

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

HENRIQUE MENDES JÚNIOR

**MODELAGEM DA EROSÃO HÍDRICA EM LATOSSOLOS SOB CULTURA DE
CAFÉ**

Alfenas / MG

2017

HENRIQUE MENDES JÚNIOR

**MODELAGEM DA EROSÃO HÍDRICA EM LATOSSOLOS SOB CULTURA DE
CAFÉ**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG. Área de concentração: Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato
Coorientador: Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva (UFLA).

Alfenas / MG

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Alfenas

Mendes Júnior, Henrique.

Modelagem da erosão hídrica em Latossolos sob cultura de café /
Henrique Mendes Júnior. -- Alfenas - MG, 2017.
59 f.

Orientador: Ronaldo Luiz Mincato.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal
de Alfenas, 2017.
Bibliografia.

1. Conservação de Terras. 2. Erosão do Solo. 3. Tolerância de Perda de
Solo. I. Mincato, Ronaldo Luiz. II. Título.

CDD-551.302



HENRIQUE MENDES JÚNIOR

“Modelagem da erosão hídrica em Latossolos sob cultura de café”

A Banca julgadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Aprovado em: 22 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Walbert Junior Reis dos Santos

Instituição: IFSULDEMINAS

Assinatura: 

Prof. Dr. Breno Régis Santos

Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura: 

Dedico a Deus, à Nossa Senhora,
à minha noiva, à família e aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e à Nossa Senhora, pela proteção, força nas dificuldades e estarem sempre ao meu lado mostrando o melhor caminho!

À Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade em adquirir grande conhecimento nesses dois anos de estudo. Estendo este agradecimento às pessoas da secretaria do programa, que sempre me atenderam com prestatividade.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato, pela confiança, paciência e conhecimentos passados.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva (DCS – UFLA), pelos ensinamentos e paciência com minhas dúvidas.

Ao Prof. Dr. Breno Régis Santos, pelo apoio nas horas de dificuldades, confiança e paciência no caminho.

Ao Prof. Dr. Walbert Júnior Reis dos Santos, pelo apoio e ensinamentos sobre o mapeamento digital de solos.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, UFLA, pela acolhida nas análises laboratoriais, em especial à Dulce, Dorotheo, Pedro, Danielle, Diego e Fábio, pela paciência e ensinamentos. Ao Wesley Pires pelo suporte com a estadia em Lavras.

À Ipanema Agrícola S.A. (Ipanema Coffees), pela parceria, em especial ao Lucas Carvalho Teixeira e ao Antônio Carlos Michelotto, pela confiança e apoio na área de estudo.

Aos colegas de mestrado André, Lucas, Rodrigo, Natanael, Augusto e Gustavo, pela força e auxílio. Em especial, ao André pela parceria nos estudos na área de pesquisa.

Aos amigos do Grupo de Oração Universitário (GOU), pelas orações e amizade nesses anos de caminhada.

Aos amigos ao longo da vida, que torceram, torcem e torcerão sempre pelo sucesso dessa profissão que escolhi que é defender o meio ambiente usando a ciência.

À minha linda noiva Alessandra, pelo amor, paciência, conselhos e apoio nas dificuldades. Te amo!

À minha família que amo muito, meus avós, tios, primos, cunhado e cunhadas, sogro e sogra, em especial, à minha mãe Maria Auxiliadora, ao meu pai Henrique e aos meus irmãos Helder, Helisson e Herbert, pelo apoio incondicional!

Obrigado a todos!

"E, ajuntando-se uma grande multidão, e vindo de todas as cidades ter com ele, disse por parábola: Um semeador saiu a semear a sua semente e, quando semeava, caiu alguma junto do caminho, e foi pisada, e as aves do céu a comeram; e outra caiu sobre pedra e, nascida, secou-se, pois que não tinha umidade; e outra caiu entre espinhos e crescendo com ela os espinhos, a sufocaram; e outra caiu em boa terra, e, nascida, produziu fruto, a cento por um. Dizendo ele estas coisas, clamava: Quem tem ouvidos para ouvir, ouça." Lc 8: 4-8

RESUMO

O solo é um dos principais recursos naturais para a manutenção da vida e dos ecossistemas terrestres. Contudo, problemas relacionados ao uso e manejo inadequados podem acelerar os impactos da erosão hídrica. As perdas de solo e água neste processo causam o carreamento de nutrientes essenciais para o crescimento e manutenção das plantas com interferência na sustentabilidade agropecuária e ambiental. Além disso, podem acarretar impactos nos corpos d'água com o assoreamento e a eutrofização. A estimativa das perdas de solo pela erosão hídrica em sub-bacias hidrográficas é essencial na predição do estágio de degradação do solo, sobretudo em áreas de semi-intensivo cultivo, como as de café. Assim, o objetivo deste trabalho foi modelar as perdas de solo em relação ao limite da Tolerância de Perda de Solo nos Latossolos Vermelho Distróficos sob plantio de café. O estudo foi conduzido de março de 2015 a janeiro de 2017 na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Município de Alfenas, na região Sul de Minas Gerais, Sudeste do Brasil. As perdas de solo por erosão hídrica foram estimadas pela *Revised Universal Soil Loss Equation* e comparadas à Tolerância de Perda de Solo. Para tanto, foram utilizados os atributos morfológicos, físicos e químicos do solo, bem como de técnicas de geoprocessamento, imagens de sensoriamento remoto e dados da literatura especializada. Os resultados demonstram perdas de solo entre 0,01 e 18,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 1,52 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A Tolerância de Perda de Solo variou de 5,19 a 5,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com 7,35 % da área com perdas acima do limite mínimo. As áreas com declives mais acentuados e ausência de práticas conservacionistas são decisivas para o aumento das perdas de solo acima da Tolerância de Perda de Solo, sendo prioritárias para a adoção de medidas mitigatórias dos efeitos erosivos. A *Revised Universal Soil Loss Equation* possibilitou modelar a erosão hídrica e identificar, com rapidez, as áreas com as maiores taxas de perdas de solo, o que contribui para a avaliação e conservação dos solos em bacias e sub-bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Perdas de Solo. RUSLE. Tolerância de Perda de Solo.

ABSTRACT

Soil is one of the main natural resources for maintaining life in terrestrial ecosystems. However, problems related to improper use and management can accelerate the impacts of water erosion. The losses of soil and water in this process cause the carrying of nutrients essential for the growth and maintenance of the plants with interference in agricultural and environmental sustainability. In addition, they can have impacts on water bodies through silting and eutrophication. The estimation of soil losses by water erosion in sub-basins is essential in predicting the soil degradation stage, especially in areas of semi-intensive cultivation, such as coffee. Thus, the aim of this work was to estimate soil losses in relation to the limit of Soil Loss Tolerance in the Red Oxisols Dystrophic under coffee plantation. The study was conducted from March 2015 to January 2017 in the Córrego da Laje Hydrographic Sub-basin, in the municipality of Alfenas, in the southern region of Minas Gerais, Southeastern Brazil. Soil losses due to water erosion were estimated by Revised Universal Soil Loss Equation and compared to Soil Loss Tolerance. For that, the morphological, physical and chemical attributes of the soil were used, as well as geoprocessing techniques, remote sensing images and specialized literature data. The results show soil losses between 0.01 and 18.77 Mg ha⁻¹ year⁻¹, with an average of 1.52 Mg ha⁻¹ year⁻¹. The Soil Loss Tolerance ranged from 5.19 to 5.90 Mg ha⁻¹ year⁻¹, with 7.35% of the area with losses above the minimum limit. Areas with steeper slopes and absence of sustainable practices are decisive for the increase of soil losses above soil loss tolerance, being priority for the adoption of mitigating measures of erosive effects. The Revised Universal Soil Loss Equation has been able to model water erosion and identify the areas with the highest rates of soil loss quickly, which contribute to the assessment and conservation of soils in watersheds and sub-basins.

Keywords: Soil loss. RUSLE. Soil Loss Tolerance.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa da localização e de uso do solo da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje..... 56
- Figura 2 - (A) Mapa de Declividade com os locais de coleta de solos em mata nativa (MN) e café (CA). (B) Mapa Digital de Solos contendo as seguintes unidades de mapeamento: Latossolo Vermelho Distrófico em relevos plano a suave ondulado (LVD1), ondulado (LVD2) e forte ondulado (LVD3); Solos Indiscriminados de Várzea (SIV). (C) Mapa da classificação das perdas de solo por erosão hídrica adaptado de Beskow et al. (2009). (D) Mapa da porcentagem das áreas abaixo e acima do limite da Tolerância de Perda de Solo (TPS) com base nas perdas variando de 5,19 a 5,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ 56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Valores do fator K e das variáveis para cálculo indireto da erodibilidade.....	55
Quadro 2 -	Fatores C e P para os usos e manejos verificados.....	55
Quadro 3 -	Valores das Perdas de solo nas distintas Classes de Uso do Solo.....	55

SUMÁRIO

PARTE 1	11
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 A LAVOURA CAFEIEIRA NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	13
2.2 PERDAS DE SOLO POR EROÇÃO HÍDRICA.....	13
2.3 ESTIMATIVA DA EROÇÃO HÍDRICA PELA RUSLE.....	16
2.3.1 Fator R – Erosividade da Chuva.....	17
2.3.2 Fator K – Erodibilidade do Solo.....	18
2.3.3 Fator LS – Topografia.....	20
2.3.4 Fator C – Cobertura do Solo.....	21
2.3.5 Fator P – Práticas Conservacionistas.....	22
2.4 TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO.....	23
2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS E A COBERTURA VEGETAL.....	24
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
REFERÊNCIAS	26
PARTE 2	33
ARTIGO: MODELAGEM DA EROÇÃO HÍDRICA EM LATOSSOLOS SOB CULTURA DE CAFÉ	34
INTRODUÇÃO	36
MATERIAIS E MÉTODOS	38
Determinação dos fatores da RUSLE	40
Determinação da tolerância de perda de solo	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÕES	46
AGRADECIMENTOS	47
REFERÊNCIAS	47
COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO	57
PARTE 3	58
CONCLUSÕES GERAIS	58

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

O solo exerce papel fundamental como um dos principais recursos naturais para os ecossistemas terrestres e, especialmente, para a vida humana. Assim, o uso e manejo adotados influenciam na dimensão das perdas de solo por processos erosivos e na manutenção de sua sustentabilidade (PANAGOS et al., 2015a).

A erosão do solo é um dos graves problemas que afetam o equilíbrio do meio ambiente, pois deteriora sua fertilidade e afeta drasticamente as práticas agrícolas (BALASUBRAMANI et al., 2015; WANG et al., 2016). Nas regiões tropicais, a chuva é o principal agente da erosão hídrica que atua, naturalmente na modelagem do relevo pela remoção, arraste e sedimentação do solo, normalmente assoreando os corpos d'água (CÂNDIDO et al., 2014).

A erosão hídrica, acelerada pela ação antrópica é abordada, globalmente, como um dos riscos mais severos de degradação das terras destinadas à agropecuária que leva à perda de solo e água ricos em nutrientes essenciais às plantas (GANASRI; RAMESH, 2015; PANAGOS et al., 2014a) e pode elevar as perdas de solo maiores do que o limite da Tolerância de Perda de solo – TPS, de cada área (AYER et al., 2015). Além disso, afeta de forma deletéria o abastecimento de água diminuindo a disponibilidade nos reservatórios pelo assoreamento dos corpos d'água e perda da qualidade pela eutrofização (OLIVEIRA; SERAPHIM; BORJA, 2015). Dessa forma, compreender a dinâmica da erosão hídrica é essencial para a investigação e avaliação do real estado de degradação dos solos de determinada área (KIM; IVANOV; FATICHI, 2016).

Para avaliar a erosão hídrica, modelos empírico-estatísticos foram desenvolvidos com o objetivo de quantificar as perdas de solo (AMORIN et al., 2010). Dentre estes modelos, merecem destaque a Equação Universal de Perdas de Solo, do inglês *Universal Soil Loss Equation* (USLE) desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978) e a Equação Universal de Perdas de Solo Revisada, do inglês *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) de Renard et al. (1997). A RUSLE é uma revisão da USLE, pela adição de sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto e métodos geoestatísticos para estimar as perdas de solo. Este modelo vem sendo o mais utilizado no mundo e no Brasil para modelar a erosão hídrica

em diversas escalas, devido à simplicidade da sua formulação e a rapidez na obtenção dos resultados (AYER et al., 2015; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; OLIVETTI et al., 2015; PANAGOS et al., 2015c; RENARD et al., 1997).

Os cálculos dos limites da TPS aliados à modelagem das perdas de solo permitem avaliar com mais acurácia o estado de degradação das terras agrícolas e indica a perda de solo máxima admissível por tipo de solo, para que mantenham uma produção econômica viável em longo prazo (SANTOS; BLANCO; PESSOA, 2015). No Brasil, o método proposto por Bertol e Almeida (2000) é o mais utilizado para o cálculo da TPS, devido considerar um maior número de atributos do solo à facilidade da obtenção dos mesmos (OLIVEIRA et al., 2011; OLIVETTI et al., 2015).

Na região do Sul de Minas está situada uma das maiores áreas mundiais de produção do café, que possui inegável importância histórica e econômica para o Brasil. Esta produção usa o solo de maneira semi-intensiva e extensiva, porém sem preocupações com as perdas de solo por erosão hídrica. Merece destaque, por exemplo, Carvalho et al. (2007) que avaliaram a erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo.

Assim, a modelagem das perdas de solo e a identificação das áreas propícias à erosão hídrica são fundamentais para avaliar o estágio de degradação das terras com cultivo semi-intensivo e extensivo, como as do cafeeiro, produzindo conhecimentos para subsidiar a tomada de decisão sobre as melhores práticas de uso e manejo do solo.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi modelar as perdas de solo por erosão hídrica pela RUSLE e comparar ao limite da TPS nos Latossolos Vermelho Distróficos sob plantio de café na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Município de Alfenas, na região Sul do Estado de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados dados da lavoura de café no Estado de Minas Gerais, temas relacionados à erosão hídrica, o modelo RUSLE, a Tolerância de Perda de Solo e o papel da vegetação para a conservação do solo em bacias hidrográficas.

2.1 A LAVOURA CAFEIEIRA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

A produção de café ocupa, atualmente, 2,22 milhões de hectares das terras do país, com destaque para a espécie arábica com 83,18% da área. O Estado de Minas Gerais detém a maior área em plantio de café arábica do Brasil com 1.184.196 ha, representando 67,42% da área total de cultivo dessa espécie no país (CONAB, 2016). A produção de café de Minas Gerais, estimada para a safra 2016, foi de 28.936.531 sacas, sendo 28.618.100 sacas de arábica e 318.431 sacas de conilon, com oscilação de 2,56% para mais ou para menos.

As regiões Sul e Centro-Oeste de Minas Gerais, com área de plantio das espécies arábica e conilon de 523.506 ha, concentram grande parte da produção cafeeira mineira, com estimativa de 15.346.824 sacas (CONAB, 2016). A produtividade média do café da região encontra-se em segundo lugar no Estado com 29,32 sacas ha⁻¹, atrás, apenas da região do Cerrado Mineiro (Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste) com 37,73 sacas ha⁻¹.

O Município de Alfenas - MG manteve sua economia centrada na cultura cafeeira até meados do último século, não só em termos de produção como também em área cultivada, que no ano de 2015 contava com 9.700 ha (IBGE, 2015). Assim, estudos que modelam as perdas de solo por erosão hídrica nos cultivos de café são importantes para avaliar o atual estágio de conservação ou de degradação dos solos utilizados nesse plantio.

2.2 PERDAS DE SOLO POR EROSÃO HÍDRICA

A erosão hídrica inicia com o impacto da gota de chuva no solo, causando o deslocamento das partículas e desagregação da estrutura, seguidos pelo carreamento do material com maior ou menor intensidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Segundo Wischmeier e Smith (1978), este carreamento depende da força cinética da chuva, da resistência do solo à erosão, da geomorfologia da área, da cobertura vegetal e das práticas de conservação adotadas no uso e manejo do solo. O material erodido pode ser depositado nos

corpos d'água causando o assoreamento e alterando a dinâmica fluvial do rio (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

Na erosão natural, o equilíbrio entre o material erodido é compensado pela formação natural do solo, porém não na escala de tempo humana (MORGAN; NEARING, 2011). Portanto, a ação antrópica, com práticas inadequadas de apropriação no uso do solo pelas mudanças na cobertura vegetal pode iniciar ou acelerar a erosão hídrica (BRADY; WEIL, 2013). Além disso, o processo de degradação do solo, com taxas de perdas maiores do que as de sua formação natural, modifica a dinâmica da paisagem e prejudica a produtividade dos recursos naturais (ALEWELL; EGLI; MEUSBURGER, 2015).

A degradação dos solos pela erosão contribui para diminuir a fertilidade pelo carreamento da camada superficial do solo e da água, ricos em nutrientes e carbono orgânico, acarretando grandes prejuízos para as atividades econômicas do setor agropecuário brasileiro e para os ecossistemas (EDUARDO et al., 2013).

As formas mais conhecidas da erosão hídrica são: laminar, em sulcos e voçoroca. A erosão laminar caracteriza-se pelo carreamento da camada superficial do solo, com a perda da camada fértil de terra, sendo, na maioria das vezes, imperceptível e por isso é considerada a mais perigosa. Na erosão em sulcos são percebidas pequenas irregularidades em rachaduras no declive do terreno, provenientes da concentração da enxurrada em determinadas linhas de escoamento. Já nas voçorocas os sulcos são ampliados após anos de enxurradas locais, atingindo dezenas de metros de profundidade, geralmente alcançando o lençol freático. É a forma mais visível de erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A erosão hídrica laminar, acelerada pelas ações antrópicas é objeto de estudo da Ciência do Solo. Modelos de predição das perdas de solo por erosão hídrica vêm sendo desenvolvidos e aprimorados desde a década de 1940 com a criação das primeiras equações empíricas na região de Corn Belt dos Estados Unidos. Desses estudos, merecem destaque Zingg (1940), que relacionou a intensidade das perdas de solo com a topografia do terreno (comprimento e grau do declive); Smith (1941), que acrescentou o fator prática conservacionista e cultura; e Browning et al. (1947), que acrescentaram os fatores erodibilidade e manejo do solo. Esses estudos produziram a Equação de Corn Belt (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Em 1946, uma comissão nacional dos Estados Unidos se reuniu em Ohio e reestudou cada fator das equações anteriores em separado e acrescentou o fator chuva, criando a equação de Musgrave (1947), que tinha por objetivo estimar a erosão hídrica em bacias hidrográficas (RENARD et al., 1997). Entretanto, essa equação apresentava limitações de

adaptação para outras localidades devido às características distintas da distribuição das chuvas, do uso e manejo do solo, do relevo e das propriedades dos solos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Em 1954, a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation - USLE*) foi desenvolvida no *Runoff and Soil-Loss Data Center* do Serviço de Pesquisa em Agricultura da Administração de Ciência e Educação em cooperação com a Universidade de Purdue, nos Estados Unidos, para superar as dificuldades climáticas e de localização enfrentadas pelas equações anteriores (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A USLE foi atualizada por Wischmeier e Smith (1978), para fornecer orientações específicas para o controle da erosão dentro dos limites especificados de cada pesquisa, com a possibilidade de se trabalhar com parcelas padrões.

No Brasil, os estudos com a USLE foram iniciados por Bertoni, Lombardi Neto e Benatti Jr (1975) que utilizaram os dados existentes para as condições do Estado de São Paulo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). As pesquisas de Barreto, Barros e Sparovek (2008) estudaram as publicações científicas relacionadas à erosão hídrica do solo, a partir de uma análise bibliométrica, histórica e geográfica com 225 artigos publicados no período de julho de 1949 a abril de 2007. Esse trabalho concluiu que a grande parte das pesquisas brasileiras nesse tema foi realizada a partir da década de 1990 e a produção científica estava concentrada em instituições e autores dos estados do sul e sudeste do Brasil. Ao mesmo tempo, os autores destacaram a predominância do modelo USLE para a estimativa da erosão hídrica com adaptações para os tipos de solos, uso da terra e as condições climático-ambientais do Brasil.

Após os estudos de Wischmeier e Smith (1978), a USLE foi revisada por Renard et al. (1997), sendo desenvolvida a RUSLE com a implementação de técnicas de sistema de informação geográfica, sensoriamento remoto e métodos geoestatísticos, para uma predição mais acurada dos fatores da fórmula. Cabe ressaltar que a USLE e a RUSLE possuem a mesma formulação, porém com procedimentos distintos para obtenção de cada fator. A RUSLE é utilizada como ferramenta de predição da erosão hídrica por pesquisadores do mundo todo, em diferentes regiões e escalas espaciais, devido à sua modesta demanda de dados e de estrutura compatível com aplicações de SIG, bem como na rapidez da modelagem das perdas de solo (AYER et al., 2015; OLIVETTI et al., 2015; PRASANNAKUMAR et al., 2012; UDDIN et al., 2016).

A erosão hídrica do solo é um problema de social, econômico e ambiental que causa altas taxas de perdas de solo maiores do que as de formação do solo, que é de cerca de 1 Mg

ha⁻¹ ano⁻¹ de conversão do material parental em horizontes A, E e B com riscos à segurança alimentar e aos ecossistemas terrestres (CÂNDIDO et al., 2014; PIMENTEL et al., 1995).

As perdas de solo por erosão no mundo são extremamente variáveis. Locais com práticas conservacionistas no manejo e uso sustentável do solo como os Lagos Pelham e Moom, situados em duas reservas ambientais do Estado de Virgínia nos Estados Unidos, contabilizam baixas perdas de solo médias de 2,15 e 2,72 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (CLARK et al., 2015). Já locais com uso intensivo do solo sem práticas conservacionistas, possuem perdas de solo maiores. Esse é o caso de duas bacias hidrográficas da África com perdas de 35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para a Bacia White Volta, situada em Gana e Burkina Faso, e de 75 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para a Bacia do Rio Nilo, no nordeste africano (TAMENE; LE, 2015). Na União Europeia, menores resultados foram observados com perda de solo média de 2,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas agrícolas, florestais e seminaturais, demonstrando eficiência no manejo conservacionista (PANAGOS et al., 2015b). Em áreas onde se têm distinções no manejo do solo, mesclando práticas conservacionistas e convencionais, como na América do Sul, a média de perdas de solo variam entre 30 e 40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (PIMENTEL et al., 1995). No Brasil, pesquisas apontam perdas de solo variando de 15 a 25 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ nas terras agricultáveis do país (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Pelo exposto, são notórios os impactos da degradação antrópica no uso do solo do planeta, com perdas de solo e água insustentáveis para a manutenção dos recursos naturais. Portanto, são urgentes as melhorias no manejo visando garantir, principalmente, a segurança alimentar global e a sustentabilidade dos ecossistemas.

2.3 ESTIMATIVA DA EROÇÃO HÍDRICA PELA RUSLE

Dentre os modelos de predição de perda de solo, a RUSLE é o que melhor se adapta por ter aplicação simples e trabalhar com técnicas de geoprocessamento na estimativa da perda de solo (RENARD et al., 1997). A RUSLE é expressa pela equação 1:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: A = perda de solo média anual, em Mg ha⁻¹ ano⁻¹; R = fator erosividade da chuva, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; K = fator erodibilidade do solo, em Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; LS = fator topográfico, adimensional; C = fator cobertura do solo, adimensional; P = fator práticas conservacionistas, adimensional.

2.3.1 Fator R – Erosividade da Chuva

O fator R representa a erosividade da chuva, medindo sua capacidade de causar erosão e perda de solo em determinada área. Os cálculos do fator R geralmente são feitos a partir do Índice de Erosão (EI_{30}), sendo representado pelo produto da energia cinética (EC) das gotas pluviais pela intensidade máxima em trinta minutos (I_{30}), levando em consideração o impacto causado no solo, o salpico e o escoamento superficial (WISCHMEIER; SMITH, 1978; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A energia cinética da chuva é expressa pela equação 2 (WISCHMEIER; SMITH, 1958):

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: EC é a energia cinética em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; I é intensidade em mm h^{-1} .

Para medir o EI_{30} , Wischmeier e Smith (1958) propuseram a seguinte equação:

$$EI_{30} = Ec \times I_{30} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: EI_{30} é o índice de erosão em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ h}^{-1}$; Ec é a energia cinética da chuva em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; I_{30} é a intensidade máxima em 30 minutos, em mm h^{-1} .

A soma isolada dos valores de EI de cada chuva, em dado período, proporciona uma avaliação numérica da erosividade da chuva, e a soma anual de todos os valores de EI para chuvas maiores do que 10 mm, ou menores, que proporcionaram considerável perdas de solo, em dado local, é igual ao valor anual de EI. Dessa forma, o valor do fator R para cada local é a média dos valores anuais de EI de um período longo de tempo, geralmente 20 anos ou mais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

As principais dificuldades na determinação do fator R estão na baixa disponibilidade de registros pluviográficos sobre a intensidade da chuva em alguns países e na morosidade para estimar a energia cinética da chuva pelas análises dos diagramas dos Pluviógrafos, na qual, muitos pesquisadores correlacionaram o EI com fatores climáticos de fácil medida e que não necessitam dos registros de intensidade da chuva (AQUINO et al., 2012; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Além disso, foram instaladas em algumas localidades do Brasil estações climatológicas automáticas que permitem registros de dados pluviométricos detalhados, que auxiliam as pesquisas relacionadas (OLIVETTI et al., 2015).

Diversos trabalhos conseguiram acurácia ao correlacionar o fator R com o coeficiente de Fournier ajustando sua aplicação às condições climáticas locais (SILVA, 2004; MELLO et

al., 2007; AQUINO et al., 2012; FERNANDES, 2014). De acordo com Zachar (1982), o coeficiente de Fournier é apresentado pela equação:

$$EI = p^2 / P \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: EI = Média mensal do índice de erosão (fator R da USLE); p^2 = precipitação média mensal, em mm; P = precipitação média anual, em mm.

O fator R para os Estados Unidos e Brasil, foi mapeado, respectivamente por Wischmeier e Smith (1978) e Silva (2004). Bertoni e Lombardi Neto (2012) publicaram o mapa isoerodente para o Estado de São Paulo, com as linhas representando os valores médios anuais de erosividade da chuva. Para a região Sul do Estado de Minas Gerais, o fator R foi determinado por Aquino et al. (2012) aplicando a equação de Fournier com método interpolador de krigagem ajustada para Lavras – MG, a partir de dados obtidos de cinquenta e quatro estações pluviométricas, com séries históricas que variavam de quinze a quarenta anos. Estes dados têm sido aplicados em pesquisas sobre a erosão hídrica realizadas na região, como por exemplo, Dias et al. (2013) que avaliaram plantas de cobertura no controle da erosão hídrica em Lavras-MG e concluíram que o feijão-de-porco cultivado em nível obteve os menores valores de perdas de solo; Ayer et al. (2015) que estimaram a Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos Distróficos no Município de Alfenas-MG, concluindo que as maiores perdas de solo ocorrem nas áreas do eucalipto em plantio morro abaixo e pastagem sob lotação contínua; e Olivetti et al. (2015) que, também no município de Alfenas-MG, realizaram a Modelagem espacial e temporal da erosão hídrica em Latossolo Vermelho Distrófico com resultados apontando que as áreas com perda de solo acima do limite da TPS foram de cerca de 8,0%.

2.3.2 Fator K – Erodibilidade do Solo

O fator K relaciona à suscetibilidade do solo em sofrer a erosão hídrica a partir de suas propriedades morfológicas, mineralógicas, físicas, químicas e biológicas (BRADY; WEIL, 2013). Dentre essas propriedades, as principais características do solo que influenciam a erosão são: teor de matéria orgânica, textura, estrutura e permeabilidade do solo, além dos teores de ferro e de alumínio (PANAGOS et al., 2014b; TAMENE; LE, 2015; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator K, desde os primeiros cálculos da USLE, vem sendo determinado por métodos diretos, com a instalação de parcelas padrão com 22,3 m de comprimento no sentido do declive de 9%, com solo exposto sujeito à ação de chuva natural (RENARD et al., 1997).

Entretanto, este procedimento dificulta a determinação da erodibilidade por depender do período de ocorrência das chuvas, de vários anos de coleta de dados e dos altos custos de obtenção dos dados (PANAGOS et al., 2014b; SILVA et al., 1999). Dessa forma, muitos pesquisadores modificam o procedimento com o uso de chuva simulada, para maior rapidez na obtenção dos resultados; porém, ainda existe a necessidade de maior praticidade de operação para que essa simulação possa ser usada em diferentes unidades de mapeamento de solos de vários locais (MARQUES et al., 1997). Nesse contexto, muitos trabalhos foram desenvolvidos com o uso de modelos de regressões matemáticas que utilizam os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo na obtenção do fator K (AUERSWALD et al., 2014; DENARDIN, 1990; MARQUES et al., 1997; SILVA et al., 1999).

A obtenção da erodibilidade do solo por métodos indiretos tem sido utilizada com sucesso nos EUA, porém os métodos norte-americanos não apresentam resultados satisfatórios para os solos brasileiros (DENARDIN, 1990; SILVA et al., 2000). A principal inadequação se refere às distinções entre os atributos dos solos das regiões temperadas e tropicais, principalmente no que diz respeito à textura, à estrutura e a mineralogia dos Latossolos brasileiros (SILVA et al., 1999).

Modelos matemáticos foram desenvolvidos por Denardin (1990) para estimar a erodibilidade dos solos do Brasil e do Brasil / EUA. Para o autor, o fator K dos solos brasileiros pode ser obtido tanto pelo modelo ajustado para o conjunto de solos Brasil / EUA, quanto pelo modelo ajustado a partir de variáveis dos solos do Brasil (SILVA et al., 1994). Silva et al. (1994) avaliaram seis métodos indiretos e compararam com o método direto com simulador de chuva em Latossolos de Cerrado. Dentre eles, os dois modelos citados de Denardin (1990) e concluíram que, apesar dos métodos indiretos não estimarem a erodibilidade dos solos pesquisados com exatidão, o modelo Brasil / EUA (DENARDIN, 1990) é o que mais se aproximou do padrão e proporção do modelo direto. No entanto, mesmo com a adaptação ao ambiente tropical, os métodos de Denardin (1990) não se mostraram adequados, devido à grande heterogeneidade dos solos do Cerrado (MARQUES et al., 1997; SILVA et al., 1999).

Nesse cenário, Silva et al. (1999) desenvolveram cinco modelos de estimativa indireta do fator K em dezenove Latossolos a partir de variáveis morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, em vários estados do Brasil, na qual, os modelos foram ajustados por análise de regressão linear múltipla. Os autores concluíram que os cinco modelos indiretos de equações apresentam bom desempenho para a estimativa da erodibilidade dos Latossolos

brasileiros e possuem variáveis de fácil determinação em campo e laboratorial. Entretanto, restringiram o uso dos modelos apenas às classes de Latossolos, devido às equações trabalharem com atributos específicos dessa classe de solo.

2.3.3 Fator LS – Topografia

O efeito da topografia na erosão hídrica do solo é representado pelo produto entre os fatores L e S da RUSLE (YANG, 2015). O fator L é a razão de perdas de solo num comprimento de rampa qualquer em campo, comparada à perda num comprimento de rampa padrão de 22,3 metros em condições idênticas. Já o fator S é a razão de perdas de solo em um determinado declive e a perda correspondente em um declive com 9% de inclinação em condições idênticas, sendo que, para aplicação prática da RUSLE são considerados conjuntamente como um único fator topográfico LS (WISCHMEIER; SMITH, 1978; PANAGOS; BORRELLI; MEUSBURGER, 2015). De acordo com Wischmeier e Smith (1978), o fator L (comprimento do declive) representa a distância do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto em que cada gradiente do fator S (declividade) diminui suficientemente para se concentrar num único canal ou iniciar a deposição dos sedimentos. Com o aumento do comprimento da rampa (fator L) e da declividade (fator S) as perdas de solo são intensificadas devido à maior velocidade do fluxo d'água pela enxurrada (OLIVEIRA et al., 2013).

Para aplicação da RUSLE é essencial o cálculo dos índices topográficos, comprimento de rampa L e declividade S, pois a topografia é condicionante das características de um ambiente, controlando os fluxos de energia (aspecto das vertentes, distribuição de chuvas) e materiais (sedimentos, água, nutrientes e poluentes) (MOORE; GRAYSON; LADSON, 1991).

A determinação do fator LS, primeiramente na USLE (LS_{USLE}), foi baseada em parcela padrão (22,3 metros e 9% de declive) com relevo retilíneo e uniforme, possuindo limitações de aplicação em áreas de relevos complexos ou extensos, como em Bacias Hidrográficas, pois desconsiderava os declives côncavo, convexo ou côncavo-convexo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Além disso, dificulta a identificação da formação inicial do escoamento e os locais de deposição, ficando impraticável a determinação do fator LS em grandes áreas (MINELLA; MERTEN; RUHOFF, 2010). Assim, Renard et al. (1997) propuseram adaptações para os cálculos empíricos do fator LS na RUSLE (LS_{RUSLE}) baseados em análises de processos de erosão com técnicas de geoprocessamento aplicadas a um campo de maior extensão do que aqueles trabalhados na USLE. Entretanto, seus cálculos são considerados

limitados quanto à avaliação do escoamento superficial no processo erosivo, no que tange à diferenciação predominante entre os processos de erosão e deposição, pois tal característica permite identificar apenas o início e o final do comprimento de uma longa encosta (OLIVEIRA et al., 2013).

Para Oliveira et al. (2013), o avanço dos SIG e do SR permitem superar as limitações dos modelos empíricos na determinação do fator LS com modelos semi-empíricos e conceituais como a $LS_{RUSLE\ 3D}$ (*Revised Universal Soil Loss Equation-3D*) (MITASOVA et al., 2001) e LS_{USPED} (*Unit Stream Power-based Erosion Deposition*) (MOORE; WILSON, 1992). Nesses modelos, é usado o Modelo Digital de Elevação (MDE) e algoritmos computacionais na avaliação da erosão, permitindo maior acurácia na determinação da topografia do terreno pela substituição do comprimento da rampa (fator L) pela área de contribuição à montante para cada *pixel* do MDE, o que permite o uso dos fluxos de direção e de acumulação do escoamento superficial para a definição da drenagem (MITASOVA et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2013).

Na pesquisa de Oliveira (2011) foram testados modelos que melhor representam a realidade da taxa de perda de solo por erosão hídrica comparando os resultados com as perdas de solo obtidas em parcela padrão. A autora observou que as perdas de solo estimadas pelos modelos $LS_{RUSLE\ 3D}$ e LS_{USPED} geraram uma distribuição da erosão hídrica ponderada pelo fluxo acumulado, não apresentando diferenças estatísticas com os resultados apresentados na parcela padrão.

A incorporação de conhecimentos técnicos de Geoprocessamento com a utilização do MDE, desde de 1990, foi importante contribuição para a determinação do fator LS nos trabalhos de modelagem da erosão hídrica do solo (VAN REMORTEL; MAICHLE; HICKEY, 2004; MINELLA et al., 2010).

2.3.4 Fator C – Cobertura do solo

O fator C representa o uso e manejo do solo e, dentre os fatores da erosão hídrica, é o mais afetado pelas forças antrópicas pois possibilita avaliar o estado de proteção do solo pela cobertura vegetal, em áreas de cultivo, pastagens ou mata nativa (PANAGOS et al., 2015a). Áreas de solo exposto apresentam perdas de solo e o fator C maiores do que em áreas cultivadas, devido à falta de proteção vegetal do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Entretanto, a proteção da cobertura vegetal é dependente, também, da distribuição das chuvas nas diferentes estações do ano, necessitando de aprimoramentos no uso e manejo para

melhorar a proteção do solo nos períodos de maior intensidade pluviométrica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

O fator C está relacionado a razão de perdas de solo (RPS) entre duas áreas com mesmas condições de relevo, índice de precipitação e tipo de solo: uma com cobertura e manejo específico e outra em pousio e sem nenhuma cobertura (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Assim, os efeitos das variáveis uso e manejo sobre o solo são considerados dependentes por possuírem interações entre si, sendo avaliadas em conjunto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Dessa forma, são atribuídos um único fator C, para a soma da densidade da vegetação e a cobertura do solo pelo dossel com o sistema de manejo utilizado na proteção do solo contra a erosão hídrica (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

O fator C na USLE é calculado pelo somatório dos produtos da RPS pela fração do índice de erosividade (FEI_{30}) de cada estágio de cultura, ambos com valores variando de 0 para sistemas de manejo conservacionistas, a 1 para sistemas não conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O FEI_{30} é a porcentagem do índice de erosividade que produziu a erosão utilizada no cálculo da respectiva RPS (BERTOL et al., 2002). Entretanto, o fator C é dependente da variação da erosividade, erodibilidade, bem como do tipo de cultura e dos diferentes uso e manejo do solo, que dificulta a determinação, devido às combinações possíveis dessas características (NAKAO et al., 2015; SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

Os valores do fator C disponíveis na literatura, auxiliados por dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento são importantes para estudos que visam modelar a erosão hídrica utilizando a USLE/RUSLE. No entanto, são poucas as pesquisas sobre razão de perdas de solo e a determinação do fator C para diferentes usos e manejos, especialmente em culturas perenes, como o cafeeiro (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012; PROCHNOW et al., 2005). Nessa questão, cabe ressaltar o trabalho de Prochnow et al. (2005) que obtiveram o fator C para o cafeeiro em Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico no oeste do Estado de São Paulo, sob os espaçamentos de 3,0 x 0,5 m, 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 2,0 m, 3,0 x 3,0 m e 4,0 x 2,0 m, e concluíram que os resultados variaram de 0,0866 a 0,1412, com os menores valores no espaçamento 3,0 x 1,0 m.

2.3.5 Fator P – Práticas Conservacionistas

O fator P representa as práticas conservacionistas utilizadas no preparo e manejo do solo que reduzem os efeitos da erosão hídrica, comparando a intensidade esperada das perdas

de solo entre áreas com manejo conservacionista e com manejo convencional (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Dentre as principais práticas de conservação no preparo do solo estão o plantio em nível (contorno), em faixas de contorno, terraceamento, plantio direto, culturas em consórcio e alternância de capinas, na qual, o fator P expressa a relação entre a perda de solo de uma área com a implantação de uma ou mais dessas práticas conservacionistas, comparada com a perda de solo de uma área cultivada morro abaixo (no sentido do declive) (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD et al., 1997).

O valor do fator P varia de 0 a 1, na qual, zero representa práticas com alta eficiência na redução da erosão e um o plantio em desnível com ausência de práticas de conservação (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Este valor pode ser determinado com base em classificações de imagens de sensoriamento remoto ou em dados anteriores da literatura especializada (PANAGOS et al., 2015b). Entretanto, no Brasil são escassos os dados que determinam com precisão o fator P da USLE/RUSLE adaptados às condições de cultivo do país (AMORIM et al., 2010).

2.4 TOLERÂNCIA DE PERDA DE SOLO

O limite da TPS é o valor máximo de perda de solo tolerável por determinada unidade de mapeamento de solo, levando em consideração sua classificação, caracterização morfológica, física, química e biológica, uso e manejo, relevo e condições climáticas. A TPS representa também a um limite de perda que ainda mantenha a sustentabilidade econômica e ambiental da produção agropecuária. Assim, pode ser utilizada em conjunto à Equação Universal de Perda de Solo Revisada, com o objetivo de avaliar a eficácia dos sistemas de manejo do solo (BERTOL; ALMEIDA, 2000).

No Brasil, o método de Bertol e Almeida (2000) é o mais recente e o mais utilizado para o cálculo da TPS, devido a utilizar maior quantidade de atributos do solo em sua formulação (CÂNDIDO et al., 2014; OLIVETTI et al., 2015). Este método é representado pela equação 5.

$$TPS = h r_a m p 1.000^{-1} \quad (\text{equação 5})$$

Em que: TPS = tolerância de perda de solo (mm ano^{-1}); h = profundidade efetiva do solo (mm), limitada a 1.000 mm; r_a = relação que expressa, conjuntamente, o efeito da relação textural entre os horizontes B e A e do teor de argila do horizonte A; m = fator que expressa o efeito da matéria orgânica na camada de 0 - 20 cm do solo; p = fator que expressa o efeito da

permeabilidade do solo e 1.000^{-1} = constante que expressa o período de tempo necessário para desgastar uma camada de solo de 1.000 mm de espessura.

2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS E A COBERTURA VEGETAL

No Brasil, a criação da Agência Nacional das Águas (ANA), visou fiscalizar o uso e o estado de conservação ambiental dos recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União (SILVA et al., 2015). Dessa forma, a bacia hidrográfica é utilizada como unidade de gestão e planejamento do uso e ocupação do solo pelas estratégias políticas e estudos científicos (AYER et al., 2015).

Nas pesquisas de erosão e sedimentação dos solos são importantes as análises concentradas em bacias ou sub-bacias hidrográficas, pois permitem maior acurácia no controle do material produzido e sua relação de causa e efeito (SANTOS et al., 2014), sendo a unidade espacial de planejamento mais apropriada para estudos e operação (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

O Lago de Furnas se estende por 240 km no braço do Rio Grande e 170 km no braço do Rio Sapucaí, inundando terras de 34 municípios, inclusive de Alfenas, desde a construção da Usina Hidrelétrica de Furnas em 1958. Dentre os diversos usos e benefícios do Lago de Furnas para sua área de influência destacam-se o abastecimento e fornecimento de água e energia elétrica e o grande potencial turístico, com a geração de empregos, direta e indiretamente, bem como o controle ambiental da biota local, estabelecido após a inundação pelas águas da represa (ALFENAS, 2006).

Um dos principais fatores condicionantes do equilíbrio ambiental em bacias hidrográficas é a cobertura vegetal que atua na proteção do solo, na prevenção e no controle da erosão. Nesse caso, a vegetação exerce papel de amortecedor da energia cinética da gota da chuva no impacto com o solo, evitando a erosão por abalroamento, primeira fase do processo erosivo (SILVA et al., 2007). Além disso, a cobertura vegetal promove a infiltração e a percolação de uma parte d'água no subsolo, contribuindo para o abastecimento do lençol freático. Outra parte é emitida para a atmosfera pela evapotranspiração das plantas em conjunto com os solos e corpos d'água, contribuindo diretamente para o ciclo hidrológico. Contudo, o Estado de Minas Gerais apresenta apenas 10,30% de Mata Atlântica remanescente do desmatamento, na qual as áreas que se encontram com o solo exposto contribuem para os processos erosivos (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE; 2015).

Outro fator importante para a proteção do solo contra a erosão hídrica é a formação da serapilheira, que são os detritos provenientes da matéria orgânica acumulados na superfície do solo. A serapilheira auxilia na dissipação da energia cinética das gotas da chuva e na diminuição da desagregação das partículas de solo, reduzindo a erosão hídrica com o selamento superficial, conseqüentemente aumentando a infiltração d'água (CÂNDIDO et al., 2014). Estes detritos de vegetação também reduzem a velocidade do escoamento superficial com a diminuição do potencial erosivo da enxurrada e com isso, minimizam as perdas de solo, de água e de nutrientes essenciais para a manutenção das plantas (OLIVEIRA et al., 2013).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos impactos ambientais sob os solos utilizados para a agropecuária contribui para o conhecimento das áreas afetadas e fornece dados que auxiliam nas medidas mitigadoras. Pela importância dos solos do Sul de Minas Gerais para o cultivo do cafeeiro, estudos que visam modelar as perdas de solo permitem identificar as áreas mais afetadas pela erosão hídrica e a tomada de decisões com vistas a melhorias nas práticas de uso e manejo do solo, visando uma agropecuária sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALEWELL, C.; EGLI, M.; MEUSBURGER, K. An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands. **Journal of Soils and Sediments**, Berlin, v. 15, n. 6, p. 1383-1399, 2015.
- ALFENAS - PREFEITURA MUNICIPAL. **Leitura Técnica do Plano Diretor de Alfenas – MG**. Alfenas: Prefeitura Municipal de Alfenas, 2006. 189 p.
- AMORIM, R.S.S. et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, 2010.
- AQUINO, R. F. et al. Variabilidade espacial da erosividade da chuva na região Sul de Minas Gerais, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, 2012.
- AUERSWALD, K. et al. Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values. **Catena**, Amsterdam, v. 118, p. 220-225, 2014.
- AYER, J. E. B. et al. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos Distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 180-191, 2015.
- BALASUBRAMANI, K. et al. Estimation of soil erosion in a semi-arid watershed of Tamil Nadu (India) using revised universal soil loss equation (rusle) model through GIS. **Modeling Earth Systems and Environment**, Savar, v. 1, n. 3, p. 1-17, 2015.
- BAMBOLIM, A. et al. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 2, n. 3, p.34–38, 2015.
- 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, n. 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, n. 3, p. 657-668, 2000.
- BERTOL, I. et al. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico Alumínico Léptico, determinada sob Chuva Natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 465-471, 2002.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JR, R. Equação de perdas de solo. **Instituto Agrônomo**. Boletim Técnico n. 21, Campinas, SP, 1975. 25p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 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: Brasil, 1962. 462 p.

BROWNING, G. M.; PARISH, C. L.; GLASS, J. A. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. **Journal of the American Society of agronomy**, Madison, v. 39, p. 65-73, 1947.

CÂNDIDO, B. M. et al. Erosão Hídrica Pós-Plantio em Florestas de Eucalipto na Bacia do Rio Paraná, no Leste do Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1565-1575, 2014.

CARVALHO, R. et al. Erosão Hídrica em Latossolo Vermelho sob Diversos Sistemas de Manejo do Cafeeiro no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1679-1687, 2007.

CLARK, E. V. et al. Hydroacoustic and spatial analysis of sediment fluxes and accumulation rates in two Virginia reservoirs, USA. **Environmental Science and Pollution Research**, Berlin, v. 22, n. 11, p. 8659-8671, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira: café, v. 3 – Safra 2016, n.3 - Terceiro Levantamento**, Brasília, p. 1-104, set. 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 set. 2016.

DALMOLIN, R. S. D.; TEN CATEN, A. Digital mapping: new approach on soil survey. **Investigación Agraria**, San Lorenzo, v. 17, n. 2, p. 77-86, 2015.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do Solo Estimada por meio de Parâmetros Físicos e Químicos**. 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, Piracicaba, 1990.

DIAS, A. C. et al. Soil cover plants on water erosion control in the South of Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 410-418, 2013.

EDUARDO, E. N. et al. Erodibilidade, Fatores Cobertura e Manejo e Práticas Conservacionistas em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob Condições de Chuva Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 796-803, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 353 p.

FERNANDES, M. Índice de erosividade da chuva média anual para Manaus/AM de 1981 a 2010. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 5, n. 18, p. 46-49, 2014.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Atlas dos Municípios da Mata Atlântica – período 2013-2014**, São Paulo: INPE, 2015. 60 p.

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.

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, Beijing, v. 6, n. 7, p. 1-9, 2015.

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.

HTWE, T. N.; BRINKMANN, K.; BUERKERT, A. Spatio-temporal assessment of soil erosion risk in different agricultural zones of the Inle Lake region, southern Shan State, Myanmar. **Environmental monitoring and assessment**, Maine, v. 187, n. 10, p. 1-14, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro. 2015. 430 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola de Alfenas-MG**. 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=310160&idtema=157&search=minas-gerais|alfenas|producao-agricola-municipal-lavoura-permanente-2015>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

KIM, J.; IVANOV, V. Y.; FATICHI, S. Environmental stochasticity controls soil erosion variability. **Nature - Scientific Reports**, Londres, v. 6, p. 1-7, 2016.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

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

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 457-465, 1997.

MCBRATNEY, A. B.; SANTOS, M. L.M; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, Beijing, v. 117, n. 1, p. 3-52, 2003.

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.; RUHOFF, A. L. Utilização de Métodos de Representação Espacial para Cálculo do Fator Topográfico na Equação Universal de Perda de Solo Revisada em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1455-1462, 2010.

- MITASOVA, H. M. et al. **Terrain modelling and soil erosion: applications for Ft. Hood report for USA CERL**. 2001. Disponível em:
<<http://shagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cer101/finalreport/report01/default.htm>>
Acesso em: 12 mai. 2016.
- MOORE, I.D.; GRAYSON, R.B.; LADSON, A.R. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, Malden, v. 5, n. 1, p. 3-30, 1991.
- MOORE, I. D.; WILSON, J. P. Length-slope factors for Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE): simplified method of estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 47, n. 5, p. 423-428, 1992.
- MORGAN, R.P.C.; NEARING, M.A. **Handbook of Erosion Modelling**. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 398 p.
- MUSGRAVE, G. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 2, n. 3, p. 133- 138, 1947.
- NAKAO, A. H. et al. Rotação e Sucessão de Culturas como Práticas de Conservação do Solo no Município de Jales, SP. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 153-166, 2015.
- OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica e seus componentes na sub-bacia hidrográfica do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS**. 2011. 179 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Lavras, 2011.
- OLIVEIRA, A. H. et al. Development of Topographic Factor Modeling for Application in Soil Erosion Models. In: SORIANO, M. C. H. **Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment**. Rijeka, InTech, 2013. cap. 4, p. 111-138.
- OLIVEIRA, F. G.; SERAPHIM, O. J.; BORJA, M. E. L. Estimativa de Perdas de Solo e do Potencial Natural de Erosão da Bacia de Contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n.3, p.302-309, 2015.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Erosion Risk Mapping Applied to Environmental Zoning. **Water Resources Management**, Valencia, v. 25, n. 3, p. 1021-1036, 2011.
- OLIVETTI, D. et al. Spatial and Temporal Modeling of Water Erosion in Dystrophic Red Latosol (Oxisol) Used for Farming and Cattle Raising Activities in a Sub-Basin in the South of Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 1, p. 58-67, 2015.
- PANAGOS, P. et al. Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 27, p. 147-155, 2014a.
- PANAGOS, P. et al. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. **Science of the total environment**, Amsterdam, v. 479, p. 189-200, 2014b.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. **Geosciences**, Basel, v. 5, n. 2, p. 117-126, 2015.

PANAGOS, P. et al. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**, Berlin, v. 48, p. 38-50, 2015a.

PANAGOS, P. et al. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale. **Environmental Science & Policy**, Berlin, v. 51, p. 23-34, 2015b.

PANAGOS, P. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. **Environmental Science & Policy**, Berlin, v. 54, p. 438-447, 2015c.

PIMENTEL, D. et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, Washington, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, 1995.

PRASANNAKUMAR, V. et al. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. **Geoscience Frontiers**, Beijing, v. 3, n. 2, p. 209-215, 2012.

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, 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.

SANTOS, D. B. O.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. RUSLE para Determinação da Tolerância de Perda de Solo. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 5, n. 4, p. 78-83, 2015.

SANTOS, M. et al. Análise Sedimentológica do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Córrego Cachoeirinha, Sudoeste de Mato Grosso. **Revista Geonorte**, Manaus, edição especial 4, V.10, n. 1, p.162-166, 2014.

SANTOS, R. D.; CURI, N.; SHIMIZU, S. H. **Guia Prático para Classificação de Solos Brasileiros**. Lavras: ed. do autor, 2015. 62 p.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009.

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

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2007. 153 p.

SILVA, B. M. et al. Soil moisture assessed by digital mapping techniques and its field validation. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 140-148, 2014.

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

SILVA, M. L. N. et al. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, 1999.

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, W. F. et al. Avaliação de uso de Veículo Aéreo Não Tripulado-VANT em atividades de fiscalização da Agência Nacional de Águas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2015, p. 1791-1798. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0345.pdf>. Acesso em: maio de 2016.

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

TAMENE, L.; LE, Q. B. Estimating soil erosion in sub-Saharan Africa based on landscape similarity mapping and using the revised universal soil loss equation (RUSLE). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Ithaca, v. 102, n. 1, p. 17-31, 2015.

UDDIN, K. et al. Estimation of Soil Erosion Dynamics in the Koshi Basin Using GIS and Remote Sensing to Assess Priority Areas for Conservation. **Journal Plos one**, San Francisco, v. 11, n. 3, p. 1-19, 2016.

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**, Berlin, v. 30, n. 9, p. 1043–1053, 2004.

WANG, Y. et al. Impact of tillage erosion on water erosion in a hilly landscape. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 551-552, p. 522-532, 2016.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook, n. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, 1978. 58 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysics Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

YANG, X. Digital mapping of RUSLE slope length and steepness factor across New South Wales. **Soil Research**, Berlin, v. 53, n. 2, p. 216-225, 2015.

ZACHAR, D. Developments in Soil Science 10. **Soil erosion**, 1982. 547 p.

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

PARTE 2

Artigo Científico elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

1 MODELAGEM DA EROSÃO HÍDRICA EM LATOSSOLOS SOB CULTURA DE CAFÉ**2**
3 Henrique Mendes Júnior⁽¹⁾, André Silva Tavares⁽²⁾, Walbert Júnior Reis dos Santos⁽³⁾, Marx
4 Leandro Naves Silva⁽⁴⁾, Breno Régis Santos⁽⁵⁾ e Ronaldo Luiz Mincato^{(6)*}
5

6 ⁽¹⁾Licenciado em Geografia e Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da
7 Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

8 mendesjr49@gmail.com

9 ⁽²⁾Licenciado em Geografia e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
10 da Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

11 andresttavares@gmail.com

12 ⁽³⁾Engenheiro Agrônomo e Professor Adjunto do Instituto Federal de Educação, Ciência e
13 Tecnologia do Sul de Minas Gerais, IFSULDEMINAS, Câmpus de Muzambinho. Muzambinho,
14 Minas Gerais, Brasil. walbert.santos@ifsuldeminas.edu.br

15 ⁽⁴⁾Agrônomo e Professor Associado da Universidade Federal de Lavras, UFLA, Departamento de
16 Ciência do Solo - DCS. Lavras, Minas Gerais, Brasil. marx@dcs.ufla.br

17 ⁽⁵⁾Agrônomo e Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Instituto de
18 Ciências da Natureza - ICN, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Alfenas, Minas
19 Gerais, Brasil. breno.santos@unifal-mg.edu.br

20 ⁽⁶⁾Geólogo e Professor Associado da Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Instituto de
21 Ciências da Natureza - ICN, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Alfenas, Minas
22 Gerais, Brasil.

23 *Autor correspondente.

24 Tel.: 35 – 3701.9695

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34 **MODELAGEM DA EROSÃO HÍDRICA EM LATOSSOLOS SOB CULTURA DE CAFÉ**

35

36 **Resumo**

37 A erosão hídrica acelerada pela ação antrópica é um dos principais impactos ambientais do
38 uso do solo. As perdas de solo e água neste processo removem nutrientes essenciais para o
39 crescimento e manutenção das plantas, com influências nocivas na sustentabilidade da agropecuária
40 e do meio ambiente. Além disso, acarretam impactos deletérios, como o assoreamento e a
41 eutrofização dos corpos d'água. Logo, a estimativa das perdas de solo pela erosão hídrica em sub-
42 bacias hidrográficas é essencial para a predição do estágio de degradação do solo, sobretudo em
43 áreas de cultivo semi-intenso, como as de café. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar as
44 perdas de solo em relação ao limite da Tolerância de Perda de Solo nos Latossolos Vermelho
45 Distróficos sob plantio de café. O estudo foi conduzido de março de 2015 a janeiro de 2017 na Sub-
46 bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Município de Alfenas, na região Sul de Minas Gerais,
47 Sudeste do Brasil. As perdas de solo por erosão hídrica foram estimadas pela *Revised Universal Soil*
48 *Loss Equation* e comparadas à Tolerância de Perda de Solo. Para tanto, foram utilizados os atributos
49 morfológicos, físicos e químicos do solo, bem como de técnicas de geoprocessamento, imagens de
50 sensoriamento remoto e dados da literatura especializada. Os resultados demonstram perdas de solo
51 entre 0,01 e 18,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 1,52 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. A Tolerância de Perda de Solo
52 variou de 5,19 a 5,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com 7,35 % da área com perdas acima do limite mínimo. As
53 áreas com declives mais acentuados e ausência de práticas conservacionistas são decisivas para o
54 aumento das perdas de solo acima da Tolerância de Perda de Solo, sendo prioritárias para a adoção
55 de medidas mitigatórias dos efeitos erosivos. A *Revised Universal Soil Loss Equation* possibilitou
56 modelar a erosão hídrica e identificar, com rapidez, as áreas com as maiores taxas de perdas de solo,
57 o que contribui para a avaliação e conservação dos solos em bacias e sub-bacias hidrográficas.

58
59 **Palavras-chave:** Perdas de Solo, RUSLE, Tolerância de Perda de Solo.

60

61 **MODELING OF WATER EROSION IN LATOSOLS UNDER COFFEE CULTURE**

62

63 **Abstract**

64 Water erosion accelerated by anthropogenic action is one of the main environmental impacts of land
65 use. The losses of soil and water in this process remove nutrients essential for the growth and
66 maintenance of plants, with harmful influences on the sustainability of agriculture and the

67 environment. In addition, they lead to deleterious impacts, such as sedimentation and eutrophication
68 of water bodies. Therefore, the estimation of soil losses due to water erosion in sub-basins is
69 essential for the prediction of soil degradation, especially in areas of semi-intensive cultivation,
70 such as coffee. Thus, the aim of this work was to estimate soil losses in relation to the limit of Soil
71 Loss Tolerance in the Dystrophic Red Oxisols under coffee plantation. The study was conducted
72 from March 2015 to January 2017 in the Córrego da Laje Hydrographic Sub-basin, in the
73 municipality of Alfenas, in the southern region of Minas Gerais, Southeastern Brazil. Soil losses
74 due to water erosion were estimated by Revised Universal Soil Loss Equation and compared to Soil
75 Loss Tolerance. For that, the morphological, physical and chemical attributes of the soil were used,
76 as well as geoprocessing techniques, remote sensing images and specialized literature data. The
77 results show soil losses between 0.01 and 18.77 Mg ha⁻¹ year⁻¹, with an average of 1.52 Mg ha⁻¹
78 year⁻¹. The Soil Loss Tolerance ranged from 5.19 to 5.90 Mg ha⁻¹ year⁻¹, with 7.35% of the area
79 with losses above the minimum limit. Areas with steeper slopes and absence of sustainable
80 practices are decisive for the increase of soil losses above soil loss tolerance, being priority for the
81 adoption of mitigating measures of erosive effects. The Revised Universal Soil Loss Equation has
82 been able to model water erosion and identify the areas with the highest rates of soil loss quickly,
83 which contribute to the assessment and conservation of soils in watersheds and sub-basins.

84

85 **Keywords:** Soil loss, RUSLE, Soil Loss Tolerance.

86

87 INTRODUÇÃO

88

89 A aceleração da erosão hídrica por ações antrópicas é um dos principais processos de
90 degradação dos solos que causa perdas de solo, água, carbono e nutrientes, essenciais para a
91 manutenção da sustentabilidade agrícola e ecológica (Panagos et al., 2015a). Este problema vem
92 aumentando as perdas de terras agricultáveis a taxas maiores do que aquelas de formação dos solos,
93 de cerca de 1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de conversão do material parental nos horizontes A, E e B (Pimentel et
94 al., 1995; Cândido et al., 2014) elevando os riscos à segurança alimentar e à sustentabilidade dos
95 ecossistemas terrestres (Pimentel, 2006).

96

97 As perdas de solos por erosão, no mundo, são extremamente variáveis. Locais com práticas
98 conservacionistas no manejo e com uso sustentável do solo, como nos Lagos Pelham e Moom,
99 situados em duas reservas ambientais da Virgínia nos Estados Unidos, contabilizam perdas de solo
baixas, com médias de 2,15 e 2,72 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Clark et al., 2015). Porém, locais

100 de uso intensivo do solo e sem práticas conservacionistas possuem taxas maiores, como é caso de
101 duas bacias hidrográficas da África com perdas de $35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a Bacia White Volta, em
102 Gana e Burkina Faso, e de $75 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a Bacia do Rio Nilo no nordeste africano (Tamene
103 e Le, 2015). Na União Europeia, foram registradas perdas de solo médias de $2,46 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em
104 áreas agrícolas, florestais e seminaturais, o que ilustra a eficiência do manejo para a conservação do
105 solo (Panagos et al., 2015b). Na América do Sul, as perdas médias de solo variam entre 30 e 40 Mg
106 $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, considerando áreas com manejos conservacionistas e outras com manejos convencionais
107 (Pimentel et al., 1995). No Brasil, especificamente, as perdas de solo nas terras agricultáveis variam
108 em média entre 15 e $25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

109 A chuva é o principal agente erosivo natural de modelagem do relevo nas regiões tropicais
110 (Cândido et al., 2014). Além da atuação pluvial, a erosão hídrica é influenciada pelas características
111 do solo e da topografia, bem como pelas práticas de uso e manejo dos solos. Assim, estudos sobre
112 as perdas de solo por erosão hídrica são essenciais para a definição das práticas conservacionistas
113 adequadas aos cultivos e para a minimização dos processos erosivos e ao crescimento sustentável da
114 produtividade da agropecuária (Oliveira et al., 2015).

115 Para estimar as perdas de solo são utilizadas, geralmente, equações de modelos empíricos
116 como a *Universal Soil Loss Equation* (USLE) (Wischmeier e Smith, 1978) e sua versão revisada
117 *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) (Renard et al., 1997), bem como modelos físicos e
118 conceituais como o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) (Nearing et al., 1989), o *European*
119 *Soil Erosion Model* (EUROSEM) (Morgan et al., 1998) e o *Erosion Potential Method* (EPM)
120 (Gravilovic, 1988), dentre outros.

121 A RUSLE, por superar, em parte, as restrições climáticas e geográficas e pela utilização de
122 sistemas de informação geográfica (SIG), sensoriamento remoto (SR) e métodos geoestatísticos
123 para cálculo dos fatores, tem sido aplicada em ambientes mais complexos, como bacias
124 hidrográficas (Morgan e Nearing, 2011; Karydas et al., 2014). Juntas, a USLE e a RUSLE, são os
125 modelos mais utilizados para avaliação da erosão hídrica no Brasil (Avanzi et al., 2013).

126 Uma forma de avaliar os impactos das perdas de solo por erosão hídrica é comparar os
127 resultados estimados por modelos como a RUSLE com os limites da tolerância de perda de solo
128 (TPS), que expressa a perda de solo máxima tolerável para manter a capacidade produtiva do solo.
129 Assim, os cálculos da TPS são complementares às estimativas da erosão hídrica e permitem avaliar
130 com maior precisão o estado de degradação do solo (Bertol e Almeida, 2000). No Brasil, o método
131 de Bertol e Almeida (2000) é o mais recente e o mais utilizado para o cálculo da TPS, por

132 considerar uma maior variedade de atributos do solo e à facilidade da obtenção dos mesmos
133 (Cândido et al., 2014; Olivetti et al., 2015).

134 No Sul de Minas Gerais estão situadas áreas de cultivo de café de importância econômica
135 para o Brasil. Essa produção é extensiva no uso do solo, porém com poucas avaliações das perdas
136 de solo por erosão hídrica, com destaque para Carvalho et al. (2007) que avaliaram a erosão hídrica
137 em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo em parcela padrão de 12 x 24 m. Os
138 autores concluíram que as perdas de solo foram menores nos sistemas de manejo mais adensado do
139 que nos mais espaçados. Demonstraram, ainda, a maior eficiência das práticas simples de roçado
140 com manutenção da cobertura vegetal espontânea para proteção do solo contra à erosão hídrica, do
141 que os sistemas de manejo com capinas e exposição dos solos.

142 Assim, a modelagem ou estimativa das perdas de solo e a identificação das áreas mais
143 afetadas pela erosão hídrica são fundamentais para avaliar o estágio de degradação dos solos
144 intensamente cultivados, como os de cafeeiros. Estes dados permitem definir e indicar as melhores
145 práticas de uso e manejo do solo.

146 Diante do exposto, nesta pesquisa foram estimadas as perdas de solo por erosão hídrica pela
147 *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) e comparadas aos limites da TPS nos Latossolos
148 Vermelho Distróficos sob cultura de café na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje, Município
149 de Alfenas, Sul de Minas Gerais, Sudeste do Brasil.

150

151 **MATERIAIS E MÉTODOS**

152

153 A pesquisa foi realizada de março de 2015 a janeiro de 2017 na Sub-bacia Hidrográfica do
154 Córrego da Laje, afluente direto do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, pertencente à
155 Bacia Hidrográfica do Rio Grande (Figura 1). A área situa-se na Fazenda Capoeirinha da empresa
156 Ipanema Agrícola S.A. (Ipanema Coffees) do sul do Município de Alfenas, região do Sul de Minas
157 Gerais, Sudeste do Brasil. A sub-bacia ocupa 437 ha e é delimitada pelas coordenadas UTM 23K
158 402000 a 405000 m E e 7616700 a 7620200 m N Datum SIRGAS 2000, com altitudes entre 814 e
159 914 m. O clima, de acordo com Köppen, é o Tropical Mesotérmico (CwB) com precipitação média
160 anual de 1.500 mm (Sparovek et al., 2007).

161

161 **FIGURA 1**

162 O arcabouço geológico da área compreende granada-biotita gnaisses e biotita gnaisses
163 sobrepostos por coberturas quaternárias de solos e depósitos fluviais de cascalho, areia e lama
164 inconsolidados (UFRJ e CPRM, 2010).

165 Para a elaboração do mapa de uso do solo (Figura 1) foram utilizadas imagens do satélite
166 Landsat-8 Thematic Mapper (TM), nas bandas TM6, TM5 e TM4, correspondente à órbita/ponto
167 219/75, obtidas do United States Geological Survey (USGS) e da base cartográfica da Fazenda
168 Capoeirinha com o uso do solo mapeado pela Ipanema Agrícola S.A. (Ipanema Coffees). O
169 tratamento, correção e composição da imagem foram feitos no ArcGis 10.2 (ESRI, 2014). Foram
170 usadas também a imagem da Fazenda Capoeirinha do *Google Earth* (Google, 2015) e verificações
171 de campo.

172 O mapa digital de solos foi elaborado a partir da topografia como o atributo base de
173 formação do solo (Mcbratney et al., 2003) junto às descrições morfológicas de campo e análises
174 físicas e químicas realizadas nos Laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da Universidade
175 Federal de Lavras – UFLA. Primeiro, foi gerado o modelo digital de elevação com célula (pixel) de
176 cerca de 10 m a partir da interpolação das curvas de nível da Carta Topográfica do Município de
177 Alfenas (FOLHA SF 23-1-1-3) em escala 1: 50.000 (IBGE, 1970), com a ferramenta *Topo to Raster*
178 do aplicativo ArcGis 10.2 (ESRI, 2014). Em seguida, foi obtido o Mapa de Declividade pela
179 ferramenta *Slope* do ArcGis 10.2 (ESRI, 2014) o qual orientou a realização dos trabalhos de campo.

180 Os solos foram coletados e descritos conforme Santos et al. (2005). Em cada classe de
181 relevo foram coletadas 6 amostras, sendo 3 sob cultura de café (CA) e 3 sob mata nativa (MN) nas
182 camadas superficial (0 - 20 cm) e subsuperficial (20 - 60 cm) (Figura 1). Para cada camada foram
183 coletados 3 tipos de amostras: deformada, indeformada em forma de torrão e indeformada com
184 amostrador cilindro com volume de 92,53 cm³ e profundidade de 5 cm.

185 As determinações laboratoriais dos atributos físicos e químicos do solo foram: granulometria
186 pelo método de densímetro, com e sem dispersante NaOH (Bouyoucos, 1962; Black, 1986); índice
187 de floculação, densidade do solo pelo método do anel volumétrico, matéria orgânica (MO) por
188 oxidação com Na₂Cr₂O₇ 2 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹, pH com KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5, soma de
189 bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica total a pH 7,0 (CTC-T) e efetiva (CTC-t), índice
190 de saturação por alumínio (m), fósforo remanescente (P-rem), Ca-Mg-Al com extrator KCl 1 mol L⁻¹,
191 H+Al com extrator SMP, fósforo disponível (P) pelo método colorimétrico com emprego de
192 ácido ascórbico, índice de saturação por bases (V) (Embrapa, 2011); e permeabilidade do solo à
193 água em campo com infiltrômetro (Zhang, 1997).

194 As descrições morfológicas foram feitas em 18 micro trincheiras de 40 x 40 x 60 cm e a
195 codificação dos atributos do solo conforme Silva et al. (1999).

196 A classificação dos solos foi baseada em Embrapa (2013).

197 Para determinar o fator K da RUSLE e a TPS foram consideradas apenas as amostras de
198 solo coletadas sob mata nativa.

199

200 **Determinação dos fatores da RUSLE**

201 As perdas de solo por erosão hídrica foram estimadas pela RUSLE de Renard et al. (1997)
202 (Equação 1):

$$203 A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

204 Em que: A = perda de solo média anual, em Mg ha⁻¹ ano⁻¹; R = fator erosividade da chuva, em MJ
205 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹; K = fator erodibilidade do solo, em Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; LS = fator topográfico, que
206 envolve o comprimento e a declividade da rampa, adimensional; C = fator uso e manejo do solo,
207 adimensional e P = fator práticas conservacionistas, adimensional.

208 O fator R foi obtido do mapa de erosividade da chuva do Sul de Minas Gerais de Aquino et
209 al. (2012).

210 O fator K foi obtido a partir das descrições e análises dos solos, pelo método indireto de
211 Silva et al. (1999), com o modelo número 1, que, dentre os cinco propostos para os Latossolos
212 brasileiros, possui o r² mais alto (0,98) e trabalha com variáveis de fácil obtenção no campo ou na
213 rotina dos laboratórios brasileiros. O modelo 1 é obtido pela equação 2:

$$214 Y = 4,77 \times 10^{-2} - 9,66 \times 10^{-3} X_{14} + 1,63 \times 10^{-2} X_{16} - 1,12 \times 10^{-2} X_{17} + 1,85 \times 10^{-2} X_{18} - 1,51 \times 10^{-2} \\ 215 X_{19} - 2,46 \times 10^{-4} X_{22} - 3,58 \times 10^{-4} X_{23} + 1,47 \times 10^{-4} X_{24} - 1,43 \times 10^{-4} X_{25} + 3,26 \times 10^{-3} X_{26} - 1,26 \times 10^{-3} \\ 216 X_{27} - 2,29 \times 10^{-4} X_{31} + 1,07 \times 10^{-4} X_{32} + 2,69 \times 10^{-4} X_{34} \quad (2)$$

217 Em que: Y = erodibilidade em Mg h MJ⁻¹ mm⁻¹; X₁₄ = código do matiz do solo úmido segundo
218 Munsell (adimensional); X₁₆ = código do grau da estrutura (adimensional); X₁₇ = código do
219 tamanho da estrutura (adimensional); X₁₈ = código da forma da estrutura (adimensional); X₁₉ =
220 código da plasticidade do solo (adimensional); X₂₂ = teor de areia fina dispersa com NaOH 0,1 mol
221 L⁻¹ (g kg⁻¹); X₂₃ = teor de areia muito fina dispersa com NaOH 0,1 mol L⁻¹ (g kg⁻¹); X₂₄ = teor de
222 silte disperso com NaOH 0,1 mol L⁻¹ (g kg⁻¹); X₂₅ = teor de argila dispersa com NaOH 0,1 mol L⁻¹
223 (g kg⁻¹); X₂₆ = teor de areia muito grossa dispersa em água (g kg⁻¹); X₂₇ = teor de areia grossa
224 dispersa em água (g kg⁻¹); X₃₁ = teor de silte disperso em água (g kg⁻¹); X₃₂ = teor de argila dispersa
225 em água (g kg⁻¹) e X₃₄ = índice de floculação (adimensional).

226 O fator topográfico (LS) foi determinado pelo modelo LS_{RUSLE 3D} de Mitasova et al. (2001),
227 a partir da equação 3 e o cálculo realizado no *Map Algebra* do ArcGis 10.2 (ESRI, 2014).

$$228 LS_{RUSLE\ 3D} = (m + 1) (A / 22,13)^m (\text{sen}\Theta / 0,09)^n \quad (3)$$

229 Em que: $LS_{RUSLE\ 3D}$ = fator topográfico (adimensional); A = área de contribuição a montante por
230 unidade de comprimento de célula para um MDE (m^2); Θ = ângulo de inclinação do declive (graus)
231 e m e n = parâmetros empíricos com variação do m entre 0,4 a 0,6 e do n entre 1,0 a 1,4 em função
232 do tipo predominante de erosão: laminar ou em sulcos.

233 Os valores dos parâmetros m e n foram 0,4 e 1,0, respectivamente, para o tipo predominante
234 de erosão: a laminar. O ângulo do declive (Θ) foi derivado do mapa de declividade (Figura 2A)
235 convertido em graus. A variável A foi obtida por processamento adicional do MDE no ArcGis 10.2
236 (ESRI, 2014) com o algoritmo *Deterministic infinity* ($D\ \infty$) (Tarboton, 1997) do conjunto de
237 ferramentas do TauDEM 5.1.2 (Tarboton e Mohammed, 2014).

238 Os valores do fator C foram obtidos da literatura especializada para as seguintes classes de
239 uso do solo verificados: café (237,35 ha); milho e feijão com cultivo em sucessão (60,49 ha);
240 eucalipto (16,95 ha); área de preservação permanente (APP) (90,59 ha); carregadores (divisores de
241 glebas) (9,71 ha); usina de adubo (2,40 ha) e drenagens (19,51 ha) (Figura 1). As APP equivalem a
242 20,73 % da sub-bacia hidrográfica e estão de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Brasil,
243 2012) respeitando os 50 m para o entorno das nascentes e os 30 m para margens dos cursos d'água.
244 A área de mata nativa considerada nos cálculos das perdas de solo foi de 68,99 ha. O açude com 40
245 m de largura média é usado para a irrigação do café por gotejamento junto com a fertilização,
246 contribuindo para atenuar drasticamente os efeitos erosivos da irrigação intensiva. A área da usina
247 de adubo não foi considerada nos cálculos das perdas de solo.

248 A área é cultivada com plantio da espécie café-arábica entre 1994/1995 e 2001/2002 e
249 espaçamento médio de 3,95 x 0,55 m. Pela ausência na literatura de valores do fator C para
250 Latossolos, foi usado o fator C mais próximo para esse espaçamento de Prochnow et al. (2005),
251 para Argissolos com espaçamento de 3,00 x 0,50 m. É possível, todavia, uma subestimação nas
252 perdas de solo no uso do café, devido ao adensamento adotado ser maior do que o real.

253 As culturas temporárias são o milho (outubro/abril) sucedido pelo feijão (maio/setembro).
254 Devido à ausência de dados do fator C para o feijão na literatura, foi usado o valor da soja (Bertol et
255 al., 2001), conforme Ayer et al. (2015), que calcularam o fator C pela média ponderada da
256 erosividade da chuva para a soja mais milho, em substituição ao milho e feijão. A utilização do
257 fator C da soja em substituição ao do feijão é justificada nas similaridades físicas e da cobertura do
258 dossel das duas plantas (Roloff e Bertol, 1998).

259 Para o fator C dos carregadores foi usado valor 1,0 de solo exposto.

260 O fator P foi baseado nas práticas conservacionistas verificadas na área. O cultivo do café
261 em curvas de nível, com plantio em contorno, e o do milho e do feijão com plantio direto. Para o

262 eucalipto não é adotada prática conservacionista, caracterizado como plantio morro abaixo. Para
263 mata nativa foi atribuído valor 0,00, pela conservação natural.

264 Os cálculos das perdas de solo pela RUSLE foram feitos com *Map Algebra e Zonal*
265 *Statistics as Table* do ArcGis 10.2 (ESRI, 2014).

266

267 **Determinação da tolerância de perda de solo**

268 A TPS, pelo método de Bertol e Almeida (2000), foi obtida pela equação 4.

$$269 \text{ TPS} = h r_a m p 1.000^{-1} \quad (4)$$

270 Em que: TPS = tolerância de perda de solo (em Mg ha⁻¹ ano⁻¹, corrigida da fórmula original
271 considerando a densidade do solo; h = profundidade efetiva do solo (mm), limitada a 1.000 mm; r_a
272 = relação que expressa, conjuntamente, o efeito da relação textural entre os horizontes B e A e do
273 teor de argila do horizonte A; m = fator que expressa o efeito da matéria orgânica na camada de 0 -
274 20 cm do solo; p = fator que expressa o efeito da permeabilidade do solo e 1.000⁻¹ = constante que
275 expressa o período de tempo necessário para desgastar uma camada de solo de 1.000 mm de
276 espessura.

277 A profundidade efetiva (variável h) dos Latossolos varia de 1.500 a 2.000 mm, conforme
278 verificado na área de estudo. Dessa forma, o valor utilizado para a variável h para todas as unidades
279 de mapeamento foi de 1.000 mm (Brasil, 1962)

280 Para a variável r_a foi utilizado o teor de argila dispersa com NaOH 0,1 mol L⁻¹ que variou de
281 584 a 607 g kg⁻¹. Assim, primeiro, foi obtida a relação textural entre as camadas superficial (0 - 20
282 cm) e subsuperficial (20 - 60 cm) de cada amostragem (Embrapa, 2013). A variável m representa o
283 teor médio de matéria orgânica na camada superficial (0 - 20 cm) de cada classe de solo. A variável
284 permeabilidade do solo, p, foi obtida em campo, a partir de três repetições para cada classe de solo
285 (Zhang, 1997) com infiltrômetro Mini Disk Decagon Devices ajustado para a taxa de sucção de 2
286 cm. A permeabilidade do solo foi classificada de acordo com Soil Survey Division Staff (1993) e
287 Galindo e Margolis (1989) que utilizam a textura e o grau de estrutura do solo.

288 O mapa da TPS (Figura 2D) correlaciona os valores limites da TPS às perdas de solo (Figura
289 2C) no ArcGis 10.2 (ESRI, 2014).

290

291 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

292

293 A declividade da área estudada resultou nas classes de relevo plano a suave ondulado (0 – 8
294 %), ondulado (8 – 20 %) e forte ondulado (20 – 45 %) (Embrapa, 2013) (Figura 2A).

295 A classificação dos solos identificou as seguintes unidades de mapeamento: Latossolo
 296 Vermelho Distrófico nos relevos plano a suave ondulado (LVD1), ondulado (LVD2), forte
 297 ondulado (LVD3) e Solos Indiscriminados de Várzea (SIV) nas planícies de inundação fluviais
 298 (Figura 2B). A unidade LVD2 é mais expressiva em área, com 203,67 ha ou 46,60 %. As áreas
 299 mapeadas como SIV foram desconsideradas na estimativa das perdas de solo por serem áreas de
 300 deposição de sedimentos (Mitasova et al., 2001; Olivetti et al., 2015). A textura foi classificada
 301 como argilosa e muito argilosa, com teor de argila entre 58,40 e 60,70 %, o que caracteriza maior
 302 resistência à erosão hídrica.

303

FIGURA 2

304 A erosividade da chuva (R) para a área de estudo é de $6.500 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$,
 305 intermediário entre 5.145 a $7.776 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, de acordo com Aquino et al. (2012) para o
 306 Sul de Minas Gerais. Estes índices são considerados elevados e são influenciados pela topografia e
 307 variação climática regional, com as maiores erosividades associadas às maiores altitudes. Assim,
 308 Aquino et al. (2012) recomendam a adoção de práticas conservacionistas no manejo dos solos,
 309 sobretudo nos relevos acidentados, devido aos efeitos da frequência, quantidade e intensidade
 310 pluviométrica regional.

311 No Quadro 1 são apresentados os valores do fator K e das variáveis utilizadas no cálculo da
 312 erodibilidade. A cor (úmida) do solo apresentou o matiz 2,5YR para as unidades de solo. A
 313 estrutura foi caracterizada como: forte, média em blocos subangulares para as classes LVD1 e
 314 LVD2, e fraca, pequena em blocos subangulares para a LVD3. A consistência do solo molhado é
 315 ligeiramente plástica para LVD1 e LVD2 e plástica para LVD3. Os resultados da erodibilidade do
 316 solo estão próximos aos de Silva et al. (1999; 2000), entre $0,002$ e $0,034 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.
 317 Entretanto, a classe LVD2 apresentou o menor valor. Possivelmente, devido apresentar menores
 318 teores de silte disperso em $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1} \text{ (g kg}^{-1}\text{)}$ (variável X_{24}), com $72,0 \text{ g kg}^{-1}$.

319

QUADRO 1

320 O fator LS variou entre 0 e 3,883, com média de 0,318. Estes resultados demonstram que o
 321 modelo $\text{LS}_{\text{RUSLE3D}}$ foi eficaz para a determinação do fator topográfico, pois os maiores valores
 322 foram obtidos nas maiores declividades e com intenso fluxo acumulado.

323 Os fatores C e P são apresentados no Quadro 2. As áreas com valores próximos a 1,0
 324 apresentam menor proteção da vegetação contra erosão, seja pela menor densidade da cobertura
 325 vegetal ou pela carência de práticas de manejo conservacionistas. Nos carregadores do café, pelo fato
 326 do solo estar exposto e desprovido de proteção vegetal foram identificados os maiores valores.

327

QUADRO 2

328 Os valores do fator C para o café, milho e feijão em sucessão e eucalipto estão abaixo da
329 média para as terras agricultáveis de Panagos et al. (2015c) que foi de 0,2330. Possivelmente,
330 devido às distintas culturas praticadas e à ausência de manejos conservacionista em grande parte da
331 área estudada naquela pesquisa. Já o fator C médio das matas nativas foi de 0,0150, superior ao de
332 Panagos et al. (2015c), de 0,0012 para áreas florestais. Além disso, o fator P médio obtido naquela
333 área foi de 0,9702, considerado elevado por Panagos et al. (2015d), devido ao baixo número de
334 áreas cultivadas com práticas conservacionistas.

335 Na modelagem da erosão hídrica pela RUSLE a perda de solo média foi de 1,52 Mg ha⁻¹
336 ano⁻¹. As perdas médias por classes de uso do solo foram de 0,01 a 18,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Quadro 3).

337

QUADRO 3

338 No mapa de perdas de solo adaptado de Beskow et al. (2009) observa-se que, 83,93 % da
339 área apresenta erosão suave e perdas de solo entre 0 e 2,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 2C). Tais resultados
340 demonstram a eficácia do manejo do solo, sobretudo nos cultivos de café em nível que ocupa 54,31
341 % da área. Entretanto, 6,10 % da sub-bacia apresenta erosão moderada a extremamente severa, com
342 perdas de solo de 2,5 a mais de 100 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Logo, essas áreas são prioritárias para adoção de
343 práticas conservacionistas de mitigação das perdas de solos.

344 As maiores perdas médias de solo estão concentradas nos carregadores do café, com 18,77
345 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, que respondem, também por 27,28 % do total. Isto é devido aos fatores C, P e LS
346 elevados pelo solo exposto posicionados, na maioria, em terreno de declividade forte ondulada (20
347 – 45 %). Portanto, o uso intensivo de maquinário pesado para a manutenção das atividades
348 produtivas compacta o solo, dificulta a infiltração da água e contribui para a remoção de partículas
349 de solo e as perdas pelo escoamento superficial da água.

350 As culturas do milho e feijão em sucessão apresentaram perdas de solo de 0,12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹,
351 menores do que a média da sub-bacia e abaixo dos estimados por Ayer et al. (2015) em outra
352 área, devido à diferença nos valores P usados nos dois estudos, respectivamente, 1,00 e 0,01. O
353 cultivo do milho e do feijão na sub-bacia é feito com manejo conservacionista de plantio direto.
354 Essa técnica reduz a erosão hídrica por usar os remanescentes de culturas anteriores nos novos
355 plantios, aumentando a proteção do solo, além de incorporar matéria orgânica, que melhora a
356 estrutura do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

357 A cultura do eucalipto contribui com 15,42 % das perdas de solo, com perda média de 6,08
358 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Estes valores são superiores aos encontrados por Cândido et al. (2014) entre 0 e
359 0,853 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em parcelas experimentais no leste do Mato Grosso do Sul. Esta discrepância é

360 explicada, provavelmente, pelo plantio do eucalipto morro abaixo na área de estudo, sem manejo
361 conservacionista, o que aumenta o valor do fator P.

362 Na mata nativa foi estimada perda de solo média de $0,01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, menor do que a
363 média da sub-bacia e similar à Silva et al. (2016), que obtiveram perdas entre $0,01$ e $0,38 \text{ Mg ha}^{-1}$
364 ano^{-1} em mata nativa no Rio Grande do Sul.

365 A perda de solo média no cultivo de café é de $1,58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este valor foi menor do
366 que o estimado por Silva et al. (2007) para Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com café
367 conilon em espaçamento $2,90 \times 0,90 \text{ m}$ cultivado há cinco anos em Cachoeiro de Itapemirim – ES,
368 que foi de $10,98 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A discrepância é devido às diferenças de erodibilidade dos solos, de
369 $0,14 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ (Silva et al., 2007) e de $0,004$ a $0,026 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ neste trabalho, com
370 valores dos fatores C e P baseados em Prochnow et al. (2005). Portanto, os solos estudados
371 apresentam menor susceptibilidade à erosão hídrica. Além disso, o plantio do café na sub-bacia é
372 feito em nível, tendo valor de P de 0,50, o que contribui para diminuir as perdas.

373 Valores médios de perdas de solo entre $0,11$ e $0,28 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foram obtidos por
374 Carvalho et al. (2007) para cafeeiro sob diversos sistemas de manejo no sul de Minas Gerais, com
375 espaçamento de $3,00 \times 0,75 \text{ m}$ sob diversos sistemas de manejo em parcelas experimentais. Estas
376 perdas de solo menores podem ser explicadas pelas distintas e variadas práticas de manejo adotadas.

377 Os valores da TPS foram $5,19$, $5,69$ e $5,90 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente para os solos
378 LVD1, LVD2 e LVD3. O resultado da variável h foi 1.000 mm , o valor de ponderação da variável
379 r_a foi 1 e a ponderação das variáveis m e p resultou no valor 0,7, com a permeabilidade do solo
380 classificada como lenta. A densidade dos solos (g cm^{-3}) variou de $1,060$, $1,163$ e $1,205$,
381 respectivamente para LVD1, LVD2 e LVD3. Os resultados apontam que $7,35 \%$ da área apresenta
382 perdas de solo acima do limite da TPS (Figura 2D).

383 Os resultados da TPS obtidos estão abaixo dos de Bertol e Almeida (2000) para Latossolo
384 Vermelho-Escuro do Estado de Santa Catarina, entre $10,62$ e $12,50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Uma explicação
385 possível são os baixos valores de ponderação do teor de matéria orgânica e do grau de
386 permeabilidade do solo que foram de 0,70 nesta pesquisa. Além disso, os valores estão abaixo dos
387 estimados por Lombardi Neto e Bertoni (1975) para solos com horizonte B latossólico do Estado de
388 São Paulo, que foram de $9,60$ a $15,00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Essa diferença pode ser devido ao método de
389 Bertol e Almeida (2000) considerar mais atributos do solo para a estimativa da TPS. Portanto, a
390 estimativa da TPS pelo método de Bertol e Almeida (2000) parece se tornar mais restritiva e mais
391 conservacionista para o solo. Sendo assim, considerando o princípio da precaução, é o método mais
392 indicado para a estimativa da TPS.

393 Os resultados obtidos ilustram a eficiência no manejo do café, milho e feijão com perdas de
394 solo médias inferiores aos limites da TPS. Entretanto, nas áreas com maiores declives, é
395 recomendado o uso de práticas conservacionistas que aumentem a proteção do solo contra a erosão
396 hídrica. Para tanto, o terraceamento é uma alternativa, pois diminui a força da enxurrada e
397 consequente arraste do solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2012). Além disso, contribuiria para a
398 conservação das águas nos açudes e cursos d'água, evitando o assoreamento e diminuiria a
399 quantidade de insumos para adubação dos cultivos, que poderiam ser carregados pelo escoamento
400 superficial, aumentando os custos de fertilização do solo e de adubação das plantas.

401 As maiores perdas de solos ocorrem nos carregadores que são as vias de acesso necessárias
402 para a manutenção das atividades produtivas. Diante disso, é recomendado para as áreas mais
403 declivosas dessas vias a adoção de bacias de captação das águas de escoamento superficial. Esta
404 prática diminuiria as perdas de solo por diminuir o efeito da enxurrada e promoveria aumento da
405 infiltração da água e abastecimento do lençol freático (Barros, 2000). Além disso, a aplicação do
406 cascalho em toda a extensão das vias pode aumentar a resistência à erosão da superfície das
407 estradas.

408 O plantio morro abaixo do eucalipto é um dos principais fatores de degradação dos solos na
409 área, por favorecer os efeitos da erosão hídrica. Assim, é recomendado que novos plantios sejam
410 feitos com manejos conservacionistas, como plantio em nível, maior adensamento entre as plantas e
411 terraceamento nas áreas mais declivosas, bem como a manutenção de capinas com roçado entre as
412 plantas.

413 A modelagem das perdas de solo pela RUSLE na Sub-bacia hidrográfica do Córrego da Laje
414 demonstrou, sobretudo, que o uso do solo exposto nas vias de acesso, especialmente nas maiores
415 declividades, é o principal fator condicionante do aumento das perdas de solo por erosão hídrica
416 acima dos limites da TPS.

417

418 CONCLUSÕES

419

- 420 1. As perdas de solo na área variaram de 0,01 a 18,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 1,52 Mg ha⁻¹
421 ano⁻¹. A média do cultivo do café foi de 1,58 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.
- 422 2. O limite de tolerância de perda de solo variou entre 5,19 e 5,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com 7,35 % da
423 área com perdas acima do limite mínimo.
- 424 3. A modelagem da erosão hídrica pela *Revised Universal Soil Loss Equation* demonstrou que as
425 áreas com declives mais acentuados e ausência de práticas conservacionistas são decisivas para o

426 aumento das perdas de solo acima da tolerância de perda de solo, sendo prioritárias para a
427 adoção de medidas mitigatórias dos efeitos erosivos.

428 4. A *Revised Universal Soil Loss Equation* permite modelar a erosão hídrica e identificar as áreas
429 com as maiores taxas de perdas de solos com rapidez e contribui para a avaliação e conservação
430 dos solos em bacias e sub-bacias hidrográficas.

431

432 **AGRADECIMENTOS**

433

434 Aos Laboratórios de Análises do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade
435 Federal de Lavras - UFLA, pelo apoio e auxílio nas análises de solo.

436 À Ipanema Agrícola S.A. (Ipanema Coffees), pela parceria, confiança, financiamento das
437 análises laboratoriais de solo e suporte logístico nos trabalhos de campo.

438

439 **REFERÊNCIAS**

440

441 Aquino RF, Silva MLN, Freitas DAF, Curi N, Mello CR, Avanzi JC. Spatial variability of the
442 rainfall erosivity in Southern region of Minas Gerais State, Brazil. *Ciênc Agrotec.* 2012; 36: 533-
443 542. doi:10.1590/S1413-70542012000500006

444

445 Avanzi JC, Silva MLN, Curi N, Norton L D, Beskow S, Martins SG. Spatial distribution of water
446 erosion risk in a watershed with eucalyptus and Atlantic Forest. *Ciênc Agrotec.* 2013; 37: 427-434.
447 doi:10.1590/S1413-70542013000500006

448

449 Ayer JEB, Olivetti D, Mincato RL, Silva MLN. Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos
450 Distróficos. *Pesqui Agropecu Trop.* 2015; 45: 180-191. doi:10.1590/1983-40632015v4531197

451

452 Barros LC de. *Captção de águas superficiais de chuvas em barraginhas.* 1st ed. Sete Lagoas, MG:
453 Embrapa Milho e Sorgo; 2000.

454

455 Bertol I, Almeida JA. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de
456 Santa Catarina. *Rev Bras Cienc Solo.* 2000; 24: 657-668. doi:10.1590/S0100-06832000000300018

457

- 458 Bertol I, Schick J, Batistela O. Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em
459 três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico alumínico. Rev Bras Cienc Solo. 2001; 26:
460 545- 552. doi:10.1590/S0100-06832001000200021
461
- 462 Bertoni J, Lombardi Neto F. Conservação do Solo. 8. ed. São Paulo: Ícone; 2012.
463
- 464 Beskow S, Mello CR, Norton LD, Curi N, Viola MR, Avanzi JC. Soil erosion prediction in the
465 Grande River Basin, Brazil, using distributed modeling. Catena. 2009; 79: 49-59.
466 doi:10.1016/j.catena.2009.05.010
467
- 468 Black CA. Methods of soil analysis. Part. I: physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison:
469 Soil Science Society of America; 1986.
470
- 471 Bouyoucos GI. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agron J.
472 1962; 54: 464-465.
473
- 474 Brasil. Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. [internet]. Brasília, DF: Congresso
475 Nacional; 2012 [acesso em 15 mai 2015]. Disponível em:
476 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm.
477
- 478 Brasil. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional De Conservação dos Solos. Levantamento de
479 reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas. Rio de Janeiro: 1962.
480 (Boletim Técnico, 13).
481
- 482 Cândido BM, Silva MLN, Curi N, Batista PVG. Erosão Hídrica Pós-Plantio em Florestas de
483 Eucalipto na Bacia do Rio Paraná, no Leste do Mato Grosso do Sul. Rev Bras Cienc Solo. 2014; 38:
484 1565-1575. doi:10.1590/S0100-06832014000500022
485
- 486 Carvalho R, Silva MLN, Avanzi JC, Curi N, Souza FS. Erosão Hídrica em Latossolo Vermelho sob
487 Diversos Sistemas de Manejo do Cafeeiro no Sul de Minas Gerais. Ciênc Agrotec. 2007; 31: 1679-
488 1687. doi:10.1590/S1413-70542007000600012
489

- 490 Clark EV, Odhiambo BK, Yoon S, Pilati L. Hydroacoustic and spatial analysis of sediment fluxes
491 and accumulation rates in two Virginia reservoirs, USA. *Environ Sci Pollut. R.* 2015; 22: 8659-
492 8671. doi:10.1007/s11356-014-4050-x
493
- 494 Dane JH, Topp GC. *Methods of soil analysis: part 4 - physical methods.* 5th ed. Madison: Soil
495 Science Society of America, 2002.
496
- 497 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos.
498 *Manual de métodos de análise de solos.* 2nd ed. Rio de Janeiro: 2011.
499
- 500 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisas de Solos.
501 *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* 3rd ed. Rio de Janeiro: 2013.
502
- 503 Environmental Systems Research Institute - ESRI. Inc. *ArcGIS Professional GIS for the desktop*
504 *version 10.2.* Software. 2014.
505
- 506 Google Earth. Google. Version Pro 7.1.4.1529. 2015. [internet]. [acesso em 04 ago 2015].
507 Disponível em: <http://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>.
508
- 509 Gavrilovic Z. The use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment
510 Production and Transportation in Unstudied or Torrential Streams. In: *International Conference on*
511 *River Regime Hydraulics Research Limited*; 18–20 Mai 1988; Oxon UK. Wallingford: Hydraulics
512 *Research Limited*; 1988. p. 411-422.
513
- 514 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Carta Topográfica do Município de Alfenas*
515 *(FOLHA SF 23-1-1-3).* 1st ed. Rio de Janeiro: 1970.
516
- 517 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. *Manual técnico de pedologia.* 3rd ed. Rio de
518 *Janeiro: 2015.*
519
- 520 Karydas CG, Panagos P, Gitas IZ. A classification of water erosion models according to their
521 geospatial characteristics. *Int J Digit Earth.* 2014; 7: 229-250. doi:10.1080/17538947.2012.671380
522

- 523 Lombardi Neto F, Bertoni J. Tolerância de perdas de terra para solos do Estado de São Paulo.
524 Campinas: Instituto Agronômico, 1975. 12p. (Boletim técnico, 28).
525
- 526 Htwe TN, Brinkmann K, Buerkert A. Spatio-temporal assessment of soil erosion risk in different
527 agricultural zones of the Inle Lake region, southern Shan State, Myanmar. *Environ Monit Assess.*
528 2015; 187: 1-14. doi:10.1007/s10661-015-4819-5
529
- 530 Mcbratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma.* 2003; 117:
531 3-52. doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4
532
- 533 Mitasova HM, Mitas L, Brown WM, Johnston DM. Terrain modelling and soil erosion: applications
534 for Ft. Hood report for USA CERL [internet]. Champaign: University of Illinois, 2001. [acesso em
535 17 mai 2016]. Disponível em:
536 <http://shagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/reports/cer101/finalreport/report01/default.htm>.
537
- 538 Morgan RPC, Quinton JN, Smith RE, Govers G, Poesen JWA, Auerswald K, Chisci G, Torri D,
539 Styczen M.E. The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for
540 predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf Proc Land.* 1998; 23:
541 527-544. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(199806)23:6<527: AID-ESP868>3.0.CO;2-5
542
- 543 Munsell Color Company. Munsell soil color charts. Baltimore: 2009.
544
- 545 Nearing Ma, Foster GR, Lane LJ, Flinkener SC. A process based soil erosion model
546 for USDA water erosion prediction project technology. *T Asae.* 1989; 32: 1587-1593.
547 doi:10.13031/2013.31195
548
- 549 Oliveira FG, Seraphim OJ, Borja MEL. Estimativa de Perdas de Solo e do Potencial Natural de
550 Erosão da Bacia de Contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lageado, Botucatu – SP. *Energ*
551 *Agric.* 2015; 30: 302–309. doi:10.17224/EnergAgric.2015v30n3p302-309
552
- 553 Olivetti D, Mincato RL, Ayer JEB, Silva MLN, Curi N. Spatial and Temporal Modeling of Water
554 Erosion in Dystrophic Red Latosol (Oxisol) used for Farming and Cattle Raising Activities in a

- 555 Sub-Basin in the South of Minas Gerais. *Ciênc Agrotec.* 2015; 39: 58-67. doi:10.1590/S1413-
556 70542015000100007
- 557
- 558 Panagos P, Borrelli P, Meusburger K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-
559 Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences.* 2015a; 5: 117-126.
560 doi:10.3390/geosciences5020117
- 561
- 562 Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C.
563 The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ Sci Policy.* 2015b; 54: 438-
564 447. doi:10.1016/j.envsci.2015.08.012
- 565
- 566 Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Alewell C, Lugato E, Montanarella L. Estimating the soil
567 erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy.* 2015c; 48: 38-50.
568 doi:10.1016/j.landusepol.2015.05.021
- 569
- 570 Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Van der Zanden EH, Poesen J, Alewell C. Modelling the
571 effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale.
572 *Environ Sci Policy.* 2015d; 51: 23-34. doi:10.1016/j.envsci.2015.03.012
- 573
- 574 Pimentel D, Harvey C, Resosudarmo P, Sinclair K, Kurz D, McNair M, Crist S, Shpritz L, Fitton L,
575 Saffouri R, Blair R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation
576 benefits. *Science.* 1995; 267: 1117-1123. doi:10.1126/science.267.5201.1117
- 577
- 578 Pimentel D. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environ Dev Sustain.* 2006; 8: 119-137.
579 doi:10.1007/s10668-005-1262-8
- 580
- 581 Prochnow D, Dechen F, Maria IC, Castro OM, Vieira SR. et al. Razão de perdas de terra e fator C
582 da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). *Rev Bras Cienc Solo.* 2005; 29:
583 91-98. doi:10.1590/S0100-06832005000100010
- 584
- 585 Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. *Predicting Soil Erosion by Water: A*
586 *Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).* n. 703.
587 U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*; 1997.

- 588 Roloff G, Bertol OJ. Método para a estimativa da cobertura do solo e da altura do dossel de algumas
589 culturas de verão. *Rev Bras Cienc Solo*. 1998; 22: 319-327. doi:10.1590/S0100-
590 06831998000200018
591
- 592 Roose EJ. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West
593 Africa. In: Greenland DJ, Lal R, editores. *Soil conservation and management in the humid tropics*.
594 1st ed. Chichester: John Wiley & Sons; 1977. p. 177-187.
595
- 596 Santos HL, Júnior JM, Matias SSR, Siqueira DS, Martins Filho MV. Erosion factors and magnetic
597 susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. *Eng Agríc*. 2013; 33: 64 -
598 74. doi:10.1590/S0100-69162013000100008
599
- 600 Santos RD, Lemos RC, Santos HG, Ker JC, Anjos LHC. *Manual de descrição e coleta de solos no*
601 *campo*. 5th ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SbcS, Empresa Brasileira de
602 *Pesquisa Agropecuária - Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Cnps*, 2005.
603
- 604 Silva AM. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*. 2004; 57: 251-259.
605 doi:10.1016/j.catena.2003.11.006
606
- 607 Silva AM, Schulz HE, Camargo PB. *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas*. 2nd
608 ed. São Carlos: RiMa, 2007.
609
- 610 Silva BPC, Silva MLN, Batista PVG, Pontes LM, Araújo EF, Curi N. Soil and water losses in
611 eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin
612 in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciênc Agrotec*. 2016; 40: 432-442. doi:10.1590/1413-
613 70542016404013216
614
- 615 Silva MLN, Curi N, Lima JM, Ferreira MM. Avaliação de métodos indiretos de determinação da
616 erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesqui Agropec Bras*. 2000; 35: 1207-1220.
617 doi:10.1590/S0100-204X2000000600018
618

- 619 Silva MLN, Curi N, Ferreira MM, Lima JM, Ferreira DF. Proposição de modelos para estimativa da
620 erodibilidade de Latossolos brasileiros. *Pesqui Agropec Bras.* 1999; 34: 2287-2298.
621 doi:10.1590/S0100-204X1999001200016
622
- 623 Sparovek G, Van Lier QJ, Dourado Neto D. Computer assisted Köppen climate classification: a
624 case study for Brazil. *Int J Climatol.* 2007; 27: 257-266. doi:10.1002/joc.1384
625
- 626 Soil Survey Division Staff. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of
627 Agriculture Handbook 18. 1993.
628
- 629 Tamene L, Le QB. Estimating soil erosion in sub-Saharan Africa based on landscape similarity
630 mapping and using the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Nutr Cycl Agroecosys.* 2015;
631 102: 17–31. doi:10.1007/s10705-015-9674-9
632
- 633 Tarboton DG. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid
634 digital elevation models. *Water Resour Res.* 1997; 33: 309-319. doi:10.1029/96WR03137
635
- 636 Tarboton DG, Mohammed IN. Software TauDem 5.1.2: terrain analysis using digital elevation
637 models. [internet]. 2014 [acesso em 22 jul 2016]. Disponível em: <http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/downloads.html>.
638
639
- 640 Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais -
641 CPRM. Mapa Geológico da Folha Alfenas (SF-23-V-D-II). Escala 1:100.000. Rio de Janeiro:
642 CPRM. 2010.
643
- 644 United States Geological Survey - USGS. Landsat 8 Image. [internet]. 2016 [acesso em 17 jun
645 2016]. Disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov>.
646
- 647 Val, LA, Bahia VG, Freire JC, Dias Júnior MS. Erosividade das chuvas em Lavras – MG. *Ciência e*
648 *Prática.* 1986; 10: 199-209.
649
- 650 Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning.
651 *Agriculture Handbook.* n. 537. U.S. Department of Agriculture, Washington; 1978.
652

653 Zhang, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer.
654 Soil Sci Soc Am. J. 1997; 61: 1024–1030. doi:10.2136/sssaj1997.0361599500610004000
655
656

Quadro 1 - Valores do fator K e das variáveis para cálculo indireto da erodibilidade.

Variável	Descrição	Valor		
		LVD1	LVD2	LVD3
Fator K	Erodibilidade do solo ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$)	0,021	0,004	0,026
X ₁₄	Código do matiz do solo úmido segundo Munsell (adimensional)	2,000	2,000	2,000
X ₁₆	Código do grau da estrutura (adimensional)	3,000	3,000	2,000
X ₁₇	Código do tamanho da estrutura (adimensional)	3,000	3,000	2,000
X ₁₈	Código da forma da estrutura (adimensional)	2,000	2,000	2,000
X ₁₉	Código da plasticidade do solo (adimensional)	2,000	2,000	3,000
X ₂₂	Teor de AF dispersa com NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg^{-1})	92,000	88,500	97,000
X ₂₃	Teor de AMF dispersa com NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg^{-1})	27,000	24,000	28,500
X ₂₄	Teor de silte disperso com NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg^{-1})	109,000	72,000	107,000
X ₂₅	Teor de argila dispersa com NaOH 0,1 mol L ⁻¹ (g kg^{-1})	602,000	607,000	584,000
X ₂₆	Teor de AMG dispersa em água (g kg^{-1})	24,000	28,500	37,000
X ₂₇	Teor de AG dispersa em água (g kg^{-1})	77,000	99,000	77,000
X ₃₁	Teor de silte disperso em água (g kg^{-1})	173,500	160,500	165,500
X ₃₂	Teor de argila dispersa em água (g kg^{-1})	405,500	417,000	443,500
X ₃₄	Índice de floculação (adimensional)	327,000	313,000	240,600

Notas: Latossolo Vermelho Distrófico em relevos: plano e suave ondulado (LVD1), ondulado (LVD2) e forte ondulado (LVD3). Areia fina (AF); areia muito fina (AMF); areia muito grossa (AMG); areia grossa (AG). Fonte: Silva et al. (1999).

Quadro 2 - Fatores C e P para os usos e manejos verificados.

Uso e Manejo	Fator C	Fator P ¹	Autor
Café com espaçamento de 3,0 x 0,5 m e plantio em nível	0,1354	0,50	Prochnow et al. (2005)
Milho + feijão com plantio direto	0,0271	0,01	Bertol et al. (2001)
Eucalipto	0,1240	1,00	Silva et al. (2016)
Mata nativa	0,0150	0,00	Silva et al. (2016)
Carreador (divisor de glebas)	1,0000	1,00	-

Nota: ¹Valores de P obtidos de Bertoni e Lombardi Neto (2012) e Roose (1977).

Quadro 3 - Valores das Perdas de solo nas distintas Classes de Uso do Solo.

Classes de Uso do Solo	Área		Perda de solo média	Perda de solo total	Contribuição no total da perda de solo
	ha	%	$\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$	Mg ano^{-1}	%
Café	237,35	54,31	1,58	375,01	56,12
Milho + Feijão	60,49	13,84	0,12	7,26	1,08
Eucalipto	16,95	3,88	6,08	103,05	15,42
Mata Nativa*	68,99	15,78	0,01	0,69	0,10
Carreador	9,71	2,22	18,77	182,25	27,28
Usina de adubo	2,40	0,55	-	-	-
Drenagem	19,51	4,47	-	-	-
Área de deposição*	21,60	4,95	-	-	-
Total	437,00	100	1,52**	668,26	100

Notas: *Área da Mata Nativa = área de preservação permanente (APP) somada à área de reserva legal subtraída à área de deposição.

**Valor médio de perda de solo para a área de estudo.

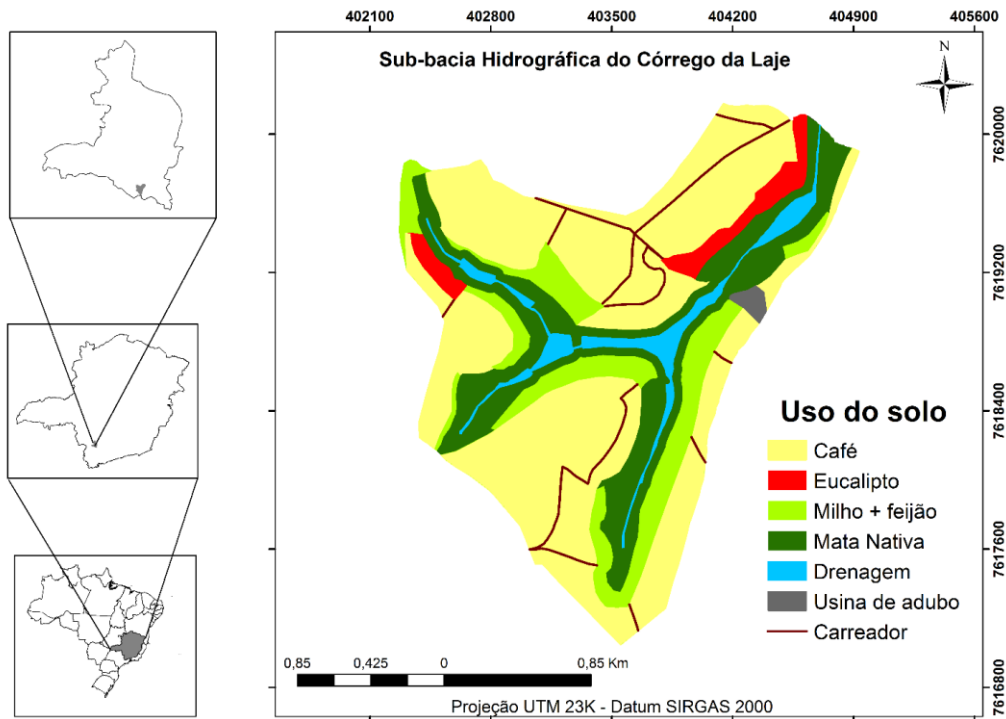


Figura 1 – Mapa da localização e de uso do solo da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje.

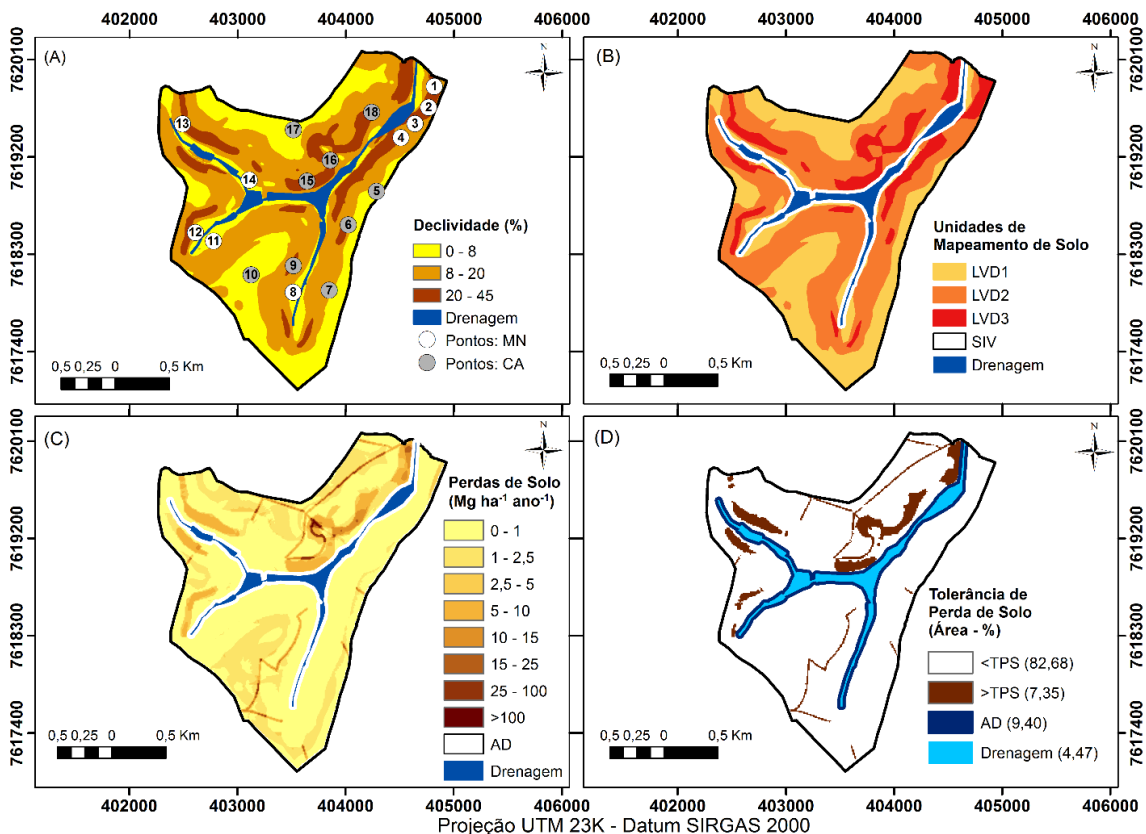


Figura 2 – (A) Mapa de Declividade com os locais de coleta de solos em mata nativa (MN) e café (CA). (B) Mapa Digital de Solos contendo as seguintes unidades de mapeamento: Latossolo Vermelho Distrófico em relevos plano a suave ondulado (LVD1), ondulado (LVD2) e forte ondulado (LVD3); Solos Indiscriminados de Várzea (SIV). (C) Mapa da classificação das perdas de solo por erosão hídrica adaptado de Beskow et al. (2009). (D) Mapa da porcentagem das áreas abaixo e acima do limite da Tolerância de Perda de Solo (TPS) com base nas perdas variando de 5,19 a 5,90 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Nota: área de deposição de sedimentos (AD).

23/03/2017

Gmail - Revista Brasileira de Ciência do Solo - Manuscript ID RBCS-2017-0093



Mendes Jr <mendesjr49@gmail.com>

Revista Brasileira de Ciência do Solo - Manuscript ID RBCS-2017-0093

1 mensagem

Revista Brasileira de Ciência do Solo

22 de março de 2017

<onbehalfof+autores+sbc.org.br@manuscriptcentral.com>

14:14

Responder a: autores@sbc.org.br

Para: ronaldomincato@gmail.com, rmincato@uol.com.br

Cc: mendesjr49@gmail.com, andresttavares@gmail.com, walbert.santos@ifsuldeminas.edu.br, marx@dcs.ufla.br, breno.santos@unifal-mg.edu.br, ronaldomincato@gmail.com, rmincato@uol.com.br

22-Mar-2017

Dear Dr. Mincato:

Your manuscript entitled "MODELING OF WATER EROSION IN RED OXISOLS UNDER COFFEE CULTURE" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Your manuscript ID is RBCS-2017-0093.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbc-scielo> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc04.manuscriptcentral.com/rbc-scielo>.

Thank you for submitting your manuscript to the Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Sincerely,

Revista Brasileira de Ciência do Solo Editorial Office

PARTE 3

CONCLUSÕES GERAIS

A aceleração dos processos da erosão hídrica pela ação antrópica é fator essencial na degradação do solo que repercute econômica, ambiental e socialmente. Dentre os fatores atuantes neste processo, o uso e as práticas de manejos aplicadas influenciam diretamente na quantidade de material erodido e carregado. Assim, a adoção de manejos conservacionistas contribui para a conservação e a manutenção da sustentabilidade do solo.

Em áreas de semi-intensivo cultivo, como as do café, é fundamental mensurar as perdas de solo para o conhecimento dos impactos da erosão hídrica sob o solo e a indicação de melhoras nas práticas de manejo no plantio.

A região do Sul de Minas representa grande importância para o cenário nacional do café, tanto em área plantada, quanto em produção. A Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje situa-se nessa área e apresenta uso do solo com plantios de café, milho + feijão em sucessão, eucalipto, solo exposto nos carregadores e açudes utilizados para a irrigação por gotejamento. A modelagem das perdas de solo, feita pela *Revised Universal Soil Loss Equation*, RUSLE utilizou os atributos morfológicos, físicos e químicos do solo, técnicas de geoprocessamento, imagens de sensoriamento remoto e dados da literatura especializada e os resultados foram comparados à Tolerância de Perda de Solo, TPS. Os valores das perdas de solo estão entre 0,01 e 18,77 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 1,52 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 7,35 % da área com perdas acima do limite da TPS que variou de 5,19 a 5,90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os fatores que mais influenciam nas perdas de solo são os declives mais acentuados e a ausência de práticas conservacionistas de manejo em algumas áreas. Estas áreas são prioritárias para a adoção de medidas de monitoramento e mitigação da erosão.

Para a diminuição das perdas de solos na sub-bacia, são recomendadas melhorias nas práticas de manejo, como:

- terraceamento nas áreas de maiores declives com cultivo, afim de diminuir a intensidade do fluxo e o carregamento de material erodido;
- para os carregadores a aplicação de cascalho aumentaria a resistência do solo à erosão e evitaria a desagregação das partículas do solo e o impacto da força da chuva. Além disso, a adoção de bacias de captação das águas de escoamento superficial diminuiria

o efeito da enxurrada e promoveria aumento da infiltração da água e abastecimento do lençol freático;

- para os povoamentos de eucalipto, por não apresentar nenhuma prática conservacionista de manejo, o replantio com aplicação de práticas de plantio em nível, maior adensamento e terraceamento nas áreas de maior declividade, contribuiria para diminuir as perdas de solo.

Vale ressaltar que, essas práticas conservacionistas contribuiriam também para a manutenção da sustentabilidade dos açudes, pois evitaria a eutrofização e o assoreamento, devido ao carreamento de fertilizantes junto com as partículas de solo erodidas.

A RUSLE permitiu modelar as perdas de solo na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje com rapidez e eficácia pela utilização dos atributos do solo, dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. Portanto, contribui para a avaliação e conservação dos solos em bacias e sub-bacias hidrográficas e contribuiu para a indicação das melhores práticas de manejo e mitigação da erosão hídrica na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego da Laje – Alfenas - MG.