

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL-MG

JOAQUIM ERNESTO BERNARDES AYER

**ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO PEDRA BRANCA, MUNICÍPIO DE ALFENAS – MG, A PARTIR DA
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS REVISADA**

ALFENAS – MG

2014

JOAQUIM ERNESTO BERNARDES AYER

**ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO PEDRA BRANCA, MUNICÍPIO DE ALFENAS – MG, A PARTIR DA
EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS REVISADA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato
(UNIFAL-MG)

Coorientador: Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
(UFLA)

ALFENAS – MG

2014

Ayer, Joaquim Ernesto Bernardes.

Estimativa da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca, município de Alfenas - MG, a partir da Equação Universal de Perdas de Solos Revisada. / Joaquim Ernesto Bernardes Ayer. - 2014.

52 f. -

Orientador: Ronaldo Luiz Mincato

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Tecnologia Ambiental - Universidade Federal de Alfenas), Alfenas, MG, 2014.

Bibliografia.

1. Erosão. 2. Plantio direto. 3. Ciência do solo. 4. Vegetação – Mapeamento. I. Mincato, Ronaldo Luiz. II. Título.

CDD: 631.45



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG
Programa de Pós-graduação – Ecologia e Tecnologia Ambiental

Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700. Alfenas - MG CEP 37130-000
Fone: (35) 3299-1419 (Coordenação) / (35) 3299-1392 (Secretaria)
www.unifal-mg.edu.br/ppgecoambiental/



JOAQUIM ERNESTO BERNARDES AYER

**“ESTIMATIVA DA EROÇÃO HÍDRICA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO
CÓRREGO PEDRA BRANCA, ALFENAS-MG, A PARTIR DA EQUAÇÃO
UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS REVISADA.”**

A Banca examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Tecnologia Ambiental pela
Universidade Federal de Alfenas. Área de
Pesquisa: Tecnologia Ambiental.

Aprovado em: 11/02/2014

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Nilton Curi

Instituição: UFLA

Assinatura: 

Prof. Dr. Breno Régis Santos

Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

**Dedico à família e
aos amigos.**

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa de mestrado,

À minha mãe Esmeralda Bernardes Ayer, à minha avó Isaura Bernardes, ao meu avô Emilio Ayer (*In memoriam*), a minha irmã Índia Ayer Nascimento e aos meus tios, primos e amigos que acreditaram e me apoiaram,

Ao Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato, orientador e amigo, pelo apoio e pela confiança na realização deste projeto,

Ao Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva, coorientador, por acreditar neste projeto, pelos conselhos e considerações e por nos receber e apoiar na Universidade Federal de Lavras,

Aos que me apoiaram nesta caminhada, desde a coleta e análise de solos até a redação do artigo: Mariana Raniero, Diogo Olivetti, Lucas Emanuel Servidoni, Nicolas D'Andrea Freire, Hélio Pina, Bernardo Cândido, Walbert, Arthur Credo, Prof. Alberto Arab, Prof. Fernando Shinji Kawakubo,

Aos técnicos do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal Lavras, que nos receberam com muito carinho e paciência Dulce, Pezão e Dorotheo e aos técnicos do Instituto de Ciências da Natureza da Universidade Federal de Alfenas, Marcilene Teodoro de Souza, Cleide Lana Vitor, Paulo Thiago Fernandes Amaral e Janice Rosa Camilo,

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

“Mas se desejarmos fortemente o melhor e, principalmente, lutarmos pelo melhor... O melhor vai se instalar em nossa vida. Porque sou do tamanho daquilo que vejo, e não do tamanho da minha altura...”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

A classe dos Latossolos é a mais utilizada na agropecuária no Sul de Minas Gerais. As características do intemperismo, as propriedades físicas e químicas e a composição mineralógica proporcionam grande estabilidade a esses solos, o que contribui para reduzir a ação erosiva das chuvas, resultando em solos profundos e bem estruturados. Porém, nos últimos cem anos, estes solos foram submetidos a cultivos e manejos que os expõem a ação da erosão hídrica, o que degradou seus atributos e favoreceu o aumento da erosão, promovendo o assoreamento dos corpos de água da região. Para estimar a erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca, foi aplicada a equação universal de perdas de solos revisada (RUSLE). Na sub-bacia foram discriminadas três unidades de Latossolos Vermelhos distróficos (LVd1, LVd2 e LVd3) e uma de solos indiscriminados de várzea (SIV). Os Latossolos apresentaram uma perda média de solos de $4,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Da área total, 31,7 % da sub-bacia apresentam erosão acima do limite de tolerância de perda de solo de cada unidade, respectivamente, de $10,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para LVd1; de $9,35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para LVd2; de $9,14 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd3. As áreas com taxa de erosão superior ao limite de tolerância são resultado principalmente do manejo, da ausência de práticas conservacionistas e da elevada erosividade. Todavia, no cenário simulado com manejos conservacionistas, como plantio direto, as perdas médias diminuiriam para $1,38 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com apenas 3,93 % da área com perdas de solos acima do limite de tolerância.

Palavras chaves: RUSLE, Plantio Direto, Cobertura Vegetal, Manejo dos Solos.

ABSTRACT

The Latosol (oxisols) class is the most used on agriculture on South of Minas Gerais. Its weathering features, the physical and chemical properties and its mineralogical composition provide high stability to these soils. Such peculiarities contribute to decrease the erosive action of the rainfall, resulting in deep soils and well structured. However, in the last 100 years, cultivates and managements have submitted these soils to practices that expose them to the hydric erosion. This occurrence degrades their attributes and favors the erosion increase, promoting the water bodies' silting on the region. To estimate the water erosion in the watershed Córrego Pedra Branca, we applied the revised universal soil loss equation. In the watershed were discriminated three units of dystrophic Red Latosols ((LVd1, LVd2 and LVd3) were discriminated and one of undiscriminated floodplain soils (SIV), which present an average soil loss of $4,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ were evaluated. Of the total area, 31,7 % of the watershed presented erosion levels above the limit of loss tolerance as follows: $10,54 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for LVd1; $9,35 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for LVd2; $9,14 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for LVd3; and $9,77 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for the SIV. The area with erosion rate above the tolerance limit resulted from the management, the absence of conservation practices and high erosivity. However, in a simulated scenario with conservation management practices, such as no tillage, average soil losses would decrease to $1,38 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, with only 3,93 % of the area with soil losses above the tolerance limit.

Key words: RUSLE, No Tillage, Vegetation Cover, Soil Management.

SUMÁRIO

1 -	INTRODUÇÃO	11
2 -	REFERENCIAIS TEÓRICOS	14
2.1 -	EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS	14
2.2 -	FATOR EROSIVIDADE	15
2.3 -	FATOR ERODIBILIDADE	17
2.4 -	FATORES COMPRIMENTO E DECLIVE DE RAMPA	17
2.5 -	FATOR USO E MANEJO	18
2.6 -	FATOR PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	19
2.7 -	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SENSOREAMENTO REMOTO NA EROSÃO	20
2.8 -	SISTEMAS AMBIENTAIS E BACIAS HIDROGRÁFICAS	21
2.9 -	CLASSE DOS LATOSSOLOS	22
2.10 -	TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO	23
	REFERÊNCIAS	25
3 -	ARTIGO: ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA DE LATOSSOLOS VERMELHOS DISTRÓFICOS	33
3.1 -	INTRODUÇÃO	35
3.2 -	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.3 -	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.4 -	CONCLUSÕES	46
3.5 -	LITERATURA CITADA	47
4 -	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

LISTA DE ABREVIATURAS

A	-	Perda de solo
C	-	Uso e manejo do solo
D_∞	-	<i>Direction infinity</i>
Ec	-	<i>Erosivity coefficient</i>
EI30	-	<i>Erosivity index in thirty minutes</i>
EMA	-	Erosão sob manejo conservacionista
EMC	-	Erosão sob manejo convencional
K	-	Erodibilidade do solo
L	-	Comprimento rampa
LVd1	-	Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo plano
LVd2	-	Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo suave ondulado
LVd3	-	Latossolos Vermelhos distróficos, em relevo ondulado
P	-	Práticas conservacionistas
R	-	Erosividade da chuva
RUSLE	-	<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>
S	-	Declive de Rampa
SIG	-	Sistemas de Informação Geográfica
SIV	-	Solos Indiscriminados de Várzea, em relevo plano
SR	-	Sensoriamento Remoto
TPS	-	Limite de Tolerância de Perda de Solo
USLE	-	<i>Universal Soil Loss Equation</i>

1 INTRODUÇÃO

Na dinâmica externa da terra, a erosão desempenha papel predominante na modelagem das formas geomorfológicas, pela desagregação, transporte e deposição de sedimentos. Existem diversos agentes erosivos como, água, insolação, neve, vento, gelo, chuva, ação de microrganismos e ação antrópica. Nos climas frios, as glaciações, pelas geleiras, desempenham função principal na erosão. Já, nos climas quentes a ação das chuvas é que cumpre este papel (POMEROL et al., 2013; BRADY; WEIL, 2013).

Os processos erosivos naturais são, em geral, compensados pela formação dos solos ou do manto de intemperismo. Todavia, a atuação antrópica modifica este equilíbrio natural, em especial pelo manejo inadequado dos solos, que intensifica a erosão e compromete severamente a qualidade do ambiente natural (BRADY; WEIL, 2013). Cumpre ressaltar que estes recursos não são renováveis na escala de tempo humana e o manejo indevido pode ter sérias consequências como perda de solos, nutrientes, água e carbono, entre outras (PIMENTEL et al., 1975; 1995; CROSSON, 1995; ABRAHAMS, 2002; LAL, 2004; SYVITSKI et al., 2005; RICHARDS et al., 2007; UNEP, 2012).

Os estudos sobre os efeitos da erosão e do assoreamento começaram no início século vinte, devido ao crescimento populacional, nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa, ocasionado pelo desenvolvimento industrial, que demandou a ocupação e o desmatamento de novas áreas para a produção de alimentos, acelerando os processos erosivos (SANDER et al., 2005). Neste contexto, surgiu a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que mitigassem a erosão (RENARD et al., 1997; SANDER et al., 2005).

Nos EUA, a declaração da Política de Uso da Terra, em 1907, e a criação de agências ambientais, a partir de 1915, desencadearam as pesquisas sobre os efeitos do escoamento superficial e da erosão. Essas pesquisas foram intensificadas de 1928 a 1953, principalmente após as tempestades de areias “Dust Bowl” (RODRÍGUEZ; SUÁREZ, 2010). Tais eventos levaram ao desenvolvimento do programa de conservação dos solos, com a instalação de estações hidrossedimentológicas experimentais, para obtenção e tabulação de dados sobre erosão. Anos depois, o desenvolvimento dos simuladores artificiais permitiu ampliar a quantidade de dados (LAFLEN; MOLDENHAUER, 2003; SANDER et al., 2005). Estes dados empíricos promoveram mudanças nas técnicas agronômicas e nas de conservação dos solos (SANDER et al., 2005). Entretanto, as estações experimentais não

eram equipadas para quantificar as taxas de escoamento superficial. Eram medidos apenas o escoamento total e a perda total de solos. Destarte, as estações avaliavam mais o transporte de sedimentos do que a erosão propriamente dita. Todavia, foi a partir deste conjunto de dados que surgiram os primeiros modelos empírico-estatísticos de avaliação da perda de solos, como os de Zingg (1940); de Smith (1941) e de Musgrave (1947), entre outros, que fundamentaram o desenvolvimento da Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS (*Universal Soil Loss Equation – USLE*) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Estas equações e relações foram revisadas e expandidas várias vezes até chegar à EUPS de Wischmeier e Smith (1978) e, continuam a evoluir com os métodos computacionais baseados em modelos físicos e conceituais (LAFLEN; MOLDENHAUSER, 2003; SANDER et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2013), como a Equação Universal de Perdas de Solos Revisada (EUPSR) – (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*) de Renard (1997) que é um aprimoramento da USLE, pela utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento remoto (SR) e métodos geoestatísticos mais modernos para obtenção dos fatores da EUPS.

No Brasil, os estudos começaram no final da década de 1940, e os estudos pioneiros ocorreram no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Porém, a avaliação da erosão iniciou na década de 1970 e a maior parte da produção científica, foi publicada a partir de 1990 (BARRETO; BARROS; SPAROVEK, 2008). A partir da década de 1970, as pesquisas e o desenvolvimento tecnológico na ciência dos solos tiveram aumento significativo, visando amparar as políticas de expansão das fronteiras agrícolas e o aumento da produtividade (BEZERRA; CLEPES JUNIOR, 2004; RODRIGUES; MIAZIARA, 2008).

Segundo Barreto, Barros e Sparovek (2008), muitos destes estudos visaram adaptar e aplicar a USLE, para as condições ambientais do Brasil. Destes, merecem destaque: Cataneo, Castro Filho e Acquarole (1982); Wagner e Massanbani (1988); Silva et al. (1994); Silva (2004); Prochnow et al. (2005); Mello et al. (2007), Aquino et al. (2012); Oliveira, (2013).

A aplicação de modelos ambientais para avaliação e mitigação dos impactos ambientais é indispensável, pois o crescimento do consumo de países emergentes e o crescimento futuro da população mundial demandarão aumento na oferta de alimentos, em 50%, na de água, entre 35 e 60%, e na de energia, em 45% (UNFPA, 2013). Logo, os solos deverão sofrer ainda maior pressão. Além disto, é necessário destacar que no Brasil, 79,6% da energia elétrica têm origem hidrelétrica (BRASIL, 2013), o que torna os estudos sobre erosão essenciais para adoção de práticas preventivas de conservação dos solos e de

mitigação dos efeitos do assoreamento (ABRAHAMS, 2002; CARVALHO, 2008). Neste cenário, análises ambientais subsidiadas por SIG e SR facilitaram a aquisição, a manipulação e a integração de dados ambientais (JENSEN, 2009).

Assim a avaliação da erosão dos Latossolos, a partir aplicação da RUSLE, suportada por SIG e SR, na sub-bacia do Córrego Pedra Branca, na região de Alfenas, serve como estudo piloto, devido aos recursos hídricos estratégicos para dessedentação, irrigação e produção de energia elétrica. Pois, o sul de Minas Gerais é o principal produtor mundial de café e um dos principais produtores de milho e de leite do país e é também responsável pelo maior Produto Interno Bruto da agropecuária estadual (FJP, 2009), além de, possuir localização privilegiada entre algumas das principais regiões metropolitanas do país: São Paulo, Campinas, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

Todavia os usos e manejos convencionais, dominantes no Sul de Minas Gerais, implicam em características de conservação dos solos inadequadas, devido à carência de manejos e de práticas conservacionistas eficientes, tal como o plantio direto, e o desmatamento quase total das matas nativas, das quais restam cerca de 4% (Fundação SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2013). Assim, os atuais usos e manejos dos solos degradam seus atributos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008) e podem elevar as perdas acima do limite de tolerância de perdas de solos particulares de cada área, contaminando os recursos hídricos e a cadeia trófica, devido ao carreamento dos poluentes e defensivos agrícolas (RICHARDS, 2007; LONDRES, 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar e estimar, a erosão sob o manejo convencional atual (EMC), simular cenário de erosão sob manejos conservacionistas (EMA) ao convencional e calcular o limite de tolerância de perda de solos dos Latossolos da Sub-bacia do Pedra Branca, no Município de Alfenas, que contempla os principais usos e manejos dos solos adotados na região sul de Minas Gerais e é afluente do reservatório de Furnas.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

A avaliação ambiental utilizando modelos empíricos, físicos e conceituais, para identificação e mitigação dos impactos antrópicos, é indispensável frente ao crescimento demográfico e do consumo mundial. Considerando, que estes identificam áreas suscetíveis a riscos naturais e antrópico, possibilitam o zoneamento ecológico e econômico, indicando para cada área práticas e manejos mais eficientes no combate dos impactos negativos, melhorando a eficiência ecológica e econômica nas áreas agropecuárias. Assim, a Equação Universal de Perdas de Solos utiliza variáveis que permitem identificar e quantificar áreas de erosão acelerada, permitindo adoção de usos e manejos mais sustentáveis.

2.1 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLOS

Atualmente, diversas equações avaliam os fatores que influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica ou por outros agentes erosivos, como por exemplo, os modelos ANSWERS (BEASLEY et al., 1980), WEPP (NEARING et al., 1989), KINEROS (WOOLHISER et al., 1990) e EUROSEM (MORGAN et al., 1998). Porém a USLE de Wischmeier e Smith (1978) (Figura 1) é a que possui o arcabouço teórico mais simples e dinâmico, por superar, em parte, as restrições climáticas e geográficas e ter aplicação simples quando comparada a modelos físicos e conceituais complexos (AKSOY; KAVVAS, 2005), especialmente após o desenvolvimento de sua versão revisada a RUSLE de Renard (1997) que incorporou técnicas de SIG e SR. Além de ser o modelo mais estudado e aplicado pelos pesquisadores brasileiros (BARRETO; BARROS; SPAROVEK, 2008).

A USLE e a RUSLE (Figura 1) são compostas por seis fatores, sendo quatro condicionados por fatores naturais R, K, L e S e dois pela ação antrópica C e P (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Onde: “A” representa a perda de solos; “R” é a erosividade da chuva, calculada a partir das médias mensais e anuais de chuvas; “K” é a erodibilidade do solo, que é função dos tipos de solos; “L” e “S” representam o fator topográfico obtido pela relação entre a declividade e o comprimento de rampa e “C” e “P” são os fatores uso e manejo dos solos e vigência de práticas conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

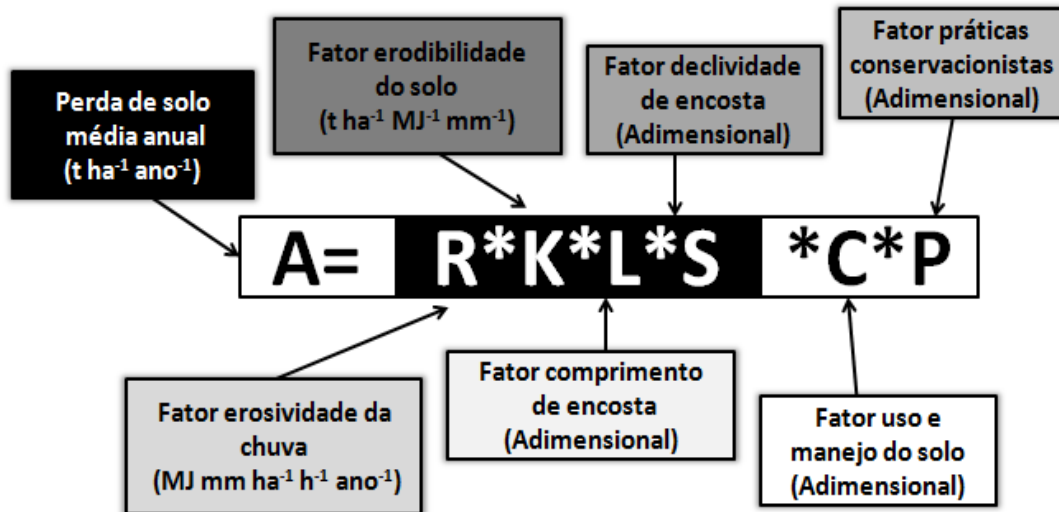


Figura 1: Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS

2.2 FATOR EROSIVIDADE

Wischmeier e Smith (1978) explicam o fator erosividade das chuvas “**R**” como a interação entre a energia cinética das gotas de chuva seu impacto com o solo e com o escoamento superficial. Esta relação é regulada pela intensidade, duração e frequência das chuvas, (CASSOL et al., 2008).

A partir dos estudos de tamanho e velocidade das gotas de Laws e Parsons (1943) entre outros, Wischmeier e Smith (1959), desenvolveram a equação 1, para determinar a energia cinética das chuvas.

$$E_c = 0,119 + 0,0873 * \log I \quad (1)$$

Em que: E_c é a energia cinética em $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$; I é intensidade da chuva em 30 minutos.

Wischmeier e Smith (1978) demonstraram que o fator de pluviosidade usado para estimar a média anual da perda de solos, deve incluir tanto o efeito acumulativo das tempestades constantes de tamanho moderado, como os efeitos ocasionais das severas. Assim, o valor de R deve quantificar o efeito do impacto da gota de chuva e o efeito do escoamento superficial.

Neste contexto, o produto entre o índice de erosão o EI_{30} , que representa a Energia Cinética (E_c) das chuvas multiplicada pela sua intensidade em 30 minutos, demonstrou

grande correlação com dados obtidos em campo e é considerado uma das melhores relações para medir a potencialidade erosiva das chuvas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Diversos índices de erosão foram desenvolvidos para distintas condições climáticas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Todavia, o EI30 apresenta no Brasil, maior correlação com as perdas de solos e é o mais utilizado pelos pesquisadores nacionais (CARVALHO; FREDDI; JUNIOR, 2004), apesar de apresentar resultados inferiores aos de países de clima temperado (MARQUES et al., 1997; ALBUQUERQUE et al., 1998).

Wischmeier e Smith (1978) obtiveram maiores correlações entre a perda de solos e o I30, quando consideraram como chuvas individuais erosivas, aquelas maiores do que 0,5 polegadas (12,7 mm), ou a chuva menores do que 0,5 polegadas se apresentarem, pelo menos, um segmento de intensidade com 0,25 polegadas (6,4 mm) em 15 minutos ou menos, ou ainda, aquelas chuvas com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ ha⁻¹. Foram consideradas chuvas individuais, em função da variação da taxa de infiltração de água no solo, aquelas separadas de outra por mais de 6 horas. Esta definição reduziu o tempo e os custos de avaliação dos dados pluviométricos (ALBUQUERQUE et al., 1998; CARVALHO; FREDDI; JUNIOR, 2004; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Porém, para determinar com acurácia esta interação, em condições ideais para o cálculo do fator R, seria necessário o registro pluviométrico de ao menos 20 anos das condições meteorológicas da área (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Como estes dados são escassos ou inexistentes e a fim de minimizar estes problemas, diversos autores, como Silva (2004); Mello et al. (2007) e Bertoni e Lombardi Neto (2008), correlacionaram o índice EI30 com o coeficiente de chuva (Cc), de Renard e Freimund (1994), conhecido como índice de Fournier (MELLO et al., 2007). O índice de Fournier é apresentado a na Equação 2.

$$C_c = M^2 \times P^{-1} \quad (2)$$

Em que: Cc é o índice de Fournier, M é o valor mensal de precipitação (mm) para o mês x e P é o valor da precipitação anual (mm).

Atualmente, os SIG e o SR apoiados por modelos geoestatísticos de interpolação digital, permitiram uma atualização na forma de aquisição e tratamento dos dados. Esta nova forma de obter e manipular os fatores da USLE foi denominada RUSLE (RENARD et al., 1997), que permitiu o mapeamento da erosividade e dos outros fatores, para áreas bem maiores do que apenas os 22 m da parcela padrão, com boa acurácia e precisão (MELLO et al., 2007; AQUINO et al., 2012).

2.3 FATOR ERODIBILIDADE

O fator erodibilidade dos solos “**K**” está ligado à suscetibilidade do solo em sofrer erosão hídrica e é função das características intrínsecas a cada tipo de solo e está relacionado às suas características físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas e biológicas (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; BRADY; WEIL, 2013).

A resistência dos diferentes solos à erodibilidade representa o grau de coesão de suas partículas em relação às duas principais fontes de energias das regiões tropicais: o impacto das gotas de chuva na superfície do solo e a ação do escoamento superficial (FAO, 1996).

Existem três métodos principais para determinação da erodibilidade. O primeiro consiste na realização de medidas em parcelas de referência em campo sujeito a chuva natural, com 22,2 m de comprimento, com solo exposto, em encostas com 9% de declive, lavrada na direção da encosta e não tendo recebido matéria orgânica por três anos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). O segundo é igual ao primeiro, porém sob condição de chuva simulada e o terceiro é baseado em equações de regressão que contenham como variáveis independentes, propriedades químicas, físicas e morfológicas altamente correlacionadas ao fator K (SILVA et al., 1994; 2000). Além destes, existem ainda outros métodos menos utilizados, como, por exemplo, o nomograma de Wischmeier e Smith (1978), o de desagregação por ultra-som (SÁ et al., 2004) e o de avaliação de traços de radionuclídeos como o Cs¹³⁷ (ANDRELLO; APPOLONI; NASCIMENTO FILHO, 2007).

2.4 FATORES COMPRIMENTO E DECLIVE DE RAMPA

Para aplicação da EUPS o cálculo dos índices topográficos, comprimento de rampa “**L**” e declividade “**S**” são essenciais, visto que a topografia é fator condicionante na definição das características de um ambiente, pois controla os fluxos de energia (aspecto das vertentes, distribuição de chuvas) e materiais (sedimentos, água, nutrientes e poluentes) (MOORE; GRYSON; LADSON, 1991). Tais funções influenciam na quantidade e distribuição geográfica dos recursos hídricos, na temperatura e clima, na umidade, nos solos,

na erosão e nos processos biológicos e geomorfológicos (MOORE; GRAYSON; LADSON, 1991; MINELLA et al., 2012).

O fator “L” é a razão de perdas de solos num comprimento de rampa qualquer em campo, comparada à perda num comprimento de rampa padrão de 25 m, em condições idênticas. É definido como a distância do ponto de origem do escoamento superficial, ao ponto onde o declive diminui o suficiente para iniciar a deposição, ou a água de escoamento entra num canal bem definido (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O fator “S” é a razão de perdas de solos em um determinado declive e a perda correspondente em um declive com 9% de inclinação em condições idênticas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Os dois fatores “L” e “S”, para aplicação em campo, são considerados como um único fator “LS” (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As primeiras utilizações da EUPS foram em áreas pequenas, com declives não muito acentuados, que facilitava o cálculo do fator “LS” (OLIVEIRA et al., 2013). Todavia, foi a partir dos estudos de Foster e Wischmeier (1974), que a topografia começou a ser caracterizada com maior detalhe, considerando o formato do declive (côncavos, convexos, retilíneos e mistos). Mas, nestes primeiros estudos, o fator LS foi calculado a partir de métodos manuais, que demandavam muito tempo, eram muito laboriosos e inviáveis em grandes áreas, além de apresentarem precisão inferior às técnicas que utilizam Modelos Digitais de Elevação (MDE) (OLIVEIRA et al., 2013). Com o avanço dos SIG e SR foi cada vez mais utilizado os MDE na avaliação da erosão, permitindo análises mais dinâmicas, que representam com maior precisão as características do terreno (OLIVEIRA et al., 2013).

Diversos autores desenvolveram algoritmos para identificação do fator LS, utilizando SIG e SR (MOORE; BURCH, 1986; MCCOOL et al., 1989; DESMET; GOVERS, 1996; MITASOVA et al., 1996; TORBOTON; MOHAMED, 1997; HICHEY, 2000; VAN REMORTEL et al., 2004).

2.5 FATOR USO E MANEJO

O fator uso e manejo dos solos “C” é a razão de perdas de solos de uma área com cobertura e manejo específico comparada a uma região idêntica em pousio e sem nenhuma cobertura. Para obter o fator “C” de uma cultura, o somatório da fração do índice de erosividade (FEI30), do estágio de desenvolvimento desta cultura, deve ser associado ao

somatório da razão de perdas de solos nos estádios de preparo, plantio, estabelecimento, desenvolvimento, maturação e resíduo da cultura (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Desta forma, o fator “C” incorpora num único índice, o efeito da cobertura do solo pelo dossel a densidade da vegetação e o sistema de manejo adotado, na atenuação das forças erosivas das chuvas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Há também a razão de perdas de solos empregada pela *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE), onde os parâmetros estão relacionados à atributos dos solos. Este índice incorpora as condições atuais e anteriores da área, pelo produto entre uso anterior, cobertura pelo dossel, resíduos incorporados, umidade e rugosidade dos solos (RENARD et al., 1997).

Sistemas de manejos inadequados associados a culturas que expõem os solos à erosão hídrica deixam o fator “C” individualmente com maior capacidade de desequilibrar o ciclo hidrossedimentológico (LANGDALE et al., 1991; BAKKER et al., 2008; CEBECAUER; HOFIERKA, 2008) e podem em um curto período levar a alterações negativas nos atributos dos solos (CASTRO; COGO; VOLK, 2006; AMARAL et al., 2008).

Atualmente, a utilização de SIG e SR e a aplicação de Índices de Vegetação, facilitaram a identificação dos usos e manejos melhorando o mapeamento e aplicação do fator “C”. Contudo, inúmeras combinações, de usos e manejos e alterações constantes de uso, dificultam a determinação do fator “C”. Todavia, ainda há carência de estudos sobre razão de perdas de solos para diferentes usos e manejos, principalmente em regiões tropicais, para obtenção do fator C a partir de SIG e SR (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

2.6 FATOR PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

O fator práticas conservacionistas “P” é a razão de perdas de solos com uma prática conservacionista, como, por exemplo, plantio em contorno ou terraceamento, e a perda correspondente em um plantio morro abaixo, mantendo as condições padrões de uso e manejo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator “P” expressa como as práticas conservacionistas reduzem a erosão hídrica, e varia de “1 a 0”. Onde “0” representa práticas com alta eficiência na redução da erosão, e “1” o plantio em desnível com ausência de práticas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As práticas conservacionistas afetam a erosão por modificar o padrão de fluxo, a grade ou direção do escoamento superficial além de reduzir a quantidade do fluxo superficial, encurtando a ação combinada do comprimento de rampa e da declividade, reduzindo o índice de erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). As práticas mais utilizadas são a alternância de capinas, o plantio em contorno, o plantio em faixas de contorno e o terraceamento. As técnicas conservacionistas podem ser de origem edáfica, mecânica e vegetativa. Atualmente, materiais sintéticos também são utilizados para diminuir a erosão do solo, como os estudos com poliacrilamida, geotêxteis, entre outros (RODRIGUES; BEZERRA, 2010; CHEM et al., 2011).

Para aplicação do fator "P", algumas técnicas consideradas comumente como práticas conservacionistas, como o plantio direto, são concebidas como manejo de solos e fazem parte do cálculo do Fator "C" e, para maior eficiência das práticas é necessário observar o grau de declive do terreno, pois quanto mais acentuado, maior a eficiência e maior a necessidade de uso das práticas conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

2.7 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SENSORIAMENTO REMOTO NA EROSÃO

A USLE e a RUSLE permitem prever, a médio e longo prazo, a erosão do solo, baseada em séries históricas de dados. Deste modo, possibilita estratificar o ambiente a partir de suas características naturais e indicar os usos e manejos mais adequados e sugerir medidas conservacionistas para mitigação da erosão (LAFLEN; MOLDENHAUER, 2003; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008, BRADY; WEIL, 2013).

A aplicação da RUSLE é baseada na integração de dados já existentes (pedologia, geomorfologia, geologia, modelos digitais de terreno, entre outros), com análises de campo e laboratoriais. Atualmente, os SIG e SR têm contribuído para as análises de erosão em específico na aplicação da RUSLE, facilitando a manipulação dos dados, produzindo análises mais dinâmicas da evolução dos usos e manejos dos solos, modelos topográficos mais acurados e precisos, além de associar diferentes variáveis ambientais para produção de mapas de estratificação ambiental, com vantagens de economia de recursos e tempo.

A aplicação dos modelos ambientais assistidos por SIG e SR para avaliação da erosão são indispensáveis na adoção de estratégias e de políticas públicas que promovam o

desenvolvimento sustentável (JENSEN, 2009; OLIVEIRA et al., 2013). Estas técnicas facilitam a aplicação dos modelos ambientais com maior acurácia e precisão. Permitem, ainda, manipulações teóricas da paisagem, isto é, o desenvolvimento de modelos preditivos de alteração dos fatores que compõem a paisagem analisada, possibilitando a proposição e simulação de medidas de mitigação de possíveis impactos ambientais futuros (JENSEN, 2009; OLIVEIRA et al., 2013).

2.8 SISTEMAS AMBIENTAIS E BACIAS HIDROGRÁFICAS

Para maior acurácia na aplicação de modelos ambientais O'Sullivan (1981) e Lin (2010; 2011) recomendam que os estudos pedológicos e hidrossedimentológicos, considerem os solos como sistemas abertos, pelas trocas de energia e matéria para além de suas fronteiras (TRICART, 1977). Assim, a abordagem mais adequada nos estudos ambientais é a abordagem sistêmica (CHORLEY, 1962; CHRISTOFOLETTI, 1999). Esta abordagem é indispensável perante a dependência da economia brasileira ao equilíbrio ecodinâmico dos sistemas ambientais do solo e da água, como, por exemplo, no consumo indireto da água para produção de bens e alimentos.

A visão sistêmica, pelas relações de inserção (hierarquias), justaposição (proximidade / contigüidade) e funcionalidade (causalidade) (CHRISTOFOLETTI, 1999), permite a manipulação dos dados obtidos por geoprocessamento, com máxima eficiência, além de facilitar a interpretação dos mesmos.

Assim, a erosão e produção de sedimentos devem ser analisadas no âmbito de uma bacia hidrográfica, visto que facilita e permite uma maior acuidade na realização de estudos pedológicos e hidrossedimentológicos, pois as relações entre erosão e sedimentação podem ser estudadas, como relação de causa e efeito (O'SULLIVAN, 1981; LIN, 2010; 2011).

Diante deste quadro, é justificado utilizar a bacia hidrográfica como unidade de gestão nos programas e políticas estratégicas de planejamento de uso e ocupação territorial. No Brasil, apesar da criação da Agência Nacional de Águas – ANA, e da instalação de inúmeros Comitês de Bacias Hidrográficas, ainda carecem estudos geoambientais detalhados e atualizados que demonstrem a situação real das bacias hidrográficas brasileiras, que dificulta a adoção de medidas adequadas de proteção e conservação (SILVA; BOTELHO, 1999).

Além disto, o trabalho em bacias hidrográficas, como área piloto, é uma maneira eficiente de gerar tecnologia regionalizada, difundir práticas de manejo de solo, conservar os recursos naturais e contribuir para o desenvolvimento regional (SILVA; BOTELHO, 1999).

2.9 CLASSE DOS LATOSSOLOS

Os latossolos da região da sub-bacia hidrográfica do córrego Pedra Branca tiveram desenvolvimento numa região com história geológica complexa de evolução policíclica e polifásica, que remonta do Arqueano até o Pré-Cambriano Superior / Eopaleozóico, (aprox. 0,5 a 2,5 bilhões de anos atrás), caracterizada por eventos metamórficos magmáticos, anatéticos, migmatíticos e deformacionais superpostos (HASUI, 2010). Nos últimos milhões de anos a área está relativamente estabilizada e permitiu que os agentes pedológicos atuassem, gerando solos profundos de características peculiares.

A área da sub-bacia hidrográfica encerra uma superfície geológica antiga com elevações de contornos arredondados, vertentes longas, vales abertos e pequenos desnivelamentos locais. É composta por gnaisses charnoquíticos e granulíticos polimetamórficos proterozóicos (HASUI, 2010), que formam o planalto Sul de Minas, superfície Alto Rio Grande, com predomínio de Latossolos Vermelhos distróficos e, subordinadamente, com Gleissolos nas várzeas (BRASIL, 1962).

A história geológica de vários milhões de anos da região permitiu a formação de um relevo ondulado, com colinas amplas e algumas áreas com morros fortemente ondulados, estes apresentam rochas com alto grau de decomposição e relevo bem dissecado, de vertentes convexo-côncavas e de topos convexos a planos (BRASIL, 1962; 1979).

Este tipo de relevo associado à exposição das rochas à intemperização resultou em latossolos espessos de elevada porosidade e permeabilidade (BRASIL, 1962). Estas características, a despeito dos altos teores de argilas, são condicionadas pela elevada floculação coloidal, derivada das características minerais da gibbsita e do intemperismo tropical. O clima da região, Tropical Mesotérmico, segundo Köppen, apresenta regime hídrico údico, caracterizado por menos de três meses secos (BRASIL, 1979), e por elevadas taxas de precipitação, entre 1.300 e 2.000 mm no verão, que no decorrer dos milhares de anos resultou em alta lixiviação das bases e da sílica, que foram substituídas isomorficamente pelo Al das rochas parentais. Neste contexto, o fato do alumínio diminuir o pH dos solos, favorece a

floculação, enquanto a dispersão é beneficiada por pH elevados. Isto explica o comportamento diferenciado das argilas tropicais, nas quais, o efeito da floculação sobrepuja o efeito da textura sobre a infiltração das águas pluviais em detrimento do escoamento superficial. Isto resulta na meteorização gradual em profundidade, sem processos de degradação erosional do relevo, como sugere a escassez de afloramentos rochosos na área (BRASIL, 1962).

Destas características ambientais derivaram latossolos acentuadamente drenados, permeáveis e porosos, que quase não apresentam frações maiores que 2 mm de diâmetro, porém com baixos valores de silte. Apresentam sequência de horizontes A, B e C, com espessura variável. O horizonte A orgânico-mineral tem espessura aproximada de 7 a 60 cm e o horizonte B, mineral, com 1,70 a 5,50 m. Raramente, os horizontes A e B apresentam espessura menor do que 2 m e a transição entre os horizontes A, B e C é, normalmente, plana, difusa e gradual, ocorrendo gradualmente. Quanto à composição das frações areia e, se existente, cascalho, predominam quartzo e quartzito. Quanto ao grau de desenvolvimento, exibem naturalmente estrutura granular média a grande com grau de estrutura forte. A consistência a seco varia de macio a ligeiramente duro, quando úmido de friável a muito friável e quando molhado é normalmente plástica e pegajosa a muito pegajosa. Os solos são de textura fina, com teor baixo a médio de matéria orgânica (BRASIL, 1962).

Estas características resultam da evolução pedológica destes solos que originou solos naturalmente resistentes à erosão hídrica. Apesar disso, este equilíbrio ecodinâmico de formação de solos *versus* erosão é afetado e alterado pela ação antrópica, que leva ao aparecimento de sulcos e voçorocas de erosão acelerada (BRASIL, 1962).

2.10 TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO

A erosão ocorre naturalmente nos solos, contudo a atuação antrópica eleva as perdas de solos. Assim, estabelecer limites de tolerância de perdas é importante, visto que a erosão acelerada afeta e degrada os atributos dos solos. Manter a tolerância de perdas de solos abaixo do limite máximo para cada classe de solos é essencial, pois, valores elevados podem afetar a profundidade adequada para os cultivos agrícolas, elevar as perdas de nutrientes, matéria orgânica, água e solo pelo aumento do escoamento superficial, degradando as estruturas dos solos pelo aumento dos processos erosivos. As perdas de solos acima da tolerância levam ao

surgimento de ravinas e voçorocas e intensificam o assoreamento, promovendo um desequilíbrio nas várzeas ampliando as áreas de brejos, contaminando a cadeia trófica, além de elevar os custos diretos de produção (JOHNSON, 1987).

Para calcular a tolerância de perda de solo no Brasil, rotineiramente é utilizada a média determinada pelas seguintes metodologias: I) Lombardi Neto e Bertoni (1975), a qual pondera a profundidade efetiva, a densidade do solo, e a relação textural entre os horizontes B e A; II) Galindo e Margolis (1989), que utiliza além das variáveis citadas, o grau de permeabilidade do solo e o teor de matéria orgânica e III) Bertol e Almeida (2000), que é uma modificação do método proposto por Lombardi Neto e Bertoni (1975) pela introdução do teor de argila do horizonte A.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMS, P. W. Review Soils: their implications to human health. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 291, n. 1, p. 1-32, 2002.

AKSOY H.; KAVVAS M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, Amsterdam, v. 64, n. 1, p. 247-271, 2005.

ALBUQUERQUE, A. W. et al. Parâmetros erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo de um solo bruno não-cálcico vértico em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 743-749, 1998.

AMARAL, A. J. et al. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolos húmico da região do planalto sul - catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.

ANDRELLO, A. C.; APPOLONI, C. R.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Assessment of Soil Erosion by ¹³⁷Cs Technique in Native Forests in Londrina City, Parana, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.50, n. 6, p.1051-1060, 2007.

AQUINO, R. et al. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012.

BAKKER, M. M. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 98, n. 3, p. 213-226, 2008.

BARRETTO, A. G. O. P.; BARROS, M. G. E.; SPAROVEK, G. Bibliometria, História e Geografia da Pesquisa Brasileira em Erosão Acelerada do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, v. 6 p. 2443-2460, 2008.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 657-668, 2000.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.

BEASLEY D. B., HUGGINS L. F, MONKE E. J. ANSWERS: a model for watershed planning. Transaction of ASAE, Saint Joseph, v. 23, n. 4, p. 938-944, 1980.

BEZERRA, L. M. C.; CLEPS JUNIOR, J. O desenvolvimento agrícola da região centro-oeste e as transformações no espaço agrário do Estado de Goiás. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 2, n. 2, p. 29-49, 2004.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Sapucaí**: Estados de Minas Gerais e São Paulo relatório final de geologia. DNPM/CPRM, 1979. 299 p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético 2013**: Ano base 2012. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2013, 284 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas**. Boletim técnico nº 13 do Serviço Nacional De Conservação Dos Solos. Rio de Janeiro, 1962. 478 p.

CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; VERONESE JÚNIOR, V. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 175-183, 2004.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 500 p.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1239-1251, 2008.

CASTRO, L. C.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 339-352, 2006.

CATANEO, A.; CASTRO FILHO, C.; ACQUAROLE, R. M. Programa para cálculo de erosividade de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 6, n. 3, p. 236-239, 1982.

CEBECAUER, T.; HOFIERKA, J. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 98, n. 3, p. 187-198, 2008.

CHEN, S.C. et al. The efficiency of artificial materials used for erosion control on steep slopes. **Environment Earth Science**, v. 62, n. 1, p. 197–206, 2011.

CHORLEY, R. J. Geomorphology and General Systems Theory. **Geological Survey: Professional Paper 500-B**, Washington, 1962. 14 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

CROSSON, P. Soil Erosion Estimates and Costs. **Science**, Washington, v. 269, n. 5223, p. 461-463, 1995.

DESMET, P. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal Soil Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999.

FOSTER, G. R.; WISCHMEIER, W. H. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. **Transactions of ASABE**, Saint Joseph, v. 17, p. 305-309, 1974.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Land husbandry: Components and strategy**. Soil Resources Management and Conservation Service Land and Water Development Division, 1996. 313 p.

FJP. Fundação João Pinheiro. Produto Interno Bruto das Regiões de Planejamento de Minas Gerais. **Informativo CEI**, Belo Horizonte: FJP, 2009. Disponível em <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/analise-economica/pib-produto-interno-bruto-de-minas-gerais>>. Acesso em: 16 Abr. 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. Atlas dos Municípios da Mata Atlântica – período 2011-2012, Anexo 1. São Paulo, **INPE**, 2013. 100p. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/> Acesso em: 14/02/2013.

GALINDO, I. C. L.; MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 95-100, 1989.

HASUI, Y. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 141-169, 2010.

HICKEY, R. Slope angle and slope length solutions for GIS. **Cartography**, Londres, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2000.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto da Vegetação p.357-410,. In: Ed. JENSEN ; JOHN R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 672 p

JOHNSON L. C. Soil loss tolerance: Fact or myth? **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, n. 42, v. 3, p. 155-160, 1987

LAFLEN, J. M.; MOLDENHAUSER, W. C. **Pioneering Soil Erosion Prediction: The USLE Story**. Beijing, World Association of Soil and Water Conservation, 2003. 54 p.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. **Science**, Washington, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LAWS, J. O.; PARSON, D. A. The relation of raindrop-size to intensity. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 24, n. 14, p. 452-460, 1943.

LANGDALE, G.W. et al. Cover crop effects on soil erosion by wind and water. In: ed. HARGROVE W. L. **Cover crops for clean water**, Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 15-23.

LIN, H. Earth's critical zone and hydro pedology: concepts, characteristics, and advances. **Hydrology and Earth Systems Science**, Munique, v. 14, p. 25-45, 2010.

LIN, H. Hydro pedology: towards new insights into interactive pedologic and hydrologic processes across scales. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 406, n. 3 p. 141-145, 2011.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo: Boletim Técnico, 28. Campinas: **Instituto Agrônômico de Campinas**, 1975. 12 p.

LONDRES, F. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. 1. ed. Rio de Janeiro, AS-PTA – **Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa**, 2011, 190 p.

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 427-434, 1997.

MCCOOL, D. K. et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no estado de minas gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MINELLA, J. P. G; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575-1582, 2012.

MITASOVA, H. M. et al. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. **Journal of Geography Information System**, Londres, v. 10, n. 5, p. 629-641, 1996.

MOORE I. D.; BURCH F. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society American Journal**, Madison, n. 50, n. 5, p. 1294–1298, 1986.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.

MORGAN R. P. C. et al. The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. **Earth Surface Process Landform**, Sussex, v. 23, n. 6, p. 527-544, 1998.

MUSGRAVE, G. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 2, n. 3, p. 133-138, 1947.

NEARING M. A. et al. A process based soil erosion model for USDA water erosion prediction project technology. **ASABE**. Saint Joseph, v. 32, n. 5, p. 5, p. 1587-1593, 1989.

OLIVEIRA, A. H. et al. Development of Topographic Factor Modeling for Application in Soil Erosion Models. In: SORIANO M.C.H (Ed.). **Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment**, Rijeka: InTech, 2013. p. 111-119.

O'SULLIVAN, P. E. The Ecosystem - Watershed Concept in the environmental Sciences - A Review. **Journal of Environmental Studies**, Heidelberg, v. 13, n. 4, p. 273-28, 1979.

PIMENTEL, D. et al. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. **Science**, Washington, v. 267, n. 5201, p. 1117-1122, 1995.

PIMENTEL, D. et al. Land Degradation: Effects on Food and Energy Resources. **Science**, Washington, v. 194, n. 4261, p. 149-155, 1975.

POMEROL, C. et al. **Princípios de Geologia: técnicas modelos e teorias**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1052 p.

PROCHNOW, D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 91-98, 2005.

RENARD, K. G. et al. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, v. 703, 1997.

RENARD, K. G., FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 157, n. 1, p. 287-306, 1994.

RICHARDS, B. K. et al. Colloidal transport: The facilitated movement of contaminants into groundwater. **Journal Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 62, p. 55-56, 2007.

RODRIGUES, D. M. T.; MIZIARA, F. Expansão da fronteira agrícola: a intensificação da pecuária bovina no estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 1, p. 14-20, 2008.

RODRIGUES, S. C.; BEZERRA, L. F. R. Study of matric potential and geotextiles applied to degraded soil recovery, Uberlândia (MG), Brazil. **Environ Earth Science, Heidelberg**, v. 60, n. 6, p. 1281-1289, 2010.

RODRÍGUEZ, J. L. C.; SUÁREZ, M. C. G. Historical review of topographical factor, *LS*, of water erosion models. **Aqua-LAC**, Montevideu, v. 2, n. 2, p. 56-61, 2010.

SÁ, M. A. C. et al. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 691-699, 2004.

SANDER, G. C. et al. Mathematical soils erosion modeling. In: **Water interactions with energy, environment, food and agriculture**. Paris: UNESCO, v. 2, 2005. p. 318-368.

SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999. 344 p.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000.

SILVA, M. L. N. et al. Comparação entre métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 11, p. 1751-1761, 1994.

SMITH, D. D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agriculture Engineering**, v. 22, n. 5, p. 173-175, 1941.

SYVITSKI, J. P. M. et al. Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean. **Science**, Washington, v. 308, n. 5720, p. 376-380, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE. 1977. 97 p.

TARBOTON D. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, Washington, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

UNFPA. Fundo de Populações das Nações Unidas. **Relatório sobre a Situação da População Mundial**. Nova York, 2013. 137 p.

UNEP. Programa Ambiental das Nações Unidas. **UNEP Year Book 2012: Emerging issues in our global environment.** 2012. 80 p.

VAN REMORTEL, R. D.; MAICHLE, R. W.; HICKEY, R. Computing the LS factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. **Computers & Geoscience**, Nova York, v. 30, n. 9, p. 1043–1053, 2004.

WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier e Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 197-203, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. A rainfall erosion index for a Universal Soil- Loss Equation. **Soil Science Society American**, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.** Supersedes Agriculture Handbook. Washington, United States department of Agriculture, 1978, 58 p.

WOOLHISER D. A; SMITH R. E. GOODRICH D. C. **KINEROS, a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual.** Washington DC, USDA - Agricultural Research Service, v. 77 , 1990. 130 p.

ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Agriculture Engineering**, Saint Joseph, v. 21, n. 2, p. 59-64, 1940.

3 - ESTIMATIVA DA EROSÃO HÍDRICA DE LATOSSOLOS VERMELHOS DISTRÓFICOS

Artigo redigido conforme as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

ESTIMATIVA DA EROSIÃO HÍDRICA DE LATOSSOLOS VERMELHOS DISTRÓFICOS⁽¹⁾

**Joaquim Ernesto Bernardes Ayer², Ronaldo Luiz Mincato³, Diogo Olivetti² &
Marx Leandro Naves Silva⁴**

RESUMO

Os Latossolos são os mais abundantes e utilizados pela agropecuária no sul de Minas Gerais e apresentam grande estabilidade e resistência à erosão. Contudo, nos últimos cem anos, foram submetidos a cultivos e manejos que favorecem à erosão hídrica. Para estimar a erosão hídrica foi aplicada a equação universal de perdas de solos revisada. Na área de estudo foram discriminadas três unidades de Latossolos Vermelhos distróficos (LVd1, LVd2 e LVd3) e uma de solos indiscriminados de várzea (SIV), que apresentam uma perda média de solos de 4,7 t ha⁻¹ ano⁻¹. Da área total, 31,7 % da sub-bacia apresentam erosão acima do limite de tolerância de perda de solo de cada unidade, respectivamente, de 10,45 t ha⁻¹ ano⁻¹ para LVd1; de 9,35 t ha⁻¹ ano⁻¹ para LVd2; de 9,14 t ha⁻¹ ano⁻¹ para a LVd3 e de 9,77 t ha⁻¹ ano⁻¹ para a SIV. As áreas com taxa de erosão superior ao limite de tolerância são resultado principalmente do manejo, da ausência de práticas conservacionistas e da elevada erosividade. Todavia, no cenário simulado com manejos conservacionistas, como plantio direto, as perdas médias diminuiriam para 1,38 t ha⁻¹ ano⁻¹, com apenas 3,93 % da área com perdas de solos acima do limite de tolerância.

Termos de indexação: RUSLE, plantio direto, cobertura vegetal, manejo dos solos.

SUMMARY: ESTIMATION OF WATER EROSION OF DYSTROPHIC RED LATOSOLS.

Latosols (oxisols) are the most abundant and used type of soil for farming in southern Minas Gerais and feature great stability and resistance to erosion. However, in the last hundred years, they were subjected to crops and management practices that favor erosion. To estimate the water erosion, the revised universal soil loss equation was applied. In the study area, three units of dystrophic Red Latosols (LVd1, LVd2 and LVd3) were discriminated and one of undiscriminated floodplain soils (SIV), which present an average soil loss of 4,7 t ha⁻¹ year⁻¹ were evaluated. Of the total area, 31,7 % of the watershed presented erosion levels above the limit of loss tolerance as follows: 10,54 t ha⁻¹ year⁻¹ for LVd1; 9.35 t ha⁻¹ year⁻¹ for LVd2; 9,14 t ha⁻¹ year⁻¹ for LVd3. The area with erosion rate above the tolerance limit resulted from the management, the absence of conservation practices and high erosivity. However, in a simulated scenario with conservation management practices, such as no tillage, average soil losses would decrease to 1,38 t ha⁻¹ year⁻¹, with only 3,93 % of the area with soil losses above the tolerance limit.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental/UNIFAL-MG, Rua Gabriel Monteiro da Silva -700 - Centro - 37130-000 - Alfenas - MG - Brasil.

² Mestrandos da UNIFAL-MG - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Tecnologia Ambiental/UNIFAL-MG, Bolsistas CAPES. E-mail: joaquimeba@yahoo.com.br, di_olivetti@hotmail.com

³ Professor da Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG - Instituto de Ciências da Natureza / ICN - Alfenas - MG - Brasil. E-mail: ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br

⁴ Professor da Universidade Federal de Lavras / UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS. Caixa Postal 3037 - CEP 37200-000 - Lavras - MG - Brasil. E-mail: marx@dcs.ufla.br

Index terms: RUSLE, no tillage, vegetation cover, soil management.

3.1 INTRODUÇÃO

A aplicação de modelos para avaliação e mitigação de impactos ambientais é imprescindível, frente ao futuro crescimento da população e da demanda por *commodities* da agropecuária (UNFPA, 2013), que deverão acarretar ainda maior pressão sobre os solos. Além disso, no Brasil, 79,6 % da energia é hidrelétrica (Brasil, 2013), o que torna os estudos sobre a erosão essenciais para atenuar os efeitos de assoreamento dos reservatórios (Carvalho, 2008).

A ação antrópica altera o equilíbrio natural entre erosão e formação dos solos e pode intensificar os processos erosivos (Brady & Weil, 2013). De fato, os solos não são renováveis na escala de tempo humana, e o manejo inadequado é causa de perdas de solos, de nutrientes, de água e de carbono (Morgan & Nearing, 2011).

Há diversas equações e modelos para avaliação dos fatores que afetam as perdas de solo por erosão hídrica ou outros agentes erosivos. Entretanto, a quantificação da erosão hídrica pela Equação Universal de Perdas de Solos (*Universal Soil Loss Equation - USLE*), de Wischmeier & Smith (1978), tem maior aplicabilidade em relação aos modelos físicos e conceituais, por superar, em parte, as restrições climáticas e geográficas, principalmente após o desenvolvimento da versão revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*) de Renard et al. (1997), pela utilização de sistemas de informação geográfica - SIG, de sensoriamento remoto e de métodos geoestatísticos modernos para obtenção dos fatores da USLE. Isso tem permitido a sua aplicação em ambientes mais complexos, como bacias hidrográficas (Morgan & Nearing, 2011). É, ainda, o modelo mais aplicado no Brasil (Barretto et al., 2008).

Os usos e os manejos convencionais, dominantes no sul do Estado de Minas Gerais, implicam a conservação inadequada dos solos. Devido ao desmatamento, atualmente se mantêm apenas cerca de 4 % da cobertura vegetal nativa (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE, 2013). Estas características aliadas à carência de manejos e de práticas conservacionistas eficientes, como o plantio direto, causam a degradação dos atributos dos solos (Bertoni & Lombardi Neto, 2008) e podem elevar as perdas acima do limite de tolerância de perda de solo de cada área e promover o assoreamento dos corpos d'água e a contaminação dos recursos hídricos e da cadeia trófica pelo carreamento dos insumos agrícolas (Londres, 2011).

A simulação de manejos pode, portanto, apontar soluções para mitigar o problema da erosão, indicando manejos mais adequados, que conciliem a preservação dos recursos naturais e a produção agrícola sustentável, em longo prazo. Nessa perspectiva, Zolin et al. (2011) demonstraram

tanto a eficiência da simulação de cenários para análises e proposição de medidas para mitigação da erosão quanto a eficácia da medida de Pagamentos por Serviços Ambientais na sub-bacia hidrográfica de Posses, no crescimento atual e futuro das matas nativas daquela área.

Assim, a estimativa da erosão de Latossolos, pela RUSLE, na sub-bacia do Córrego Pedra Branca, na região de Alfenas, serve como estudo piloto para o sul de Minas Gerais, devido aos recursos hídricos estratégicos para dessedentação, irrigação e produção de energia elétrica. Além disso, a região é a principal produtora mundial de café, uma das principais produtoras de milho e de leite do país e responsável pela maior parte no produto interno bruto da agropecuária estadual (FJP, 2009). Por sua localização geográfica, a região atua como celeiro e fornecedor de energia para importantes regiões metropolitanas do país, como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

Assim, diante da escassez de estudos que relacionem o tipo de manejo e a perda de solo nesta região, e considerando a importância dos Latossolos para agropecuária do sul de Minas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a erosão hídrica e simular cenários de manejos conservacionistas na sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca, no Município de Alfenas, Minas Gerais.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca é limitada pelas coordenadas 21° 20' a 21° 30' S e 45° 55' a 46° 00' W, Datum WGS zona 23 sul, no Município de Alfenas (Figura 1), com altitudes entre 920 e 780 m e ocupa 2.641,56 ha. Faz parte da Bacia do Rio Grande e é afluente do reservatório de Furnas. O clima, segundo Köppen, é o Tropical Mesotérmico (CwB).

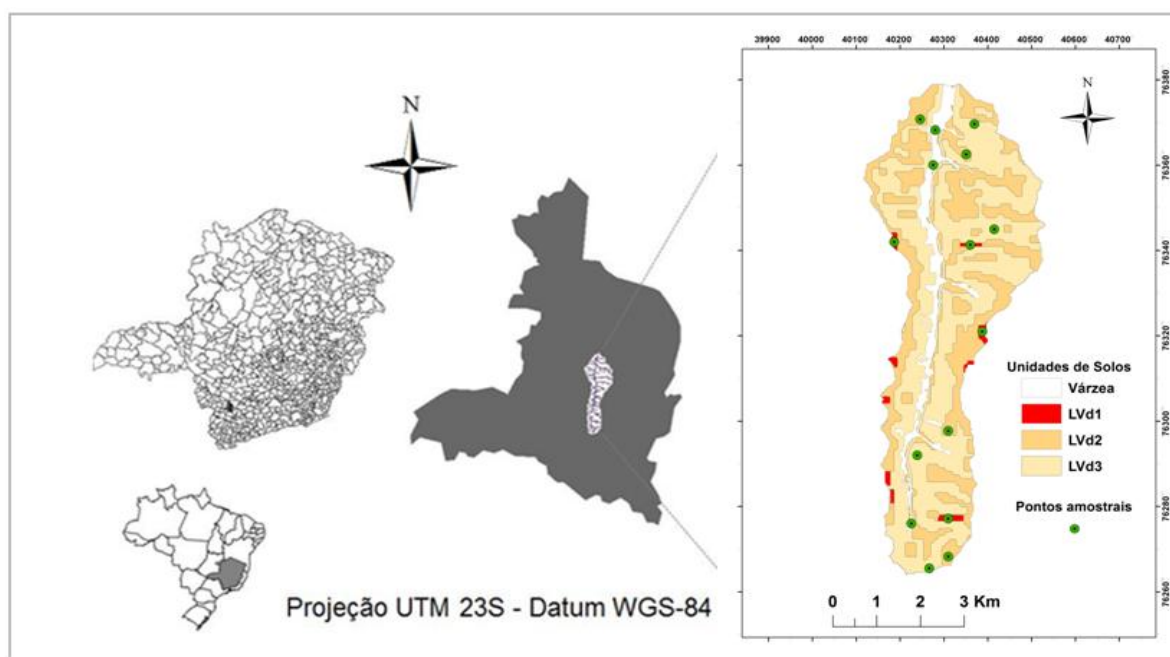


Figura 1. Mapa de localização das unidades de solos e dos locais amostrados na da sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca, Município de Alfenas – MG.

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca encerra uma superfície geológica antiga com elevações de contornos arredondados, vertentes longas, vales abertos e pequenos desnivelamentos locais. É composta por gnaisses charnoquíticos e granulíticos polimetamórficos proterozóicos (Hasui, 2010), que formam o planalto Sul de Minas. A Figura 1 ilustra a localização da sub-bacia e o mapa de unidades de solos gerado a partir do cruzamento do mapa de solos de Minas Gerais com o mapa de declividade da área onde foram discriminados: Latossolos Vermelhos distróficos (LVd1), em relevo plano (0 a 3 %); LVd2, em relevo suave ondulado (3 a 8 %); LVd3, em relevo ondulado (8 a 20 %) e de Solos Indiscriminados de Várzea (SIV).

Os solos foram descritos *in loco*, conforme Lemos et al. (2005). Foram coletadas, em cada unidade mapeada, quatro amostras sendo uma sob mata nativa e 3 sob uso agropecuário (UA) na profundidade de 0 a 20 cm, para determinação dos atributos físicos, químicos e morfológicos dos solos: cor, segundo Munssel; textura, pelo método do densímetro (Black, 1986), com e sem dispersante NaOH; índice de floculação (Embrapa, 1998); permeabilidade do solo à água (Zhang, 1997; Dane & Topp, 2002); estabilidade de agregados, pelo método de tamisamento em água (Kemper & Rosenau, 1986); e deste foram calculados os diâmetros médio geométrico (DMG) e médio ponderado (DMP) (Kemper & Chepil, 1965) (Quadro 1). Do complexo sortivo, foram determinados: pH em água com KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; Ca-Mg-Al com extrator KC1 1 mol L⁻¹; soma de bases trocáveis (SB); capacidade de troca catiônica (CTC-T) a pH 7,0; capacidade de troca catiônica efetiva (CTC-t); matéria orgânica (MO) por oxidação com Na₂Cr₂O₇ 2 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹; índice de saturação de alumínio (m); fósforo remanescente (P-rem); H+Al com extrator SMP e índice de saturação de bases (V), (Embrapa, 1998) (Quadro 1).

A perda de solos (A) na sub-bacia do Pedra Branca foi avaliada pela RUSLE (Equação 1) de Renard et al. (1997), subsidiada pelo SIG ArcGIS 10.0.

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Em que “A” é a perda de solo (t ha⁻¹ ano⁻¹), “R” é a erosividade da chuva (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹), “K” é a erodibilidade do solo (t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹), “L e S” representam o fator topográfico, pela relação entre a declividade e o comprimento de rampa (adimensionais) e “C” e “P” são, respectivamente, os fatores uso e manejo dos solos e vigência de práticas conservacionistas (adimensionais) (Wischmeier & Smith, 1978).

O **fator erosividade “R”** foi obtido de Aquino et al. (2012), que de 54 estações pluviométricas, calculou a erosividade e interpolou para o sul de Minas Gerais. A área estudada apresenta valor único de erosividade na ordem de 6.500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

O fator erodibilidade “K” foi obtido pelo modelo indireto (Equação 2) de avaliação de erodibilidade de Latossolos de Silva et al. (1999), a partir dos dados amostrados sob mata nativa do quadro 1 para as quatro unidades de solos.

$$K = 4,77 \times 10^{-2} - 9,66 \times 10^{-3} X1 + 1,63 \times 10^{-2} X2 - 1,12 \times 10^{-2} X3 + 1,85 \times 10^{-2} X4 - 1,51 \times 10^{-2} X5 - 2,46 \times 10^{-4} X9 - 3,58 \times 10^{-4} X10 + 1,47 \times 10^{-4} X11 - 1,43 \times 10^{-4} X12 + 3,26 \times 10^{-3} X13 - 1,26 \times 10^{-3} X14 - 2,29 \times 10^{-4} X18 + 1,07 \times 10^{-4} X19 + 2,69 \times 10^{-4} X23 \quad (2)$$

Quadro 1. Caracterização física e química das unidades de solos da sub-bacia

ATRIBUTOS SOLOS	Unidade LVd1		Unidade LVd2		Unidade LVd3		Unidade SIV	
	UA*	Mata	UA*	Mata	UA*	Mata	UA*	Mata
X1 - Matiz do solo úmido (adimensional)**	2	2	2	2	2	2	2	2
X2 - Tipo de estrutura (adimensional)**	3	3	3	3	3	3	3	3
X3 - Grau da estrutura (adimensional)**	1	2	1	2	1	1	2	2
X4 - Tamanho da estrutura (adimensional)**	1	2	1	2	1	2	2	2
X5 - Plasticidade do solo (adimensional)**	2	3	2	3	2	3	3	3
X6 - Teor de AMG - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	43	40	40	40	50	50	105	100
X7 - Teor de AG - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	86	120	90	130	130	110	215	220
X8 - Teor de AM - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	106	120	113	200	133	120	120	170
X9 - Teor de AF - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	106	70	113	200	110	190	80	110
X10 - Teor de AMF - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	36	20	36	50	40	30	40	30
X11 - Teor de silte - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	70	0	56	40	66	70	100	140
X12 - Teor de argila - NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg ⁻¹)	546	640	546	330	470	430	335	230
X13 - Teor de AMG dispersa em água (g kg ⁻¹)	30	30	26	40	50	50	70	70
X14 - Teor de AG dispersa em água (g kg ⁻¹)	90	130	90	110	90	90	160	220
X15 - Teor de AM dispersa em água (g kg ⁻¹)	120	200	136	190	120	120	125	200
X16 - Teor de AF dispersa em água (g kg ⁻¹)	133	180	153	240	140	140	85	110
X17 - Teor de AMF dispersa em água (g kg ⁻¹)	46	30	56	60	40	40	40	40
X18 - Teor de silte disperso em água (g kg ⁻¹)	146	100	140	130	240	240	295	240
X19 - Teor de argila dispersa em água (g kg ⁻¹)	430	330	393	230	320	320	215	120
X20 - DMG (mm)	2,31	4,43	3,42	4,56	3,52	3,98	3,28	3,61
X21 - DMP (mm)	3,31	4,79	4,19	4,81	4,23	4,49	4,06	4,3
X22 - Permeabilidade do solo à água (mm h ⁻¹)	20,28	7,38	75,74	8,7	73,44	4,35	9,91	49,14
X23 - Índice de floculação (adimensional)	20,7	48,5	25,9	30,3	24,5	25	34,5	47,9
X24 - Teor de MO (g kg ⁻¹)	24,07	54,30	23,73	31,40	23,20	24,80	29,65	26,10
X25 - pH (adimensional)	5,37	4,20	5,10	4,20	4,87	4,20	4,90	5,10
X26 - K (mg dm ⁻³)	92,67	44,00	28,00	46,00	41,33	64,00	45,00	74,00
X27 - P (mg dm ⁻³)	1,13	3,84	1,13	1,13	1,72	2,30	5,19	1,13
X28 - Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,80	0,80	0,70	0,40	1,03	0,20	0,90	3,60
X29 - Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,37	0,20	0,27	0,10	0,47	0,10	0,30	1,00
X30 - Al (cmol _c dm ⁻³)	0,53	2,10	0,50	1,30	0,83	1,30	0,75	0,10
X31 - H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,62	17,13	6,07	8,80	7,66	8,80	7,92	3,62
X32 - V (%)	19,46	6,10	13,92	6,56	18,33	5,01	14,13	56,95
X33 - CTC- t (cmol _c dm ⁻³)	1,94	3,21	1,53	1,92	2,44	1,76	2,07	4,89
X34- CTC-T a pH 7,0 (cmol _c dm ⁻³)	7,04	18,24	7,11	9,42	9,26	9,26	9,24	8,41
X35 - m (%)	37,01	65,42	35,73	67,71	32,58	73,86	34,30	2,04
X36 - SB (cmol _c dm ⁻³)	1,40	1,11	1,04	0,62	1,61	0,46	1,32	4,79
X37- P-rem. (mg L ⁻¹)	12,53	10,99	10,92	21,55	13,97	12,93	13,29	42,85

*UA = Uso agropecuário; ** Codificadas segundo Silva et al. (1999); AMG = Areia muito grossa; AG = Areia grossa; AM = Areia média; AF = Areia fina; AMF = Areia muito fina; DMG = Diâmetro médio geométrico; DMP = Diâmetro médio ponderado; SB = Soma de bases trocáveis; CTC-T = Capacidade de troca catiônica; CTC-t = Capacidade de troca catiônica efetiva; MO = Matéria orgânica; m = Índice de saturação por alumínio; P-rem = Fósforo remanescente; V = Índice de saturação por bases.

O fator topográfico “LS” foi estimado a partir de Moore & Burch (1986) no SIG ArcGIS 10.0 com a extensão TauDEM 5.0, que aplica o algoritmo D_{∞} de Tarboton & Mohammed (2010). Foi ainda usado o modelo digital de elevação Topodata, com 30 m de resolução, filtrado pela função PIT do TauDEM e, deste, foram geradas a declividade (Figura 2A), a direção de fluxo e o fluxo acumulado, para obtenção da área de contribuição, que substitui o comprimento de rampa. A área de contribuição e a declividade da sub-bacia foram correlacionadas pela função Raster Calculator do SIG ArcGIS (Equação 3).

$$LS = (a * resolution / 22,13)^{0,4} * (\text{sen } \theta / 0,0896)^1 \quad (3)$$

Em que LS é o fator topográfico derivado da teoria da potência do escoamento, a é a área de contribuição hidrológica derivada do algoritmo D_{∞} (Tarboton & Mohammed, 2010) e da extensão TauDEM e θ é a declividade em graus.

Os valores de cobertura do fator uso e manejo “C” (Quadro 2) identificados na sub-bacia do Córrego Pedra Branca (Figura 2B) foram obtidos da literatura especializada.

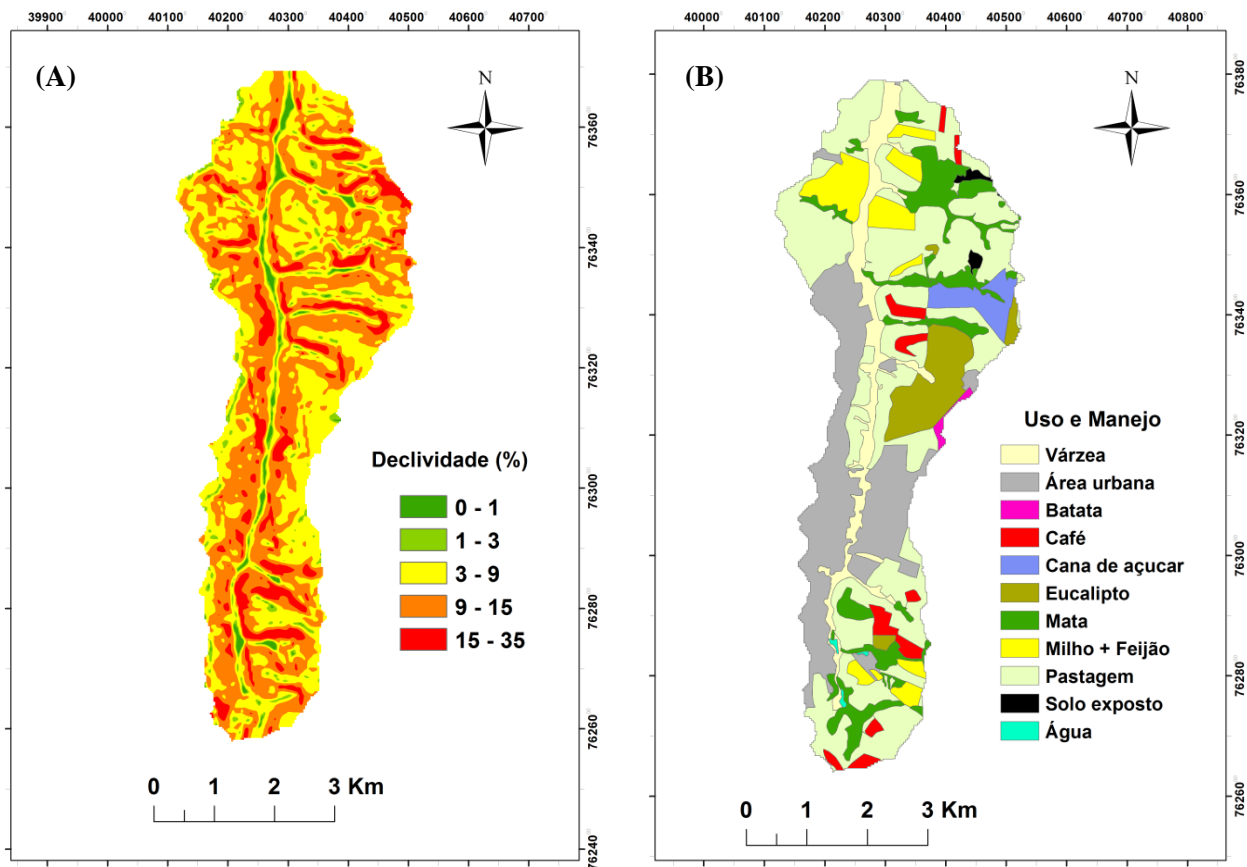


Figura 2. A = Declividade; B = Uso e manejo dos solos da sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca.

O fator de cobertura para feijão, não foi encontrado na literatura, por isso, adotou-se o valor do fator da soja de Bertol et al. (2001), que possui características naturais similares à do feijão (Roloff & Bertol, 1998). A cultura do milho é plantada em sucessão com a do feijão na sub-bacia, assim foi calculada a média ponderada pela erosividade para o fator de cobertura milho-feijão.

O fator **práticas conservacionistas “P”** (Quadro 2) identificados foram plantio em nível no café e terraceamento na cana-de-açúcar. Para todos os outros usos e manejos, foi usado o valor de $P = 1$. O manejo do plantio direto com $P = 0,01$ (Roose, 1977) foi adotada na simulação da erosão sob manejo conservacionista.

No ArcGIS 10.0, foi obtida a suscetibilidade à erosão hídrica da sub-bacia sob manejo convencional, a partir do produto entre os fatores naturais R, K e LS e os antrópicos C e P. Foi, ainda, simulada erosão sob manejos conservacionistas com C e P alternativos aos atuais.

Quadro 2. Fatores C e P convencionais e conservacionistas para os usos e manejos identificados na sub-bacia

Uso e Manejo	Fator C	Fator P**	Autor
Café espaçamento menos adensado	0,1412	0,5	Prochnow et al. (2005)
Café espaçamento mais adensado*	0,0866	0,5	Prochnow et al. (2005)
Batata em desnível	0,5	1	Fiener & Auerswald (2006)
Batata em nível*	0,2	1	Fiener & Auerswald (2006)
Eucalipto	0,30	1	Martins et al. (2010)
Eucalipto em nível*	0,30	0,5	Martins et al. (2010)
Milho resíduo incorporado	0,122	1	De Maria & Lombardi Neto (1997)
Milho em plantio direto*	0,028	0,01	De Maria & Lombardi Neto (1997)
Soja resíduo incorporado	0,1437	1	Bertol et al. (2001)
Soja em plantio direto*	0,0455	0,01	Bertol et al. (2001)
Milho + Feijão resíduo incorporado	0,12417	1	Média ponderada soja + milho
Milho + Feijão plantio direto*	0,02705	0,01	Média ponderada soja + milho
Cana-de-açúcar com queimada na colheita	0,142	1	Andrade et al. (2011)
Cana-de-açúcar sem queimada na colheita*	0,096	1	Andrade et al. (2011)
Pastagem degradada	0,1	1	Roose (1977)
Pastagem manejada*	0,01	1	Roose (1977)
Mata nativa	0,02	1	Martins et al. (2010)
Área urbana	0,01	1	Lim et al. (2011)
Várzea	0,0004	1	Oliveira et al. (2007);
Solo exposto	1	1	
Corpos hídricos	0	0	

*Valores utilizados na simulação da erosão; ** Valores de P obtidos de Bertoni & Lombardi Neto (2008) e Roose (1977).

O **limite de tolerância de perda de solo (TPS)** foi calculado a partir dos dados do quadro 1, complementado com o valor da relação textural = 1; profundidade do perfil = 1000 cm; densidade = 1,1; obtidos do Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas (Brasil, 1962). Tal limite foi obtido para as quatro unidades mapeadas (Figura 2) e determinado pelos métodos de Lombardi Neto & Bertoni (1975), de Galindo & Margolis (1989) e de Bertol & Almeida (2000). Para cada unidade de solo, foi considerado o valor médio das três determinações. O mapa de tolerância de perda de solo foi gerado correlacionando o

mapa de unidades de solos (Figura 1) com o de erosão atual (Figura 3A), em que a tolerância foi discriminada para cada uma das quatro unidades mapeadas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área estudada apresenta erosão média de $4,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com 31,7%, ou seja, 854, 49 ha da área total com valores acima do limite de tolerância de perda de solo, contudo, quando consideramos apenas os usos agropecuários, 52,35 % da sub-bacia supera tal limite (Figura 3A e 3B). Isto indica que as áreas agropecuárias, devido aos usos e manejos convencionais, expõem os solos à ação das chuvas que possuem alta erosividade na região, e tendem a acelerar a erosão, aumentando as áreas acima da TPS para as unidades de latossolos, que foi de $10,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd1; de $9,35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd2 e de $9,14 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd3.

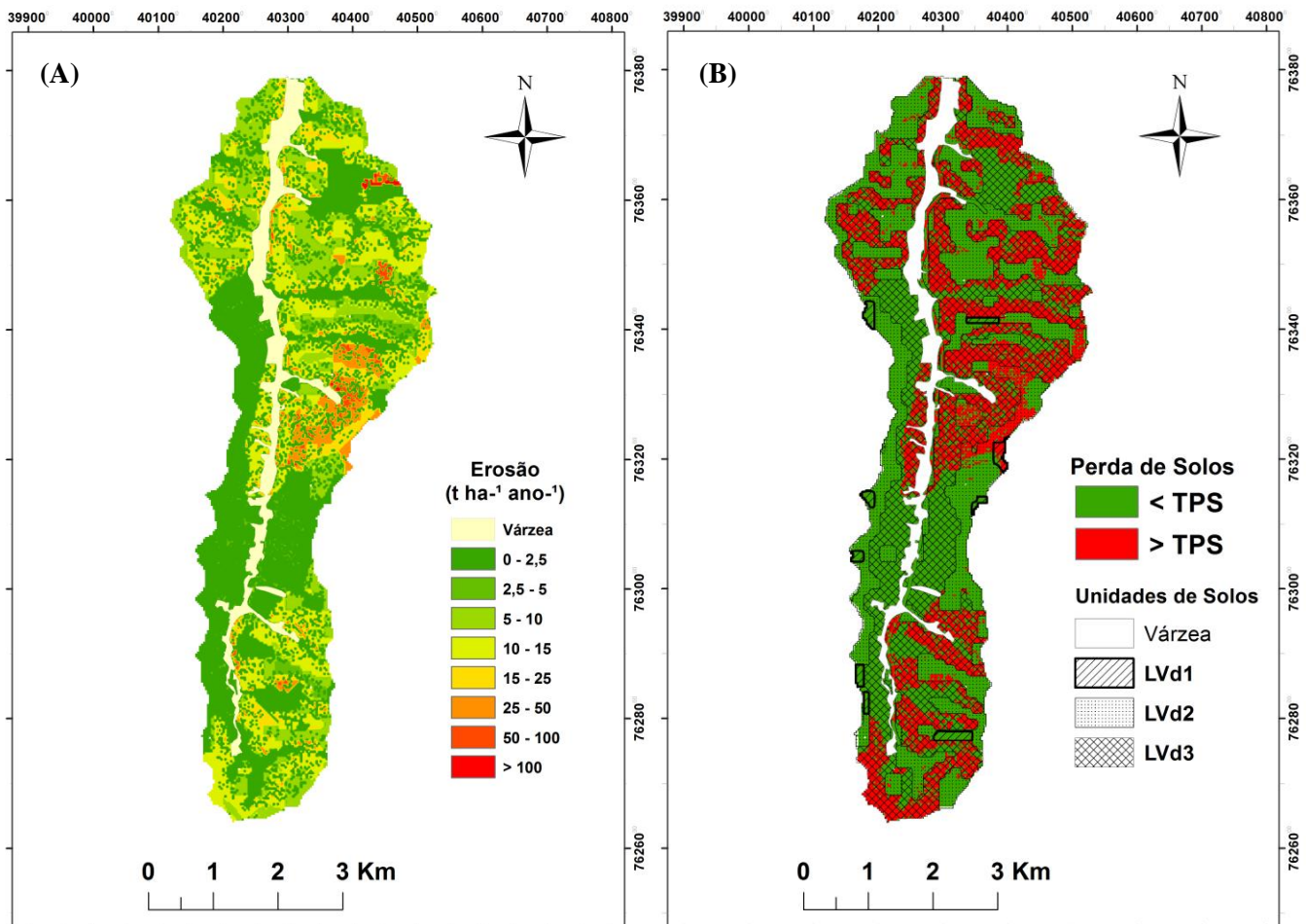


Figura 3. A = Erosão sob manejo convencional; B = Perda de solos menor e maior do que o limite de tolerância de perda de solo (TPS).

A sub-bacia apresenta uma suscetibilidade de perda de solos total de 13.200 t ano⁻¹, as maiores perdas de solos ocorrem nas áreas de pastagem e eucalipto com, respectivamente, 6,969 e 2.938 t ano⁻¹, ou seja, 52 e 22 % da erosão total da área. Porém, quando considerada a perda média por tipo de usos, é verificado que as áreas mais suscetíveis à erosão hídrica são as de solos expostos as de batata e de eucalipto e as menos suscetíveis são as áreas de matas, de várzea e urbana como indica o quadro 3. As perdas acima do limite de tolerância de perda de solo (TPS) (Figura 3B), quando consideradas as classes adaptadas de Beskow et al. (2009) (Figura 3A e Quadro 4), ficam principalmente entre 10 e 25 t ha⁻¹ ano⁻¹ e ocorrem nas áreas de plantio com manejo convencional, principalmente, de eucalipto, batata, milho, cana-de-açúcar e pastagens. Já as perdas entre 25 e 100 t ha⁻¹ ano⁻¹ estão, sobretudo, em áreas de manejo convencional de eucalipto, batata e em algumas áreas de pastagens, milho, café e cana-de-açúcar, resultado da conjugação entre os fatores uso e manejo, topográfico (Figura 4A) e erodibilidade dos solos (Figura 4B), com perdas concentradas, principalmente, na unidade LVd3, que possui maiores declives e erodibilidade entre os Latossolos e ocupa 56,47% da área total da bacia contribuindo com 87% da erosão acima dos limites de TPS, valores bem acima das unidades LVd1 e LVd2 que ocupam respectivamente 1,46% e 33,79% da área total da bacia e contribuem com respectivamente 0,37 % e 12,03 % da erosão acima da TPS. Isto, é possivelmente consequência dos menores teores de MO e da CTC, além de maiores de silte, e valores menores de DMG e de DMP da unidade LVd3, que podem acentuar o escoamento e o carregamento das partículas dos solos. Situação agravada pelas queimadas na colheita da cana-de-açúcar e na limpeza dos terrenos no inverno. A classe de erosão >100 ocorre quase que exclusivamente nos solos expostos.

Quadro 3. Suscetibilidade à perda de solos para os diferentes usos e manejos na sub-bacia hidrográfica do Córrego Pedra Branca

Uso	Área (ha)	Área (%)	MANEJO	CONVENCIONAL	MANEJO	CONSERVACIONISTA
			Taxa média de perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Contribuição no total da erosão (%)	Taxa média de perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Contribuição no total da erosão (%)
Água	4,25	0,16	0	0	0	0
Área urbana	544,55	20,61	0,6	2,59	0,6	9,37
Batata	8,81	0,33	25,3	1,68	10,3	2,48
Café	79,34	3,00	5,4	3,25	3	6,50
Cana de açúcar	71	2,68	5,3	2,84	3,5	6,94
Eucalipto	168,42	6,37	17,4	22,22	8,6	40,00
Mata	275,51	10,42	0,2	0,41	0,2	1,50
Milho+feijão	174,64	6,61	7,4	9,81	0,3	1,52
Pastagem	1.087,35	41,16	6,4	52,71	0,5	15,45
Solo exposto	13,01	0,49	45,1	4,44	45,1	16,06
Várzea	214,63	8,12	0	0	0	0
Total	2.641,55	100	-	100	-	100

As perdas de solos sob eucalipto estão relacionadas aos quatro primeiros anos de desenvolvimento da planta, quando a cobertura do solo pelo dossel é baixa (Martins et al., 2010). Além disso, as áreas usadas normalmente são íngremes, exigindo manejos e práticas conservacionistas eficazes, como, por exemplo, o terraceamento e o plantio em nível. Nas áreas de culturas temporárias, a adoção de técnicas de cultura em nível, terraceamento e de plantio direto, entre outras, pode ajudar na mitigação à erosão. As elevadas perdas de solos associadas às pastagens resultam das queimadas e do superpastejamento e poderiam ser corrigidas com a adoção de piquetes e ou diminuição do número de cabeças de gado por hectare e calagem dos solos. O adensamento dos espaçamentos nas culturas, também é considerado uma maneira eficiente tanto de se aumentar a produtividade, quanto de reduzir a erosão.

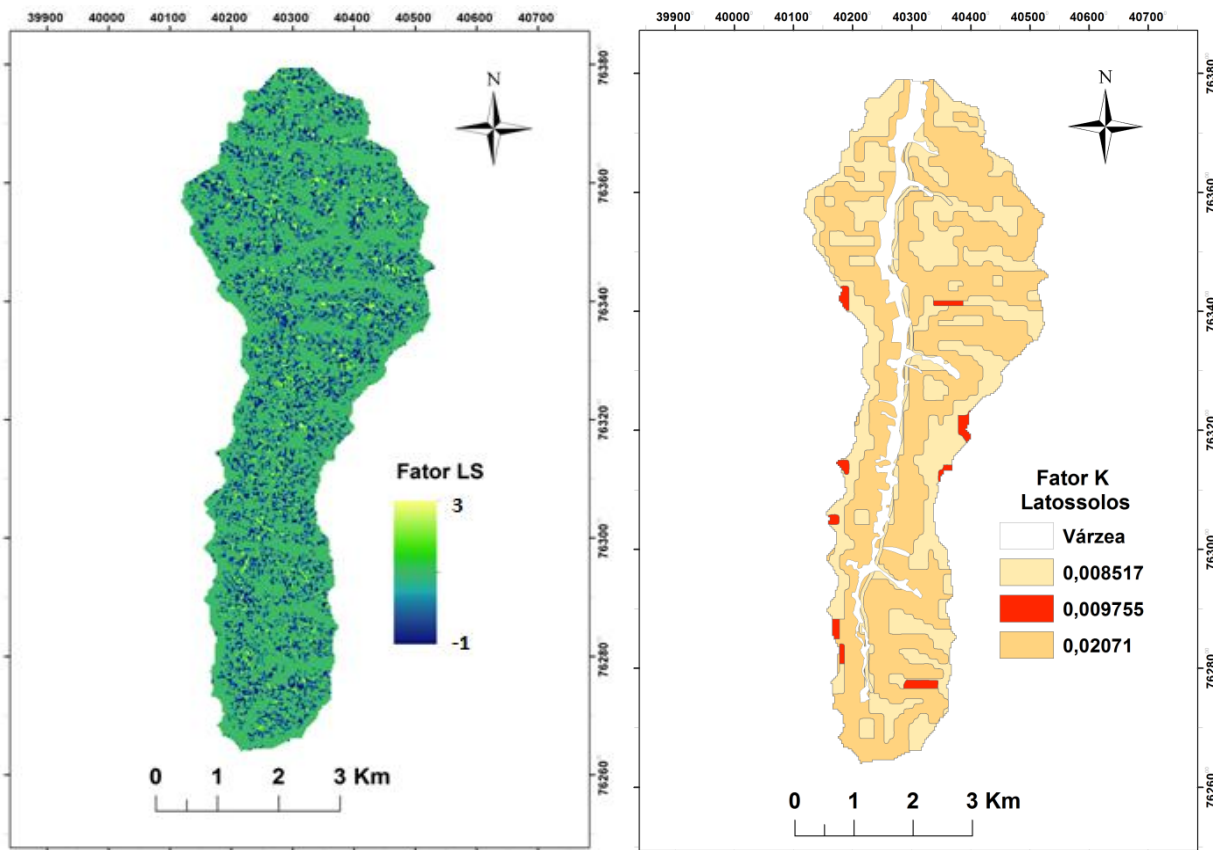


Figura 4. A = Fator topográfico - LS; B = Fator erodibilidade - K

As análises dos solos coletados sob mata nativa (Quadro 1), apresentam textura que varia de média a argilosa, são solos ácidos, com pH entre 4,20 e 5,10 e, possuem valores médios a baixos de CTC-T, de 8,41 a 18,24 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; CTC-t de 4,89 a 9,84 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; V média de 5,89 % para os Latossolos e 56,95 % para a de solos de várzea, esta alta concentração de bases na várzea, pode

ser reflexo da erosão na bacia com o carreamento dos nutrientes adicionados aos solos agrícolas das áreas mais altas para as mais baixas. Possuem ainda baixa disponibilidade de P, em média $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$; Mg entre $0,1$ e $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e baixos teores de N (Brasil, 1962). Essas características resultam do intemperismo sob regime hídrico údico, com menos de três meses secos e erosividade da ordem de $6.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que, no decorrer de milhares de anos, promoveu a lixiviação das bases e da sílica dos solos, aumentando a concentração de Al das rochas parentais. Isso é confirmado pelos teores elevados de H + Al em média de $9,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e de saturação de Al (m), em média $69,9\%$ para a classe dos Latossolos e de $2,04\%$ para os solos de várzea, o que pode estar relacionado a maior saturação de bases na várzea reduzindo assim a quantidade de “m”.

Os solos da bacia sob mata nativa (MN) e uso agropecuário (UA) quadro 1, apresentaram teor de MO, respectivamente, de $34,15 \text{ g kg}^{-1}$, e $25,16 \text{ g kg}^{-1}$. Este valor foi menor no uso agrícola e aponta para uma degradação neste atributo do solo, que pode estar associado aos manejos convencionais adotados, situação agravada pelos desmatamentos e queimadas, que diminuem ainda mais a deposição de detritos vegetais e contribui para redução da capacidade de troca de bases destes solos. Os baixos teores de MO, aliados ao manejo, podem também ter relação com os valores médios menores no DMG e DMP do horizonte A que foi respectivamente de $3,13$ e $3,94 \text{ mm}$ nos usos agropecuários quando comparados à mata nativa respectivamente de $4,15$ e $4,6 \text{ mm}$. Outros atributos dos solos também apresentaram valores menores sob uso agropecuário como o índice de floculação. Disso resulta uma estrutura desfavorável ao crescimento de plântulas e raízes, com menor aeração, infiltração e movimento de água no perfil do solo e, conseqüentemente, favorável à erosão (FAO, 2005). Onde, o manejo inadequado e a ausência de práticas de conservação favorecem a desagregação das estruturas dos solos e induzem a uma permeabilidade na área que varia de média a baixa com 44 mm h^{-1} sob uso agropecuário, e de 18 mm h^{-1} sob mata nativa. Os valores baixos sob mata nativa podem ter como causa a alta umidade apresentada pelos solos nas matas. Essas características, aliadas à pequena superfície específica e à limitada capacidade adsorptiva dos cátions comparada a de outros solos, indicam que solos de caulinita e gibbsita possuem baixa fertilidade natural e teores baixos e médios de K, P, Ca, Mg, CTC-T, CTC-t, SB e V (Quadro 1) e explicam o comportamento distinto das argilas tropicais, em que a alta floculação sobrepuja o efeito da textura na infiltração em detrimento do escoamento superficial (Brasil, 1962; Vitorino et al., 2003).

Assim, a simulação da erosão sob manejos conservacionistas (Figura 5) avaliou a eficiência de técnicas que poderiam mitigar a erosão acelerada e melhorar os atributos físicos dos solos. As práticas adotadas reduziram a erosão total na sub-bacia de 13.200 para 3.650 t ano^{-1} , com uma média de $1,38 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, diminuindo a área acima do limite de tolerância de perda de solo de

31,7 %, para 3,93 %, ou seja, de 838 para 103 ha. A comparação entre as figuras 5 e 3A e o quadro 4 ilustram que o manejo do plantio direto seria o mais eficiente na redução da erosão. Contudo, este manejo é prejudicado pela dificuldade na formação de palha, devido às características do clima regional. Entretanto outros manejos e práticas conservacionistas, como a colheita da cana-de-açúcar sem queimadas, o arruamento mais adensado dos cafezais e o plantio de batata e eucalipto em nível, também reduziriam a erosão, demonstrando ser viável conciliar produção e preservação. As áreas que permaneceram acima do limite de tolerância de perdas de solo (Figura 5), ou seja, acima de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, foram as de solos expostos, além daquelas com cultivos de café, de cana-de-açúcar, de batata e de eucalipto que estão dentro da unidade de solo LVd3 e nas áreas de maior valores de LS.

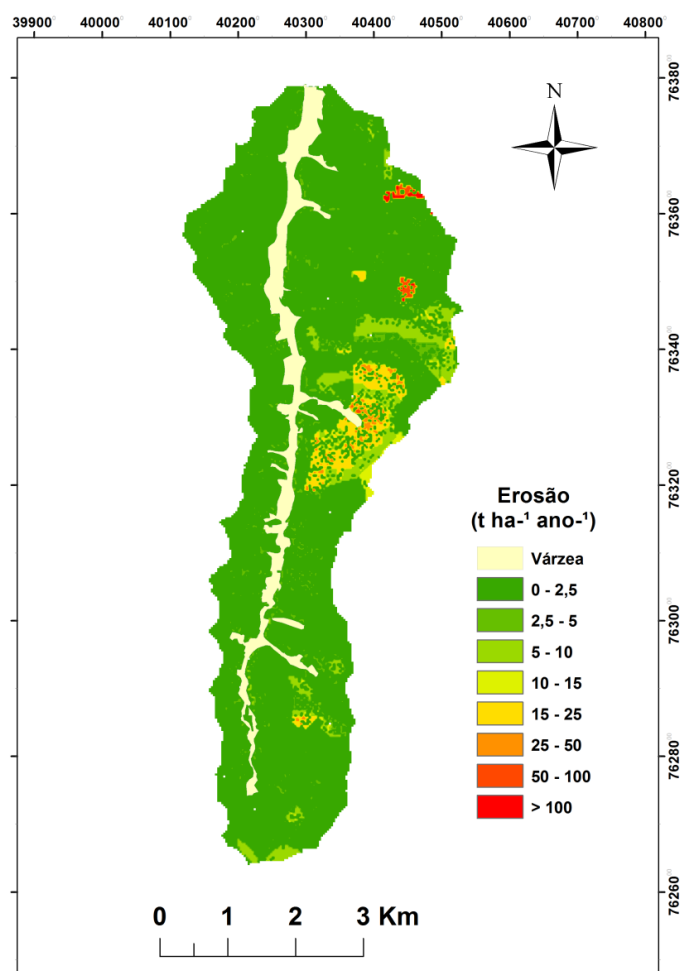


Figura 5. Erosão simulada sob manejos conservacionistas.

A estimativa da suscetibilidade à erosão de $13.200 \text{ t ano}^{-1}$ na área da sub-bacia do Pedra Branca pode contribuir para elevar as taxas de assoreamento do reservatório de Furnas, diminuindo a capacidade de geração de energia elétrica. Atualmente, os usos e os manejos inadequados dos solos têm impactos diretos nas perdas de solos (Figura 6A, Quadro 2 e 4) e no aumento dos custos

da produção agropecuária, todavia, os impactos deletérios indiretos também devem, ser considerados, e, destes, cumpre destacar, por exemplo, o assoreamento e a diminuição da dos corpos e quantidade de água, a eutrofização dos corpos d'água e a contaminação da cadeia trófica com agrotóxicos, além do aumento do efeito estufa.

Quadro 4. Taxas de erosão sob manejos convencional e conservacionista

Taxa de perda de solos (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Manejo Convencional		Manejo Conservacionista		Classes de erosão dos solos*
	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	
0 - 2.5	50,66	1338,23	88,09	2.205,08	Suave
2.5 - 5	2,35	62,30	3,07	196,06	Suave/moderada
5-10.	18,30	483,62	4,99	146,09	Moderada
10-15.	18,16	479,81	0,42	0,57	Moderada Alta
15-20.	5,07	134,12	2,65	77,98	Alta
20-50.	4,60	121,69	0,33	5,34	Muito Alta
50-100.	0,64	17,04	0,26	6,89	Altamente severa
>100	0,15	3,99	0,13	3,54	Extremamente severa
Total	100	2.641,55	100	2.641,55	-

*Adaptadas de Beskow et al. (2009).

De fato, a degradação dos recursos ambientais desencadeia efeitos negativos sobre todos os recursos físicos e biológicos da ecosfera terrestre (Morgan & Nearing, 2011). Porém, a utilização de práticas de manejos conservacionistas pode contribuir para a preservação destes recursos. O trabalho desenvolvido exemplifica uma tecnologia de aplicação relativamente simples, que permite identificar e quantificar a suscetibilidade à erosão, que dilapidam o capital natural da região, e assim adotar práticas e manejos conservacionistas para mitigação deste impacto.

3.4 CONCLUSÕES

1. A comparação entre os atributos dos solos sob usos agropecuários e mata, aponta para a redução no teor de matéria orgânica nos usos antrópicos, com reflexos no tamanho e grau de estrutura, no Diâmetro Médio Geométrico e Ponderado, o que pode estar relacionado ao aumento da erosão acima dos limites de tolerância de perdas de solos, nestes usos e manejos.

2. O manejo convencional é a principal causa de degradação e elevação das taxas de erosão dos Latossolos Vermelhos distróficos para valores acima do limite de tolerância de perda de solo.

3. As áreas de pastagens apresentam a maior perda por tipo de uso, devido à maior área ocupada, porém as áreas de solos expostos, eucalipto e batata são as que possuem maior perda média por hectare.

4. No cenário conservacionista simulado, o plantio direto seria o mais eficiente no combate à erosão na área. Porém, A colheita da cana-de-açúcar sem queimadas, o arruamento dos cafezais

mais adensados e a adoção do plantio em nível nas plantações de eucalipto e batata também contribuiriam para redução das taxas de erosão.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelas bolsas de mestrado, e à Consultoria Santiago e Cintra, pela imagem Rapideye.

3.5 LITERATURA CITADA

- ANDRADE, N.S.F.; MARCILIO, V.M.F. & JOSÉ, L.R.T. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 31:539-550, 2011
- AQUINO, R.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURI, N.; MELLO, C.R. & AVANZI, J.C. Spatial variability of the rainfall erosivity in southern region of Minas Gerais state, Brazil. *Ci. Agrotec.*, 36: 533-542, 2012.
- BARRETTO, A.G.O.P.; BARROS, M.G.E. & SPAROVEK, G. Bibliometria, História e Geografia da Pesquisa Brasileira em Erosão Acelerada do Solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2443-2460, 2008.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 6.ed. São Paulo, Ícone, 2008. 355p.
- BERTOL, I.; SCHICK, J. & BATISTELA, Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo húmico alumínico. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:451-461, 2001.
- BERTOL, I. & ALMEIDA, J.A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:657-668, 2000.
- BESKOW, S.; MELLO C.R.; NORTON L.D.; CURI N. & AVANZI J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, 79:49-59, 2009.
- BLACK, C.A. ed. *Methods of soil analysis. Part I: Physical and mineralogical methods.* 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. 1188p.
- BRADY, N.C. & WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos.* Porto Alegre, Bookman, 2013. 685p.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço energético 2013: Ano base 2012.* Ministério de Minas e Energia, 2013. 283p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas. Boletim Técnico nº 13 do Serviço Nacional De Conservação dos Solos.* Rio de Janeiro: Ministério da agricultura, 1962. 478p.
- CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia Prática.* 2.ed., Rio de Janeiro, Interciência 2008. 600p.
- DANE, J.H. & TOPP, G.C. *Methods of soil Analysis, part 4 - Physical Methods.* Madison, Soil Science Society of America, 2002. 1692p.

- DE MARIA, I.C. & LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de terra e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 21:263-270, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Análises químicas para avaliação da fertilidade do solo: Métodos Usados na Embrapa Solos. EMBRAPA/CNPS, n.3, Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 1998. 44p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food and production. Roma, FAO, 2005, 95p.
- FIENER, P. & AUERSWALD, K. Rotation effects of potato, maize and winter wheat on water erosion from cultivated land. Adv. GeoEcol., 38:273-280, 2006.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - FJP. Produto Interno Bruto das Regiões de Planejamento de Minas Gerais. Informativo CEI, Belo Horizonte: FJP, 2009. Disponível em: <<http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/analise-economica/pib-produto-interno-bruto-de-minas-gerais>>. Acesso em: 16 abril 2013.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Atlas dos Municípios da Mata Atlântica – período 2011-2012, Anexo 1. São Paulo, INPE, 2013. 100p.
- GALINDO, I.C.L. & MARGOLIS, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do estado de Pernambuco. R. Bras. Ci. Solo, 13:95-100, 1989.
- HASUI, Y. A Grande Colisão Pré-Cambriana do Sudeste Brasileiro e a Estruturação Regional. Geociências. 29: 141-169, 2010.
- KEMPER W.D. & CHEPIL. W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C.A., ed. Methods of soil analysis. Part1. Madison, 2.ed. Madison, SSSA. 1965. p.495-509.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 1 ed., Madison, Soil Science Society of America, 1986. p.425-442.
- LEMONS, R.C.; SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 5.ed. Viçosa, SBCS, 2005. 100p.
- LIM, K.J.; PARK, Y.S.; ENGEL, B.A. & KIM, N.W. SATEEC GIS System for spatial and temporal analyses of soil erosion and sediment yield In: GODONE D. & STANCHI S., eds. Soil Erosion Studies. Rijeka: InTech, 2013. p.111-119.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28)
- LONDRES, F. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. 1.ed. Rio de Janeiro, AS-PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011. 190p.
- MORGAN, R.P.C. & NEARING, M.A., eds. Handbook of erosion modeling. West Sussex, Wiley - Blackwell, 2011. 352p.

- MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; AVANZI, S.G.; 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. *Sci. For.*, 38:517-526, 2010.
- MOORE, I.D. & BURCH, F.J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1294–1298, 1986.
- OLIVEIRA, A.M.M.; PINTO, S.A.F. & LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo, *Est. Geogr.*, 5:63-86, 2007.
- OLIVEIRA, A.H. SILVA, M.A.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; KLINKE NETO, G. & FREITAS, D.A.F. Development of topographic factor modeling for application in soil erosion models. In: SORIANO, M.C.H., ed. *Soil processes and current trends in quality assessment*, 1.ed. Rijeka, In Tech, 2013. 444p.
- PROCHNOW, D.; DECHEN, S.C.F.; DE MARIA, I.C. & CASTRO, M. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:91-98, 2005.
- RENARD, K.G.; FOSTER G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K & YODER, D.C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*, v.703, 1997.
- ROLOFF G. & BERTOL, O.J. Método para a estimativa da cobertura do solo e da altura do dossel de algumas culturas de verão. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:319-327, 1998.
- ROOSE, E.J. Application of the universal soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In: GREENLAND, D.J. & LAL, R., eds. *Soil conservation and management in the humid tropics*. Chichester, John Wiley & Sons, 1977. p.177-187.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; LIMA, J. M. & FERREIRA, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2287-2298, 1999.
- TARBOTON, D.G. & MOHAMMED, I.N. Terrain analysis using digital elevation models. *TauDEM*, version 5.0. Software. 2010.
- UNFPA, Fundo de Populações das Nações Unidas. Relatório sobre a Situação da População Mundial 2012. Nova York. ONU, 2012. 137p. Disponível em <http://www.unfpa.org.br/Arquivos/swop2012.pdf>. Acesso em: 05 abril 2013.
- VITORINO, A.C.T.; FERREIRA M.M.; CURI, N.; LIMA J.M.; SILVA, M.L.N. & MOTTA P.E.F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, 8:133-141, 2003.
- WISCHMEIER, W.H & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *Supersedes Agriculture Handbook*. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 67p.

- ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1024-1030, 1997.
- ZOLIN, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; MINGOTI R.; SÁNCHEZ-ROMÁN R. M.; PAULINO J. & GONZÁLES A.M.G.O. Minimização da erosão em função do tamanho e localização das áreas de floresta no contexto do programa “conservador das águas. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:2157-2166, 2011.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo convencional e a ausência de práticas conservacionistas afetam a perda de solos devido à exposição destes a ação erosiva direta das chuvas, conjugada ao efeito da declividade e comprimento de rampa que aceleram e imprimem fluxo turbulento ao escoamento superficial, aumentando seu poder de erosão, assim, o manejo utilizado pode promover a dilapidação do capital natural da região. Considerando a importância da região de Alfenas para o abastecimento de água, energia e *commodities* da agropecuária, o estudo demonstrou que a utilização do manejo convencional em detrimento do manejo conservacionista, pode afetar a disponibilidade e produção destes recursos.

A área estudada apresentou erosão média de $4,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com 31,7%, ou seja, 854, 49 ha da área total com valores acima do limite de tolerância de perda de solo, contudo, quando consideramos apenas os usos agropecuários, 52,35 % da sub-bacia supera tal limite. Isto indica que as áreas agropecuárias, devido aos usos e manejos convencionais, expõem os solos à ação das chuvas que possuem alta erosividade na região, e tendem a acelerar a erosão, aumentando as áreas acima da tolerância de perdas de solos para as unidades de latossolos, que foi de $10,45 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd1; de $9,35 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd2 e de $9,14 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a LVd3.

A comparação entre os atributos dos solos sob usos agropecuários e mata, apontam para a redução no teor de matéria orgânica no uso antrópico, com reflexos no tamanho e grau de estrutura, no Diâmetro Médio Geométrico e Ponderado, o que pode estar relacionado ao aumento da erosão sob manejo convencional, acima dos limites de tolerância de perdas de solos.

A sub-bacia apresenta uma suscetibilidade de perda de solos total de $13.200 \text{ t ano}^{-1}$, as maiores perdas de solos ocorrem nas áreas de pastagem e eucalipto com, respectivamente, 6,969 e 2.938 t ano^{-1} , ou seja, 52 e 22 % da erosão total da área. Porém, quando considerada a perda média por tipo de usos, é verificado que as áreas mais suscetíveis à erosão hídrica são as de solos expostos as de batata e de eucalipto e as menos suscetíveis são as áreas de matas, de várzea e urbana.

As perdas acima do limite de tolerância de perda de solo (TPS), quando consideradas as classes de erosão, ficam principalmente entre $10 \text{ e } 25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e ocorrem nas áreas de plantio com manejo convencional, principalmente, de eucalipto, batata, milho, cana-de-açúcar e pastagens. Já as perdas entre $25 \text{ e } 100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ estão, sobretudo, em áreas

de manejo convencional de eucalipto, batata e em algumas áreas de pastagens, milho, café e cana-de-açúcar, resultado da conjugação entre os fatores uso e manejo e topográfico.

As perdas de solos sob eucalipto estão relacionadas aos quatro primeiros anos de desenvolvimento da planta, quando a cobertura do solo pelo dossel é baixa. Além disso, as áreas usadas normalmente são íngremes, exigindo manejos e práticas conservacionistas eficazes, como, por exemplo, o terraceamento e o plantio em nível.

Nas áreas de culturas temporárias, a adoção de técnicas de cultura em nível e de plantio direto, entre outras, pode ajudar na mitigação à erosão. As elevadas perdas de solos associadas às pastagens resultam das queimadas e do superpastejamento e poderiam ser corrigidas com a adoção de piquetes e ou diminuição do número de cabeças de gado por hectare e ou calagem dos solos. O adensamento dos espaçamentos nas culturas, também é considerado uma maneira eficiente tanto de se aumentar a produtividade, quanto de reduzir a erosão.

A estimativa da suscetibilidade à erosão de $13.200 \text{ t ano}^{-1}$ na sub-bacia do Pedra Branca é fator que contribui para elevar as taxas de assoreamento do reservatório de Furnas, com possíveis impactos negativos na capacidade de geração de energia elétrica.

Contudo, o cenário simulado da erosão sob manejos conservacionistas reduziria a erosão total de $13.200 \text{ t ano}^{-1}$ para 3.653 t ano^{-1} e indica que é possível produzir, mitigando os impactos deletérios e apontam, ainda, que o sistema de plantio direto seria o mais eficaz no combate à erosão. Aliado a isso, a colheita da cana-de-açúcar sem queimadas, o arruamento mais adensado para os cafezais e a adoção de curvas de nível no plantio de batata e eucalipto também colaboraria, para redução das taxas de erosão. Desse modo, a simulação de manejos conservacionistas indica que a adoção destas medidas pode modificar este quadro e promover a produção de alimento e energia de forma sustentável.