e, por possuir excesso de água e risco de inundação (Tabelas 1 e 2), foi classificado na classe V-a1,2 (Lepsch et al., 1991). Segundo este autor, as terras classificadas neste grupo são planas, não sujeitas à erosão, com declive praticamente nulo, severamente limitada por excesso de água, sem possibilidade de drenagem artificial e/ou com risco de inundação frequente podendo ser utilizada para pastoreio, pelo menos em algumas épocas do ano.

As áreas que apresentam as menores restrições de uso são aquelas sobre Argissolos, os quais são os solos mais profundos que ocorrem na bacia (Tabela 2); eles se enquadram dentro das classes de capacidade de uso da terra VIe-1 e IVe-1-3; as áreas pertencentes à classe VIe-1, como dito anteriormente para os Cambissolos, são regiões com sérias restrições em função da declividade elevada podendo ocorrer sérios prejuízos tanto financeiros quanto ambiental, caso sejam cultivados acima da sua capacidade de suporte; já as áreas correspondentes à classe IVe-1-3 englobam terras com riscos ou limitações permanentes muito severas quando usadas para culturas anuais; usualmente, devem ser mantidas para pastagens mas podem ser suficientemente boas para certos cultivos ocasionais (na proporção de um ano de cultivo para cada quatro a seis anos de pastagens) ou para algumas culturas anuais desde que sejam implantadas práticas conservacionistas intensas e complexas.

Por meio da análise da imagem de satélite foi possível obter o mapa de uso atual do solo sendo identificadas as seguintes classes de uso na sub-bacia das Posses (Figura 5): 18% APP (recuperação das áreas de preservação permanente ao longo do curso d'água e ao redor de nascentes), 13% mata nativa (fragmentos florestais de Mata Atlântica), 64% pastagem, 1% culturas anuais (milho, batata, feijão), 0,1% capineiras, 1,9% reflorestamento (eucalipto) e 2% estradas.

A vegetação tem papel importante na redução do processo erosivo e no aumento da infiltração de água no solo e, conseqüentemente, na recarga de água. Estudos comparando perdas de solo e água em áreas de eucalipto para diferentes regiões do Brasil têm demonstrado que, quanto maior a cobertura vegetal sobre o solo menores são as perdas de solo e maior a infiltração de água (Martins et al., 2010; Silva et al., 2011; Oliveira, 2011). Esses autores encontraram valores de perda de solo e água para o eucalipto, próximos aos valores obtidos em áreas de vegetação nativa reforçando o efeito da cobertura vegetal.

Na sub-bacia das Posses, entretanto, as pastagens são o principal uso do solo e por serem utilizadas com pastoreio acima de sua capacidade de suporte e sem nenhum manejo acabam prejudicando a infiltração e a recarga de água na sub-bacia (Avanzi et al., 2011). De acordo com Oliveira et al. (2008), as pastagens na sub-bacia das Posses se encontram em avançado estágio de degradação necessitando de um plano de manejo adequado que garanta o uso, de acordo com a capacidade de cada ambiente.

Ao cruzar os mapas das classes de capacidade de uso e o mapa de uso atual, foi possível determinar regiões em que o uso do solo se encontra subutilizado, super utilizado e adequado à capacidade de uso dos solos ocorrentes na sub-bacia das Posses (Figura 6). Esta sub-bacia apresenta a maior parte de

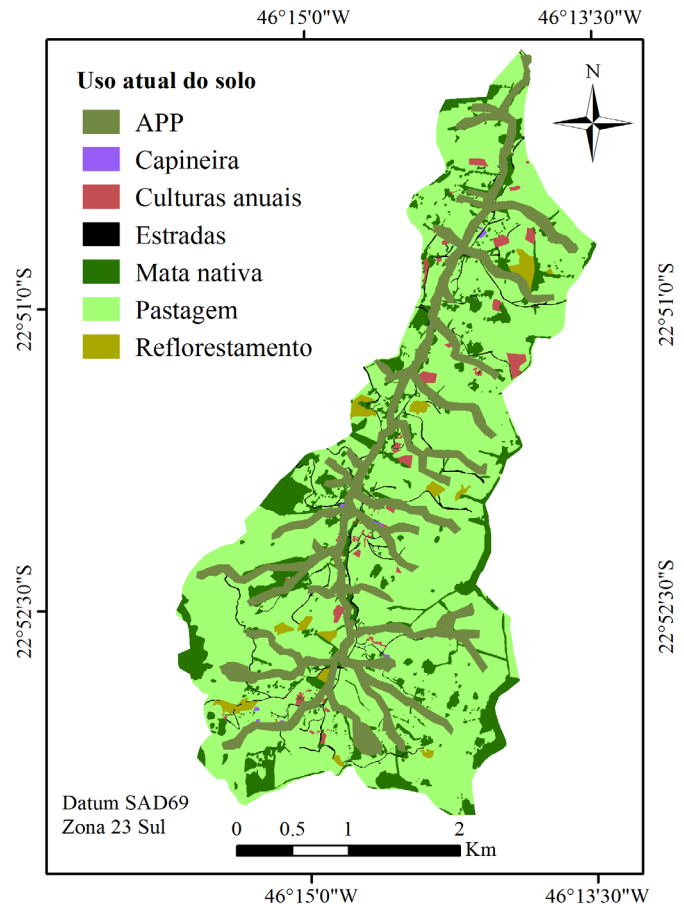


Figura 5. Uso atual do solo na Sub-bacia das Posses, Extrema, MG

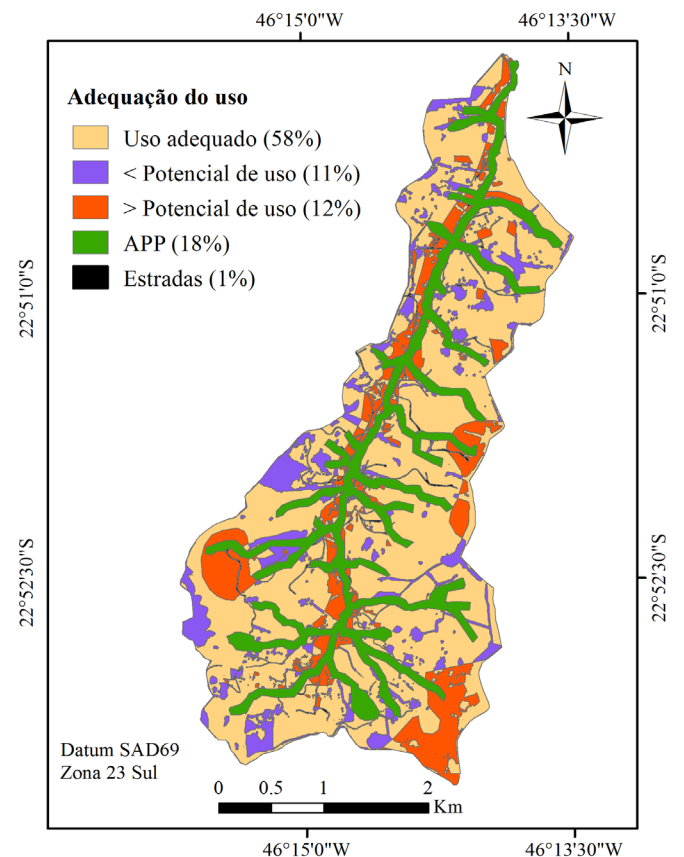


Figura 6. Adequação do uso atual para a sub-bacia das Posses, Extrema, MG

suas terras (58%) com o uso do solo adequado, sendo que isto ocorre devido à maior parte dos solos serem cultivada com pastagem, que pode ser utilizada até a Classe de Capacidade de Uso VI; assim, para manter a sustentabilidade desta região a principal atividade econômica não precisa ser alterada pois os solos suportam esta forma de uso do solo.

Na sub-bacia das Posses aproximadamente 12% das terras estão acima da capacidade de uso, sendo que o uso atual dessas áreas deve ser substituído para outros tipos de uso; dentre as atividades que estão acima da capacidade de uso se destacam as pastagens, que são cultivadas nos Neossolos Litólicos, pois esses solos possuem elevado risco de erosão e devem ser mantidos sem cultivos, sendo principalmente áreas de recarga de água no solo de elevada importância para a região.

Aproximadamente 11% da sub-bacia das Posses apresentam subutilização dos solos visto que nessas áreas existe a presença de mata nativa em áreas que poderiam ser cultivadas com pastagens. Porém esta situação não é problemática, visto que a manutenção desses solos com mata nativa promove uma infiltração maior de água no solo e a consequente recarga de aquíferos. Conforme a legislação atual, as áreas de APP correspondem a 18% da área da sub-bacia; então, por força de lei, estas áreas devem ser mantidas sem uso agrícola, pastoril e silvicultural, sendo reservadas para a infiltração de água no solo e manutenção da vida vegetal e animal silvestre.

Conclusões

O uso do sistema de informação geográfica possibilitou a separação das classes de solos e relevos além da determinação do potencial de uso, uso atual e adequação de uso do solo.

O topogrid mostrou-se adequado para gerar o MDEHC para a Sub-bacia das Posses podendo ser utilizado para gerar o mapa de relevo.

Devido à pouca profundidade dos solos e elevada declividade e susceptibilidade à erosão hídrica, os usos dos solos mais recomendados para a Sub-bacia das Posses são as pastagens nativas, reflorestamentos e conservação ambiental evidenciando a importância do manejo sustentável na bacia.

A Sub-bacia das Posses possui 11% de suas terras subutilizadas, 12% com uso acima da capacidade de uso, 58% dentro do uso adequado, 18% de áreas de preservação permanente e um 1% de estradas.

Agradecimentos

À Prefeitura Municipal de Extrema, em nome do Diretor do Departamento de Meio Ambiente, Paulo Henrique Pereira, pelo apoio na obtenção dos dados; à CAPES e ao CNPq, pela concessão de bolsas de estudo aos autores e co-autores deste trabalho e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro processo CAG APQ 01423/11.

Literatura Citada

Agência Nacional de Águas – ANA. Programa Produtor de Água; Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. 2008. <26 Ago. 2009.

- Avanzi, J. C.; Silva, M. L. N.; Oliveira, A.H.; Silva, M. A.; Curi, N.; Pereira, P.H. Pilot plan on ground water recharge. In: Bilibio, Carolina; Hensel, Oliver; Selbach, Jeferson Francisco. (Org.). Sustainable water management in the tropics and subtropics - and case studies in Brazil.1.ed. Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa; Unikassel; PGCult/UFMA, 2011. v. 1, p. 207-228.
- Baena, L. G. N.; Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Calijuri, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. Engenharia Agrícola, v.24, n.3, p.612-624. 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162004000300013>>. 23 Mar. 2012.
- Chagas, C. S.; Fernandes Filho, E. I.; Rocha, M. F.; Carvalho Junior, W.; Souza Neto, N. C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p.218-226, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000200014>>. 23 Mar. 2012.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Environmental Systems Research Institute - ESRI. ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 9.3. Redlands: ESRI, 2009. 1 CD Rom.
- Extrema. Lei Municipal n. 2.100 de 21 de dezembro de 2005. Cria o Projeto Conservador das Águas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais e dá outras providências. http://www.camaraextrema.mg.gov.br/html/leis/leis_2005/lei_2100_21dez05.pdf. 21 Dez. 2011.
- Hutchinson, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, v.106, n.3-4, p.211-232, 1989. <[http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5)>. 24 Jul. 2012.
- Hutchinson, M. F.; Gallant, J. C. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: Hutchinson, M. F.; Gallant, J. C. (Eds.). Terrain analysis: principles and applications. New York: John Wiley & Sons, 2000. p.29-50.
- Lelis, T. A.; Calijuri, M. L.; Fonseca, A. S. da; Lima, D. C. de. Impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos erosivos de uma bacia hidrográfica: Simulação de cenários. Revista Ambiente & Água, v.6, n.2, p.282-294, 2011. <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.200>>. 22 Mar. 2012.
- Lepsch, I. F. Bellinazi Jr., R.; Bertolini, D.; Espíndola, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- Marques, J. Q. A. Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação. Rio de Janeiro: ETA, 1971. 433p.
- Martins, S. G.; Silva, M. L. N.; Avanzi, J. C.; Curi, N.; Fonseca, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. Scientia Forestalis, v.38, n.87, p.517-526, 2010. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap19.pdf>>. 28 Jul. 2012.

- Medeiros, L. C.; Ferreira, N. C.; Ferreira, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.61, n.2, p.137-151, 2009. <http://www.rbc.ufrj.br/_2009/61_2_06.htm>. 28 Jul. 2012.
- Menezes, M. D.; Curi, N.; Marques, J. J.; Mello, C. R.; Araújo, A. R. Levantamento pedológico e Sistema de Informações Geográficas na avaliação do uso das terras em Bacia hidrográfica de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.6, p.1544-1553, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000600013>>. 22 Mar. 2012.
- Oliveira, A. H. Erosão hídrica e seus componentes na sub-bacia hidrográfica do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul (RS). Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2011. 181p. Tese Doutorado.
- Oliveira, A. H.; Lima, G. C.; Silva, M. L. N.; Freitas, D. A. F.; Silva, M. A.; Pereira, P. H.; Santos, D. G.; Veiga, F. Implantação de práticas conservacionistas em áreas agrícolas e estradas, objetivando a recarga de água na sub-bacia das Posses, município de Extrema, MG. In: Congresso de Pós-graduação da UFLA, 17., 2008, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2008. p.354-359.
- Oliveira, A. H.; Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Avanzi, J. C.; Curi, N.; Lima, G. C.; Pereira, P. H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.1, p.143-154, 2012a. <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/5914>>. 22 Jul. 2012.
- Oliveira A. H.; Silva M. L. N.; Curi, N.; Klinke Neto, G.; Silva, M. A.; Araújo, E. F. Consistência hidrológica de modelos de elevação digital (MED) para avaliação da erosão hídrica na Sub-bacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.4, p.1259-1267, 2012b. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400020>>. 30 Ago. 2012.
- Redivo, A. L.; Guimarães, R. F.; Ramos, V. M.; Carvalho Júnior, O. A.; Martins, E. S. Comparação entre diferentes interpoladores na delimitação de bacias hidrográficas. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 20p. (Documentos, 71).
- Resende M. Aplicação de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, n.11, p.3-18, 1985.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S. B.; Corrêa, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5.ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2007. 322p.
- Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.
- Sharma, A.; Tiwari, K.; Bhadoria, P. Measuring the accuracy of contour interpolated digital elevation models. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v.37, n.1, p.139-146, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1007/s12524-009-0005-y>>. 28 Jul. 2012.
- Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Avanzi, J. C.; Leite, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal*, v.21, n.4, p.765-776, 2011. <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/4520>>. 22 Mar. 2012.
- Sousa Junior, J. G. D. A.; Demattê, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.449-456. 2008. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100043>>. 22 Jul. 2012.
- Zeilhofer, P. Modelação de relevo e obtenção de parâmetros fisiográficos na Bacia do Rio Cuiabá. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.6, n.3, p. 95-109, 2001. <<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=187&t=Modela%E7%E3o+de+relevo+e+obten%E7%E3o+de+par%E2+metros+fisiogr%E1+ficos+na+bacia+do+Rio+Cuiab%E1>>. 22 Jul. 2012.