

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

ADRIANO MOTA FERREIRA

**MODELAGEM DA EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GIGANTE – POÇOS DE CALDAS - MG**

Poços de Caldas/ MG

2019

ADRIANO MOTA FERREIRA

**MODELAGEM DA EROÇÃO HÍDRICA DOS SOLOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GIGANTE – POÇOS DE CALDAS - MG**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva

Co-orientadores:

Prof. Dr. Paulo Henrique B. J. Menezes.

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha

Poços de Caldas/MG

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca campus Poços de Caldas

F383m Ferreira, Adriano Mota.

Modelagem da erosão hídrica dos solos na bacia hidrográfica do
Córrego do Gigante – Poços de Caldas – MG / Adriano Mota
Ferreira. -- Poços de Caldas/MG, 2019.
133 f. –

Orientador(a): Antônio Marciano da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2019.
Bibliografia.

1. Recursos hídricos. 2. Erosão hídrica. 3. Solos – erosão. 4.
Bacias hidrográficas. 5. Transporte de sedimento. I. Silva, Antônio
Marciano da. II. Título.

CDD – 551.48

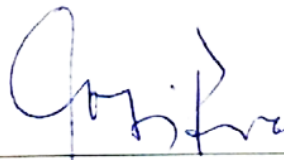
ADRIANO MOTA FERREIRA

**MODELAGEM DA EROSÃO HÍDRICA DOS SOLOS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO GIGANTE – POÇOS DE CALDAS - MG**

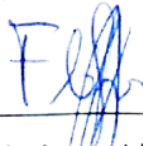
A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Meio Ambiente

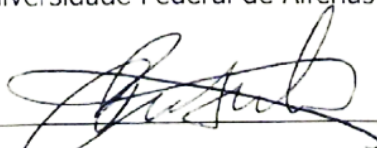
Aprovada em: 26 de fevereiro de 2019.



Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva
Universidade Federal de Alfenas



Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves
Universidade Federal de Alfenas



Prof. Dr. Romero Francisco Vieira Carneiro
Universidade Federal de Alfenas

À Mãe Terra pela oportunidade da vida;
À minha família, em especial ao meu melhor amigo e inspiração, meu pai sr. Helio
Ferreira; Aos professores Antônio Marciano da Silva, Henrique Takuji Fukuma e
Paulo Lima.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Universo pela vida, saúde e oportunidade sem os quais não seria capaz de conquistar meus objetivos.

À Universidade Federal de Alfenas, em especial ao Instituto de Ciência e Tecnologia, pela oportunidade de realizar esse curso e finalizá-lo.

Ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro para aquisição de equipamentos e custeio de serviços.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu Orientador, incentivador e grande amigo Professor Dr. Antônio Marciano da Silva pela confiança, sabedoria e humildade. O meu agradecimento profundo pelos ensinamentos desde a iniciação científica, no mestrado e principalmente para a vida.

Aos Professores Henrique Takuji Fukuma e Paulo Lima, pois seus votos de confiança me fizeram mais resiliente.

Ao Professor (co-orientador) e amigo Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes, que não mediu nenhum esforço para que este trabalho fosse realizado, desde as conversas, risadas, ferramentas e o Jeep nas idas a campo.

Ao Professor (co-orientador) e amigo Diego de Souza Sardinha, que me acompanha desde a graduação, pelo incentivo e colaboração na minha formação como pessoa.

Aos grandes professores Flávio Gonçalves e Romero Carneiro pela ajuda e contribuições valiosas na execução do trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental, no nome do Prof. Dr. Alexandre Silveira, pela ajuda na caminhada.

À Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental, mais especificamente a Kênia e Fernanda que com muito zelo se dedicam aos alunos da pós graduação.

Ao grande amigo Maurício Dias Purcino (Zé), ser humano incrível, pioneiro de estudos na Bacia do Ribeirão do Cipó. Obrigado pela ajuda na construção de todo este aprendizado (do SIG para a vida).

Aos grandes amigos Cláudio André dos Passos (Cafu), César Henrique Valentino (Cesão), Leonardo Barbosa Silva (Lonardo), Mateus Michelin e Eduardo Marcondes (Lemão) pela amizade, pelos trabalhos de campo intermináveis, obrigado pela parceria.

À Mineração Curimbaba, que nos proporcionou acesso às suas áreas e permissão para que os experimentos fossem instalados.

Ao DME Energética S.A. pelo apoio e suporte na instalação dos equipamentos, e experimentos em campo.

Aos técnicos de laboratório Marcel, Guilherme, Bruno, Mansueto e Luana pelo auxílio e paciência nas atividades.

Aos motoristas "João Pita", "João Velório" e "Claudião" por nos guiarem sempre com enorme cuidado.

Aos amigos da "Linha de Frente" da Engenharia Ambiental: Britão, Chuva, Flávio, Karl, Zé, PH, Tigrão, Tiezzi e Pai. Obrigado pela amizade! "Quem tá na linha de frente, não pode amarelar".

Aos amigos, Jorge Roumie, Will Oliveira, Adriana Oliveira, Silas Oliveira, Tia Alice, Alex Feijó, Sr. Paulo, Dona Léa, Ricardinho, Allisson Miranda, Mário Terra, Fernando Jr, Daniel Moras, Daniel Munaretti, Thiagão, Danila, Daniel Caconde, Cris, Roberta, Chandrinha, Cauã, Órion, Téia, Fer, Pablito, João das Coves, Lucas Negrito, Raissa Dolabella, Chico Schio, João Fábio, Fê, Bruno Pagin, Jana, Ana, Sandrinha, José Raposo e Tina. Talvez muitos não irão ler o presente agradecimento, mas o convívio com vocês me torna uma pessoa melhor.

À minha companheira, melhor amiga e namorada, Carolina Galhardo, que com carinho e paciência me apoia nas conquistas dos meus sonhos.

Por fim, à minha família e base de tudo: Hélio Ferreira (vencemos mais uma, Pai!), Maria Teresinha Mota Ferreira, Adriana Mota Ferreira, Ana Rita Mota Ferreira, Hélio Ferreira Júnior, Alfredo Mota Ferreira, Luiz Antônio Dutra de Souza, Luizinho, Brenda, Isabela, Matheus, Tia Ana, Alfredo Ferreira (*in memoriam*) e Rita Mariano Ferreira (*in memoriam*).

"Rita, faz um chá de cidreira pra esse menino que ele nasceu dum pé de vento"

Vô Alfredo e Vó Rita (in memoriam)

RESUMO

Os processos hidrossedimentológicos possuem dinâmica complexa e são fortemente influenciados pela erosividade das chuvas, pela resistência do solo à erosão e pelo manejo do solo. Ações de pesquisa dentro deste contexto foram desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante (BHCG), pela relevância de seus recursos naturais, para a mineração, o abastecimento público e geração de energia, que têm na presença de sedimentos suspensos, um grande fator de redução de sua eficiência e aumento de custos operacionais. Neste sentido, no presente estudo as perdas de solo decorrente da erosão hídrica foram estimadas por meio de parcelas experimentais para monitoramento da perda de solo e da água, onde avaliou-se o efeito das classes de solo, de relevo e de cobertura do solo; avaliou-se o poder erosivo das chuvas, modelou-se a erosão hídrica pelas aplicações dos modelos, *WEPP* (Water Erosion Prediction Project) e *RUSLE* (Revised Universal Soil Loss Equation), e também, estimou-se a massa de sedimentos suspensos transportada pelo deflúvio na seção de monitoramento da BHCG, e, a respectiva taxa de transferência. O regime pluvial apresentou elevado grau de concentração e de potencial erosivo. Com base nas parcelas experimentais estimou-se uma perda de $0.623 \text{ (t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1})$ abrangendo 50 % da área da BHCG, resultados que nortearam o ajuste do modelo *WEPP*, que permitiu expandir a área de abrangência, para 93%, com uma estimativa de $0.724 \text{ (t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1})$. As áreas de solo exposto, apesar de participarem com apenas 7,88% da área da BHCG, produziram 85.11 % das perdas de solo da BHCG, totalizando $108.60 \text{ t ano}^{-1}$. O Cambissolo Háplico (CX) apresentou maiores perdas que o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Constatou-se a influência positiva da cobertura vegetal mata nativa e Campo/Pasto, na diminuição da energia cinética da precipitação e conseqüentemente da erosão hídrica. A *RUSLE* superestimou as perdas de solo, pois, seus valores foram 28 vezes maiores do que os estimados com as parcelas experimentais. A massa de sedimento suspenso transportada (MSST) estimada a partir da concentração de sedimentos suspensos (CSS), foi 25.43 t ano^{-1} , equivalendo à $0.071 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As taxas de transferência de sedimento estimadas, foram de 0.23 a 11.40 %, associadas respectivamente à perda por erosão hídrica (PSEH) estimadas pela *RUSLE*, e parcelas experimentais.

Palavras – chave: Perdas de solo. *WEPP*. *RUSLE*. Sedimentos em suspensão.

ABSTRACT

Hydrosedimentological processes present complex dynamics and are heavily influenced by rainfall erosivity, soil resistance to erosion and soil management. Within this context, research actions were developed on the catchment area of Gigante Stream (BHCG), due to its natural resources relevance to mining, public water supply and power generation, and which in the presence of suspended sediment, plays a big factor in efficiency reduction and operational costs increase. In this study, soil losses resulting from water erosion were estimated by means of experimental plots for soil and water loss monitoring, where the effects of soil, relief and land cover classes were assessed. In addition, the erosive power of rainfall was evaluated and water erosion was modeled by WEPP (Water Erosion Prediction Project) and RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation). Finally, the mass of suspended sediments transported by flood on the BHCG monitoring section, and its respective transfer rate, were also estimated. The pluvial regime presented a high degree of concentration and erosion potential. Based on the experimental plots, a loss rate of $0.623 \text{ (t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}\text{)}$ was estimated covering 50% of the BHCG area. These results served as calibration guide to the WEPP model, which allowed expansion of the coverage area to 93%, and estimation of $0.724 \text{ (t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}\text{)}$. The exposed soil areas, despite making up only 7.88% of the BHCG area, were responsible for 85.11% of the soil losses from BHCG, summing up to $108.60 \text{ t year}^{-1}$. The Hapless Cambisol Soil presented greater loss rate than that of the Red-Yellow Latosol Soil. A positive influence of the native forest and field/pasture vegetation covers was observed on the decrease of rainfall kinetic energy and consequently water erosion. The RUSLE model overestimated soil losses, since its observed values were 28 times greater than the estimated ones from the experimental plots. The mass of suspended sediment transported (MSST), estimated by the concentration of suspended sediments (CSS), was at $25.43 \text{ t year}^{-1}$, equivalent to $0.071 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Sediment transfer rates were estimated in 0.23 to 11.40%, associated respectively to loss by erosion (PSEH) - estimated by the RUSLE - and experimental plots.

Keywords: Soil losses. WEPP. RUSLE. Suspended sediment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Obtenção gráfica do fator erodibilidade – K.	26
Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante (BHCG). ..	37
Figura 3 - Escopo das parcelas de monitoramento	41
Figura 4 - Parcela experimental instalada em campo.	42
Figura 5 - Caixa com escala métrica (cm) utilizada na calibração e quantificação do deflúvio (Df).....	43
Figura 6 - Curva de calibração Volume X Lâmina - Caixa 1A.	44
Figura 7 - Curva de Calibração Esd x Lâmina - Caixa 1A.....	44
Figura 8 - Curva de calibração Volume X Lâmina - Caixa 1B.	44
Figura 9 - Curva de Calibração Esd x Lâmina - Caixa 1B.....	44
Figura 10 - Localização das parcelas experimentais na BHCG.	46
Figura 11 - Estação Hidrossedimentométrica instalada na BHCG.....	47
Figura 12 - Estação Hidrossedimentométrica instalada na BHCG – (a) Caixa com circuito interno da estação; (b) Pluviômetro SL 2010.....	47
Figura 13 - Frasco utilizado nas coletas (200 mL)	48
Figura 14 - Interfaces de entrada para (a) solos, (b) uso do solo, e (c) criação das encostas..	52
Figura 15 - Malha regular de pontos utilizada para amostragem de valores de latitude/ longitude e altimetria.	57
Figura 16 - Exemplo de série de subseções de largura igual.	61
Figura 17 - Subamostras proporcionais as velocidades de trânsito, amostradas pela metodologia IIL.	62
Figura 18 - Aparato de filtragem das amostras de hidrossedimento.	63
Figura 19 - Modelo digital de terreno (MDT) e Mapa de declividade da BHCG..	67
Figura 20 - Mapa de Solos da BHCG.	68
Figura 21 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da BHCG.....	69
Figura 22 - Relação entre EI_{30} (modelo de Wischmeier e Smith) e lâmina precipitada - BHCG - Poços de Caldas - MG.	75
Figura 23 - Relação entre EI_{30} (modelo de Wagner e Massambani) e lâmina precipitada – BHCG Poços de Caldas - MG.	75

Figura 24 - Correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P1.....	78
Figura 25- Correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P2.....	78
Figura 26 - Correlação entre EI_{30} x Perdas de Solo para parcela experimental 1 (P1).	79
Figura 27 - Correlação entre EI_{30} x Perdas de Solo para parcela experimental 2 (P2).	79
Figura 28 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P1.	86
Figura 29 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P2.	86
Figura 30 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P3.	86
Figura 31 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P4.	86
Figura 32 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P5	87
Figura 33 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P6	87
Figura 34 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P7	87
Figura 35 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P8	87
Figura 36 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P9	88
Figura 37 - Curva PS ($Kg\ ha^{-1}$) x Df (mm) - P10	88
Figura 38 - Curva EI_{30} x PS - P1.	90
Figura 39 - Curva EI_{30} x PS - P2.	90
Figura 40 - Espacialização dos fatores da RUSLE.	101
Figura 41 - Espacialização das perdas AR1, AR2 e AR3, reclassificadas para classes de vulnerabilidade	106
Figura 42 - Curva-chave da vazão em função do nível de água - $Q = f(NA)$ para BHCG.	109
Figura 43 - Curva-chave da concentração de sedimentos suspensos em função da vazão - $CSS = f(Q)$ - para a BHCG.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Interações para os dados classe de solo, uso do solo e classes de declividade na BHCG.	45
Tabela 2 - Valores utilizados de matéria orgânica (M.O), argila, areia e condutividade hidráulica de solo saturado (CHSS) para simulações das parcelas experimentais.....	53
Tabela 3 - Informações de entrada referentes ao uso e manejo do solo.....	54
Tabela 4 - Declividades médias dentro dos intervalos de ocorrência e áreas de abrangência.	55
Tabela 5 - Equações utilizadas para as respectivas cidades.	58
Tabela 6 - Classes de solos, áreas e valores utilizados para erodibilidade.....	59
Tabela 7 - Classes mapeadas para uso e manejo, e índices correspondentes. .	60
Tabela 8 - Características do relevo da BHCG.	66
Tabela 9 - Classes de declividades e ocorrências na BHCG.	67
Tabela 10 - Quantificação das classes de uso e ocupação na BHCG.	69
Tabela 11 -Classificações dos eventos erosivos na BHCG.	73
Tabela 12 - Eventos utilizados para correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P1 e P2.	77
Tabela 13 - Síntese do monitoramento da erosão hídrica nas parcelas instaladas na BHCG- período de dez/2017 a dez/2018.	81
Tabela 14 - Resultados da simulação das perdas de solo anual para cada parcela experimental.	92
Tabela 15 - Resultados estimados pelo modelo para K_e , K_i , K_r e T_c	94
Tabela 16 - Valores estimados para a Erosividade da chuva, anual e para os períodos seco e úmido, pelo Índice de Fournier para as estações vizinhas à área de estudo.	100
Tabela 17 - Resultados médios de perdas de solo AR1.....	103
Tabela 18 - Resultados médios de perdas de solo AR2.....	103
Tabela 19 - Resultados médios de perdas de solo AR3.....	104
Tabela 20 - Perdas de solo associadas às classes de solo.	105

Tabela 21 - Distribuição das Classes de Vulnerabilidade a erosão hídrica de acordo com Bescow et al. (2009).....	107
Tabela 22- Síntese das coletas de monitoramento realizadas na seção da BHCG.	108
Tabela 23 - MSST, totais mensais para o período de estudo.....	110
Tabela 24 - Resultados obtidos para TTSS.	112
Tabela 25 - Dados obtidos para simulações das parcelas com os dados de campo para CX.	130
Tabela 26 - Dados obtidos para simulações das parcelas com os dados de campo para LVA.	131
Tabela 27 - Dados obtidos nas simulações das parcelas com dados gerados pelo modelo para CX.	132
Tabela 28 - Dados obtidos nas simulações das parcelas com dados gerados pelo modelo para o LVA.....	133

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	18
3.2	MODELOS DE PREDIÇÃO DE PERDAS DE SOLO	22
3.2.1	Fator erosividade das chuvas.....	23
3.2.2	Fator de Erodibilidade do Solo (K).....	24
3.2.3	Fator Topográfico – LS	27
3.2.4	Fator de Uso e Manejo (C) e Fator de Práticas Conservacionistas (P) .	27
3.3	WEPP - WATER EROSION PREDICTION PROJECT	29
3.3.1	Componentes de erosão do solo	30
3.3.2	Componentes hidrológicos.....	32
3.3.3	Componentes de crescimento de planta e de decomposição de resíduos	34
3.3.4	Componentes do balanço hídrico	34
3.3.5	Componente hidráulica do escoamento superficial	35
3.3.6	Componente solo	35
4	MATERIAIS E ABORDAGEM METODOLÓGICA	36
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.2	PRECIPITAÇÕES EROSIVAS	39
4.3	PARCELAS EXPERIMENTAIS.....	40
4.4	ALOCAÇÃO ESPACIAL DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS	45
4.5	OBTENÇÃO DOS DADOS DE PERDAS DE SOLO	48
4.6	CORREÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO DAS PARCELAS 1 E 2.....	51

4.7	OBTENÇÃO DE DADOS PARA SIMULAÇÃO NO MODELO <i>WEPP</i>	51
4.8	REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (RUSLE).....	56
4.8.1	Fator de erodibilidade do solo (K)	58
4.8.2	Fator Topográfico (LS)	59
4.8.3	Fator de Uso de Manejo do Solo (C).....	60
4.9	CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO (CSS)	61
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GIGANTE (BHCG)	66
5.2	PRECIPITAÇÕES EROSIVAS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO	70
5.3	PARCELAS EXPERIMENTAIS DE PERDA DE SOLO E ÁGUA.	76
5.4	SIMULAÇÕES - <i>WEPP</i>	92
5.5	SIMULAÇÕES - RUSLE	99
5.6	CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO SUSPENSO (CSS).....	107
5.7	TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO SUSPENSO (TTSS)	112
6	CONCLUSÕES.....	114
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
	REFERÊNCIAS.....	117
	APÊNDICE.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR1	- Perda de solo média anual com utilização da metodologia R1
AR2	- Perda de solo média anual com utilização da metodologia R2
AR3	- Perda de solo média anual com utilização da metodologia R3
BHCG	- Bacia hidrográfica do Córrego do Gigante
C	- Fator de uso e manejo do solo (adimensional); e
CSS	- Concentração de sedimentos em suspensão
CX	- Cambissolo Háplico
Df	- deflúvio superficial direto
Esd	- escoamento superficial direto
FAO	- Food and Agricultural Organization
IIL	- Igual Incremento de Largura
K	- Fator erodibilidade do solo ($t\ ha\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$);
Ke	- condutividade hidráulica efetiva
L	- Fator comprimento de rampa (adimensional);
LISEM	- Limburg Soil Erosion Model
LVA	- Latossolo Vermelho-Amarelo
MDT	- Modelo digital de terreno
MSS	- Massa de sedimento suspenso
MSST	- Massa de sedimento suspenso transportado
MUSLE	- Modified Universal Soil Loss Equation
P	- Fator de práticas conservacionistas (adimensional)
PS	- Perda de solo
PSEH	- Perda de solo por erosão hídrica
R	- Fator erosividade da chuva ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$);
RUSLE	- Revised Universal Soil Loss Equation
S	- Fator de declividade de encosta (adimensional);
SIV	- Solos indiscriminados de várzea
SWAT	- Soil and Water Assessment Tool
TTSS	- Taxa de transporte de sedimentos suspensos
USLE	- Universal Soil Loss Equation
WEPP	- Water Erosion Prediction Project

1 INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é considerada um dos maiores problemas ambientais em todo o mundo, influenciando, tanto nos solos agrícolas quanto nos florestais, (HU; FLANAGAN, 2013). De acordo com Garcia et al. (2003), em locais onde se instalam processos erosivos, ocorre redução da capacidade produtiva dos solos e a água excedente transporta sedimentos, nutrientes e agroquímicos, contaminando e assoreando corpos hídricos.

O manejo inadequado dos solos traz consequências imediatas de cunho ambiental, por desencadear a redução, tanto da biomassa nativa quanto da produtividade das culturas. A variabilidade do regime pluvial associada à antropização do meio ambiente altera negativamente o uso do solo e promove diminuição da infiltração das águas, comprometendo o processo de recarga dos aquíferos subterrâneos, intensifica a perda de solo agricultável e consequente assoreamento da rede de drenagem, o que afeta invariavelmente, a dinâmica da água nas bacias, com reflexo na sua capacidade de gerar e manter um regime de escoamento, com bom grau de regularização.

A integração entre técnicas de sistemas de informação geográfica (SIG) e modelos hidrossedimentológicos é uma importante ferramenta para o gerenciamento da água e do solo (MEDEIROS, 2014), permitindo a identificação de áreas com maior propensão à erosão e transporte de sedimentos, a recomendação de práticas de conservação mais eficazes para as condições de vulnerabilidade de cada trecho ou setor da bacia hidrográfica, sendo, portanto, um produto importante que se pode disponibilizar para agentes conservacionistas e extensionistas.

Desta forma, modelos de simulação e estimativa de erosão são úteis, os quais, podem também ser usados para avaliar estratégias alternativas para melhorias no manejo e uso do solo, gestão de bacias hidrográficas, devido às demandas crescentes sobre a qualidade da água e da segurança das estruturas artificiais, sejam barragens, pontes, portos e sistemas de abastecimento de água em geral (ZHENG et al., 2014).

As ações de pesquisa foram desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante (BHCG), sub-bacia da Bacia do Ribeirão do Cipó, que assume relevância pelo uso de seus mananciais, para três atividades das mais relevantes no contexto econômico e dos recursos hídricos, do município de Poços de Caldas: abastecimento público, geração de energia e mineração, as quais, têm na presença de sedimentos suspensos, um grande fator de redução de sua eficiência e aumento de custos operacionais.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo contempla a estimativa e a modelagem da erosão hídrica do solo, por meio da aplicação do modelo *WEPP* (Water Erosion Prediction Project), com base no monitoramento de parcelas de perda de solo, na bacia hidrográfica do Córrego do Gigante em Poços de Caldas – MG.

Foram ainda estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar a área de estudo Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante;
- b) Monitorar e caracterizar as precipitações erosivas;
- c) Monitorar as perdas de solo por meio de parcelas instaladas em campo;
- d) Avaliar o efeito do relevo e cobertura do solo sobre as perdas de solo por erosão hídrica;
- e) Aplicar o modelo *WEPP*, *Water Erosion Prediction Project* nas parcelas experimentais;
- f) Estimar a perda de solo pelo modelo *RUSLE*;
- g) Estimar a concentração de hidrossedimentos suspensos e a massa transportada na seção de controle;
- h) Avaliar a taxa de transferência de sólidos em suspensão na seção de controle.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A erosão hídrica pode ser contextualizada como o processo de desgaste da superfície terrestre pela ação da água, que destaca e remove o solo ou seu material geológico de origem de um ponto da superfície e o deposita em outro (SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 2008), evento este que é, predominantemente, responsável pela produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica (BATISTA, 2016).

O processo erosivo descrito pode ser dividido nas seguintes fases: desagregação, transporte e deposição (BRADY; WEIL, 2013). A desagregação é a primeira fase do processo erosivo e consiste do desprendimento das partículas de solo (individuais ou agregados) da massa que as contém. O transporte, segunda fase do processo erosivo, consiste na transferência das partículas desagregadas do solo, de seu local de origem para outro, seja pelo salpicamento decorrente das gotas de chuva ou pelo próprio escoamento superficial. Já a deposição, é a terceira e última fase, consistindo na deposição do material que foi desagregado e transportado. Sua ocorrência é devida ao fato da quantidade de sedimentos contida no escoamento superficial, ser maior que sua capacidade de transporte (AMORIM, 2004; COGO; BERTOL, 1998; PRUSKI, 2013).

A erosão hídrica do solo resulta da ocorrência simultânea de vários fatores associados aos efeitos da erosividade das chuvas e à erodibilidade dos solos, em que os principais fatores estão relacionados às suas características físicas e ao uso do solo (topografia, cobertura vegetal, práticas de conservação e manejo) (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

De acordo com Andrello (2004), o aumento na taxa de erosão devido às perturbações antropogênicas, tem influenciado na qualidade do solo assim como no cenário ambiental e, segundo Purcino (2017), o processo intensificado é oriundo das atividades antrópicas como desmatamento, atividades agropecuárias e o manejo inadequado do solo.

Entre os efeitos ocasionados pela erosão hídrica, está a redução dos teores de matéria orgânica e dos nutrientes do solo, assim como, a degradação de sua estrutura (DOTTERWEICH, 2013). Ressaltam-se, ainda, problemas ocasionados nos cursos d'água e reservatórios em consequência dos processos erosivos, associados a assoreamento, poluição e a eutrofização das águas superficiais, prejuízo na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, podendo ainda tornar grandes áreas improdutivas ou economicamente inviáveis (BARROSO; SILVA, 1992; HIGGIT, 1991).

Nas regiões tropicais, o desgaste provocado no solo por erosão hídrica é a mais importante forma de degradação do solo (CÂNDIDO et al., 2014; PRUSKI, 2013). A FAO (Food and Agricultural Organization) em 2015 publicou em seu relatório, "Status of the World's Resources: main report", que as perdas por erosão hídrica, alcançaram de 20 a 30 Gt.ano⁻¹.

A quantificação da erosão é importante para determinar seu impacto ambiental. Tal quantificação pode ser realizada por intermédio da modelagem do processo, para o desenvolvimento de avaliações confiáveis de predições de perdas de solo, fator essencial para a gestão de programas e técnicas voltadas para o controle da erosão do solo (TOY, 2002).

Pode-se, por exemplo, prever os impactos antes mesmo de uma determinada cultura ou prática agrícola ser adotada, consistindo a modelagem então, uma ferramenta importante ao suporte de decisão, uma vez que as alternativas de manejo são numerosas e, muitas vezes, de alto custo, e também seus resultados lentos, levando anos ou décadas para exercer influência na erosão (CHAVES, 1996; STROOSNIJDER, 2005).

O desenvolvimento de modelos preditores de erosão hídrica têm recebido grande atenção por parte de cientistas do solo, devido à dificuldade de medições diretas da erosão em campo (BATISTA, 2016).

Os sedimentos gerados por processos erosivos hídricos são transportados até os corpos d'água, por escoamento superficial direto. O sedimento quando incorporado ao curso d'água denomina-se hidrossedimento, sendo este transportado em suspensão ou arraste de fundo. A qualidade da água está

diretamente vinculada às propriedades do sedimento por ela transportada. (MELLO; SILVA, 2013).

A intensificação do carreamento de hidrossedimentos pelos cursos d'água ocorre em sua maioria na época chuvosa sendo que, entre 70 e 90 % de todo o sedimento transportado nas calhas dos corpos d'água tem ocorrência no período das chuvas, e principalmente durante as fortes precipitações, de acordo com Carvalho (2008).

Os sedimentos que chegam até o curso d'água podem apresentar diversas formas, tamanho e peso, sendo que essas características influenciam no processo de transporte a que são submetidos (Carvalho, 2008). Nesse sentido, pode-se classificar o transporte em três tipos: sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e carga sólida de arrasto (COUTO JÚNIOR, 2016), além da carga sólida saltante (Carvalho, 2008).

Segundo Carvalho (2008), os sólidos transportados por suspensão são constituídos, geralmente, por silte e argila. Esses sólidos em suspensão podem representar mais de 90% do material transportado (SYVITSKI et al., 2003; WALLING ; FANG, 2003). Entretanto, pesquisas demonstram que podem haver rios com descarga sólida de leito com valores elevados, iguais, ou até mesmo superiores a descarga sólida suspensa, comumente observados em rios com muito material rochoso no leito e de águas límpidas (CARVALHO, 2008; DURÃES; et al., 2016; MERTEN et al., 2007; MOREIRA, 2017).

Quantificações mais precisas da descarga sólida suspensa são obtidas por medições diretas na calha do curso d'água e abrangendo todo o ano hidrológico, pois há ampla variabilidade temporal na concentração de sedimento suspenso (SKARBØVIK et al., 2012). A quantificação fornece, ainda, informações sobre a massa total transportada pelo curso d'água assim como as propriedades do hidrossedimento carreado.

Existem vários métodos para quantificação da descarga em suspensão, sendo classificados como diretos ou indiretos, sendo equipamentos desenvolvidos para atendimento a diversas condições de trabalho no campo, tanto a variações de concentrações quanto de granulometria do material. (CARVALHO 2000).

Um dos métodos mais utilizados, e recomendados de amostragem de sedimento em suspensão, pela sua simplicidade, é o método de Igual Incremento de Largura (IIL) do inglês Equal Width Incremente (EWI) (CARVALHO, 2008). Neste método, a área da seção transversal é dividida numa série de verticais igualmente espaçadas. Em cada vertical se utiliza a amostragem por integração na vertical, mas com a mesma velocidade de trânsito em todas as verticais. Como as velocidades médias em cada vertical são diferentes, diminuindo geralmente do talvegue para as margens, então as quantidades amostradas por garrafa vão se reduzindo (CARVALHO, 2000).

De acordo com Silva (2015), a taxa de transferência de sedimento ou aporte de sedimentos é uma relação entre a produção de sedimento que passa pelo exutório de uma bacia hidrográfica e a erosão total que ocorre a montante do ponto estabelecido.

Devido ao fato de apenas uma parte dos sedimentos desprendidos nas vertentes de bacias hidrográficas alcançar os cursos d'água e o ponto de eflúvio da bacia, uma taxa de entrega de sedimentos é usada para expressar o percentual de erosão bruta que eventualmente contribui para a produção de sedimentos, definida como a quantidade de sedimentos que é descarregada pelo canal principal (WALLING, 1994).

Tal taxa de transferência de sedimentos, está associada às características da bacia, como: forma da encosta, área de drenagem, distância que percorre o fluxo entre a fonte e seu exutório, porcentagem de cobertura vegetal no caminho percorrido pelo fluxo entre a área fonte e à saída da bacia, e textura do material de solo erodido (SILVA et al., 2009; VAN MAERCKE et al., 2011; SILVA, 2015). A taxa de transferência de sedimentos ou SDR (Sediment Delivery Ratio) é comumente calculada pela relação da estimativa dos sedimentos transportados na seção de controle da bacia hidrográfica ao longo do ano (média anual) e a perda de solo por erosão hídrica (PSEH) em $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, sendo também a erosão bruta anual. Ressalta-se, que, neste caso, o valor da transferência varia entre 0 e 1. De acordo com Silva (2015), alguns autores estudaram a relação entre a taxa de transferência de sedimentos e a área, entre eles Walling (1999), concluindo que quanto maior a área de drenagem de uma bacia hidrográfica,

menor é o valor da taxa de entrega de sedimentos. Logo, uma grande bacia hidrográfica tem maior possibilidade de possuir mais barreiras naturais, por exemplo, depressões, que propiciem a retenção de sedimentos. Outra metodologia para se estimar o valor de SDR relaciona-se a taxa com a área de drenagem da bacia hidrográfica (LU et al., 2006; WALLING, 1983), com a utilização de parâmetros empíricos relacionados às características físicas e hidrológicas da bacia hidrográfica (CHAVES, 2010; SILVA, 2015).

3.2 MODELOS DE PREDIÇÃO DE PERDAS DE SOLO

De acordo com Amorim (2004), entre 1890 e 1947 os estudos associados à erosão se limitavam apenas ao entendimento e a descrição qualitativa dos principais fatores que afetavam o processo erosivo. Ainda de acordo com o autor, Cook (1936) já havia reconhecido a complexidade do processo erosivo, assim como dos fenômenos hidrológicos e sedimentológicos em bacias hidrográficas.

Existem vários modelos para a predição da perda de solo, sendo eles empíricos e, ou, físicos. As utilizações destes modelos dependem das informações disponíveis para a área de estudo (PURCINO, 2017). Os primeiros modelos empíricos de erosão foram desenvolvidos nos EUA ainda na década de 1940, alcançando então a elaboração da Equação Universal de Perda de Solo - *Universal Soil Loss Equation – USLE* (WISCHMEIER ; SMITH, 1978). O modelo é um dos mais conhecidos para predição de erosão e dos mais comumente utilizados. Considera-se uma equação empírica utilizada para estimar erosão entressulcos e nos sulcos em função dos fatores que representam o clima, solo, a topografia e o uso e manejo do solo. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) é mostrada na Equação (1):

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

Em que,

A = Perda de solo média anual ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

R = Fator erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$);

K = Fator erodibilidade do solo ($t \text{ ha h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

L = Fator comprimento de rampa (adimensional);

S = Fator de declividade de encosta (adimensional);

C = Fator de uso e manejo do solo (adimensional); e

P = Fator de práticas conservacionistas (adimensional).

3.2.1 Fator erosividade das chuvas

O fator erosividade da chuva representa o potencial natural da chuva em provocar erosão do solo, cuja definição física consiste do produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima consecutiva em 30 minutos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). De acordo com Carvalho et al. (2004) necessita-se a definição exata do evento individual de precipitação para que se realize o cálculo da energia cinética total da chuva, componente EI_{30} , ou R. Para eventos isolados, e independentes, são considerados os intercalados por um período de no mínimo 6 horas, ou quando a precipitação é menor que 1mm. Quanto às chuvas classificadas como erosivas, de acordo com De Maria (1994), as precipitações menores que 10mm, intensidade máxima em 15 minutos, menor que 24 mm h^{-1} ou energia cinética menor que 3,6 MJ são consideradas não erosivas.

A erosividade pode ser estimada para eventos individuais, ou médias mensais ou anuais. Para eventos individuais as informações são obtidas de pluviogramas e para as médias mensais aplicam-se equações empíricas que estima a erosividade a partir de séries históricas de precipitação de no mínimo 10 anos consecutivos (PURCINO, 2017).

No Brasil, a base de dados relativa a precipitação é predominantemente de pluviômetros, ou seja, de totais diários precipitados. Assim, os estudos sobre erosividade são menos precisos no país. Uma das formas encontradas para estimar a erosividade média mensal para uma localidade desprovida de informações pluviográficas é baseando-se em um índice, denominado Índice de Fournier Modificado (MFI) que consiste em uma equação empírica obtida por regressão de dados de pluviogramas e depende apenas dos valores médios

mensais e médios anuais (pelo menos 10 anos) de precipitação, dos quais são mais amplos em disponibilidade (FREIMUND, 1994; MELLO; SILVA, 2013; RENARD).

Viola et al. (2014) desenvolveram um estudo da distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins, com análise de séries históricas pluviométricas de 97 postos pluviométricos, compreendendo o período de 1985 a 2009. A erosividade foi estimada por meio de equações nas quais a variável independente foi a precipitação média mensal ou o coeficiente de chuva de Fournier (R_c). Os autores encontraram valores de erosividade anual entre 6.599 e 14.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, sendo identificadas três regiões prioritárias para ações de planejamento visando a conservação do solo e da água.

Mello et al. (2013) desenvolveram para estimativa da erosividade média anual de forma espacialmente distribuída, um modelo geográfico e estatístico, utilizando-se de análise multivariada. Os parâmetros latitude, longitude e altitude são utilizados para geração dos dados de erosividade anual. Ainda segundo os autores, possibilita aos profissionais estimar o potencial de erosividade das chuvas para qualquer local no Brasil, constituindo um modelo matemático prático e confiável para o manejo do solo e da água, e também pode suportar a geração de banco de dados para simulação de perdas de solo de acordo com modelos *USLE / RUSLE* em um ambiente SIG, fornecendo previsões confiáveis de um dos mais importantes parâmetros destes modelos.

Mello et al. (2015) utilizaram o Índice de Fournier Modificado para avaliar o impacto das mudanças climáticas na erosividade, identificaram a importância em estimar as médias de perda de solo combinadas às chuvas erosivas, projetadas para o Século XXI, a fim de contribuir com as estratégias de conservação do solo.

3.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

De acordo com Rodrigues (2017), existem solos naturalmente mais resistentes ou mais susceptíveis a erosão do que outros. O fator K diz respeito a erodibilidade dos solos, sendo então a susceptibilidade intrínseca de cada um a

erosão em função de suas características químicas, físicas e pedológicas como textura, permeabilidade, matéria orgânica, material parental, entre outros (PRADHAN et al., 2012; WISCHMEIER; SMITH, 1978). Ainda em relação a erodibilidade dos solos, Araújo et al. (2011) explica a erodibilidade dos solos como fator intrínseco a cada tipo de solo e define também como a resistência aos processos erosivos, relacionados aos processos de da infiltração da água, desagregação pelo impacto das gotas de chuva e a resistência ao transporte.

As avaliações experimentais da erodibilidade, conforme o padrão da equação universal de perda de solos, demandam longos períodos de medições por dependerem da ocorrência de chuvas, e, demasiados recursos financeiros, como destacado por Purcino (2017).

O primeiro método para estimativa da erodibilidade do solo foi desenvolvido por Wischmeier et al. (1971) o qual consiste em uma representação gráfica (nomograma), que se baseia na combinação das propriedades físicas do solo (porcentagem de silte assim como areia muito fina, entre 0.1 e 0.2 mm); estrutura e classe de permeabilidade; e da porcentagem de matéria orgânica. Pode-se, ainda, determinar a erodibilidade por meio da equação proposta por Wischmeier e Smith (1978) utilizada na construção do nomograma citado.

Outra metodologia utilizada para determinação da erodibilidade do solo, propõe a correlação entre a erosividade da chuva (R) e as perdas de solo observadas em parcelas experimentais com chuva simulada. Segundo Eduardo (2012), essa metodologia apresenta vantagem em agilizar a obtenção dos dados importantes a respeito do efeito de práticas de manejo do solo e culturas visando a conservação do solo. A erodibilidade, neste caso, é expressa como quantidade de solo perdido por unidade do fator R, considerando uma parcela padrão da *USLE*, assume-se que os demais parâmetros (LS, C e P são iguais a unidade, por se tratar da parcela mantida sem cobertura. Assim, a equação (USLE) pode ser reduzida como mostrado na Equação (2):

$$A = K * R \quad (2)$$

A partir destas considerações, o fator K se define como o coeficiente angular de uma reta que passa pela origem, tendo a erosividade (R) como variável independente, e, a perda de solo (A) como variável dependente (Figura 1).

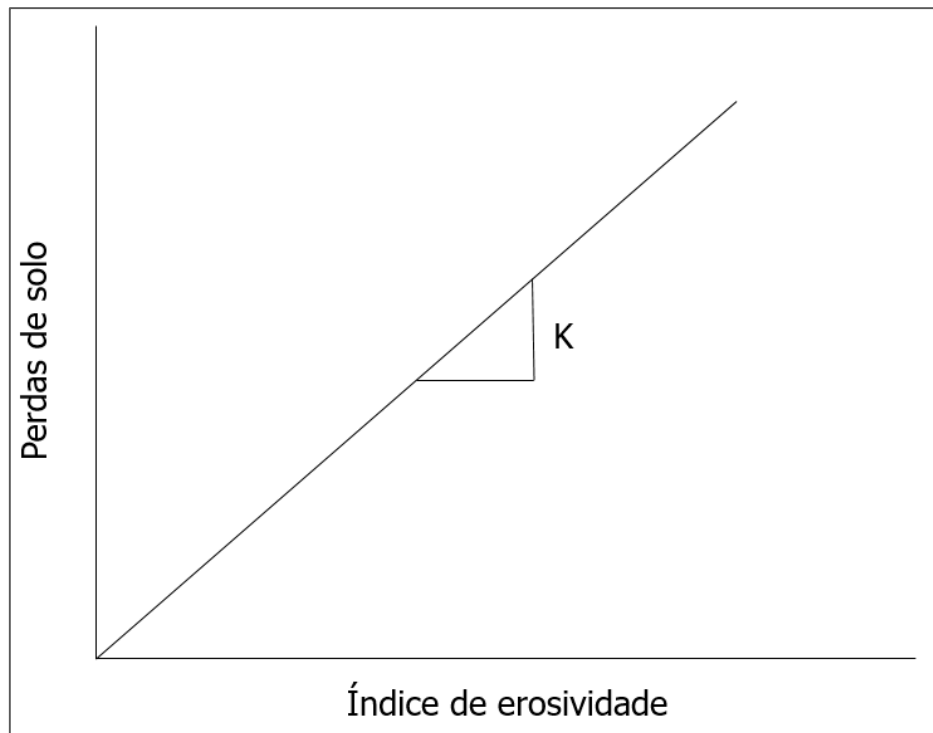


Figura 1 - Obtenção gráfica do fator erodibilidade – K.
Fonte: Adaptado de Pruski (2013).

No Brasil, um número considerável de solos já tem seu fator de erodibilidade determinado, principalmente com o uso de simuladores de chuvas. Conforme levantamento feito por Denardin (1990), a erodibilidade de solos com horizonte B latossólico varia entre 0.002 a 0.034 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, ao passo que a erodibilidade dos solos com horizonte B textural situa-se entre 0.004 e 0.044 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, valores classificados nas classes de erodibilidade muito baixa a baixa, e, de muito baixa a moderada, respectivamente (PRUSKI, 2013).

Purcino (2017) através de estudo de parâmetros físico-hídricos do solo e associação com vulnerabilidade à erosão hídrica, explica a importância de se obter os valores de erodibilidade a partir de informações da região de estudo coletadas em campo, ao invés da adoção de valores obtidos da literatura, os quais foram gerados em outros contextos pedológicos, geológicos e ambientais.

3.2.3 Fator Topográfico – LS

A erosão hídrica é profundamente afetada tanto pela distância ao longo da qual se propaga o escoamento superficial (L) quanto pela declividade do terreno (S) (RODRIGUES et al., 2017). Juntos, os fatores L e S representam o fator topográfico da *USLE*. O fator topográfico (LS) representa a relação entre as perdas de solo em uma área com comprimento de rampa e declividade quaisquer e as perdas de solo correspondentes em uma parcela padrão, caracterizada por 22,13 metros de comprimento com 9% de declive (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Quanto mais longo e íngreme for o declive, maior é a erosão (RODRIGUES et al., 2017). Segundo Lepsch (2011), os fatores L (comprimento de rampa) e o fator adimensional S (declividade) influenciam a velocidade do escoamento superficial direto quando a capacidade de infiltração é excedida.

Existem diversas metodologias para a determinação do fator topográfico (LS), sendo os mais clássicos Moore e Burch (1986), Desmet e Govers, (1996) e Kinnell (2005).

3.2.4 Fator de Uso e Manejo (C) e Fator de Práticas Conservacionistas (P)

O fator de uso-manejo do solo é o grau de proteção média à erosão fornecida pelo uso e pelo manejo do solo. O fator de práticas conservacionistas representa o efeito na erosão, relacionando a perda entre determinada prática conservacionista e a perda correspondente em uma cultura estabelecida morro abaixo (AMORIM et al., 2010).

O fator (C) varia de 0 (usos conservacionistas) a 1 (usos não conservacionistas) correspondendo, então, a relação esperada entre perdas de solo de um terreno que tenha qualquer cobertura vegetal, e as perdas de solo de um terreno de solo exposto (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Esse é um fator fundamental para aplicação da *USLE*, uma vez que representa as condições que podem ser facilmente alteradas para conter a erosão do solo (RODRIGUES et al., 2017).

Posteriormente na sua versão revisada, a *RUSLE* (RENARD et al., 1997) utiliza os mesmos princípios empíricos da *USLE*, porém diminui suas limitações, pois a partir daí o fator topográfico LS passa então a considerar a influência da encosta ser convexa ou côncava (MITASOVA; MITAS, 1999). Ambos os modelos citados, *USLE* e *RUSLE* por se tratarem de modelos empíricos, exigem menos informações do que modelos físicos, o que os tornam amplamente utilizados. Seus usos são desejáveis em casos de existência de pouca informação, pois suas estruturas são simples e requerem poucos dados de entrada (DURÃES; MELLO, 2016; MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003;).

Williams (1975), modificou a equação universal de perda de solo, gerando então a chamada *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*) sendo a principal diferença que o fator erosividade da chuva foi substituído por informações do hidrograma gerado por um evento de precipitação. Neste caso, a *MUSLE* considera diretamente o escoamento sobre o solo causando erosão, diferentemente da *USLE*. A equação universal de perda de solo modificada (*MUSLE*) é mostrada na Equação (3):

$$Y = 89.6(V_{esc}q_p)^{0.56} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (3)$$

Onde, Y é o aporte de sedimentos no exutório da bacia após um evento chuvoso (t);

V_{esc} é o volume de escoamento superficial (m^3);

q_p é a vazão de pico ($m^3 \cdot s^{-1}$) e;

K, LS, C e P são os fatores da *USLE*.

Um modelo bem conhecido é o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que foi desenvolvido em 1996, nos EUA, pelo Agricultural Research Service na Texas A;M University. O modelo tem por objetivo prever o efeito das ações de uso e manejo do solo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos, produção de nutrientes e pesticidas, sendo aplicado em pequenas e grandes bacias hidrográficas. A modelagem pode ser efetuada em intervalos de tempo diários, mensais e anuais.

O LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*) é outro modelo utilizado para simulação do comportamento hidrológico e transporte de sedimentos. É um modelo de base física que permite simular o comportamento hidrológico e o transporte de sedimentos durante e imediatamente após um evento único de chuva (BESKOW et al., 2009). Gomes (2008) aplicou o modelo LISEM na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, região do Alto Rio Grande MG, Brasil, com objetivo de calibrar e validar o modelo para alguns eventos de precipitação e sedimentos. O autor concluiu que o LISEM apresenta alta sensibilidade ao conteúdo de umidade do solo antecedente aos eventos de precipitação, sendo este o principal parâmetro calibrado.

Diante das limitações dos modelos de base empírica, entre elas a não previsão da erosão por sulcos verificada por Willians (1975), a não possibilidade de informações das variabilidades temporais e espaciais da erosão durante eventos isolados verificados por Foster (1982), buscou-se um modelo alternativo para estimar as perdas de solo, baseado nos fundamentos de processos de erosão e hidrológicos associados ao desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo. A modelagem foi iniciada então na metade da década de 1980, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) iniciou o Water Erosion Prediction Project (WEPP) visando o desenvolvimento de uma nova geração de modelos de predição de erosão hídrica (AMORIM, 2004).

3.3 WEPP - WATER EROSION PREDICTION PROJECT

Segundo Laflen et al., (1991) e USDA (1995) o modelo WEPP é um pacote tecnológico para estimativas das perdas de solo, baseado nos princípios físicos do processo de erosão, tendo sido desenvolvido em parceria entre as instituições: Agricultural Research Service, Soil Conservation Service, Forest Service in the Department of Agriculture e Bureau of Land Management in the US Department of the Interior, nos Estados Unidos. O pacote desenvolvido teve como objetivo elaborar uma tecnologia para subsidiar o planejamento ambiental e a conservação da água e do solo, a fim de permitir a predição dos impactos

resultantes de práticas de manejo de terras usadas para produção agrícola, pastagens e áreas florestais na erosão (AMORIM, 2004).

Lane et al. (1992), explicam que o *WEPP* consiste de um modelo de simulação dinâmico que incorpora os conceitos de erosão entre sulcos e nos sulcos. Através de sua utilização, pode-se simular os processos que ocorrem em determinada área em função do estado atual do solo, cobertura vegetal, restos de cultura e umidade do solo. Para cada dia, as características do solo e da cobertura vegetal são atualizadas. Quando ocorre uma precipitação, baseando-se nas características atuais do terreno, pode-se determinar se haverá escoamento superficial. Caso haja o escoamento, o modelo estima o desprendimento, o transporte e a deposição de partículas ao longo da encosta, porém o modelo não atua na parte de erosão em grandes voçorocas e cursos d'água perenes.

O *WEPP* é apresentado em três versões: encosta, malha e bacia hidrográfica. A versão para encosta é uma substituição direta da USLE, acrescentando-se a capacidade de estimar a deposição de sedimentos ao longo do terreno. A versão para bacias hidrográficas possibilita a determinação do desprendimento, transporte e deposição de sedimentos ao longo das diversas encostas até os cursos d'água. A versão malha é aplicável para áreas nas quais os limites não coincidem com os limites da bacia. Diante essas três versões, o modelo *WEPP* é dividido em diversos componentes que consistem na parametrização dos processos que regulam o fenômeno erosivo (PRUSKI, 2013). Os componentes citados acima serão descritos a seguir.

3.3.1 Componentes de erosão do solo

Neste componente de erosão do solo no modelo *WEPP*, segundo Flanagan et. al (1995) ocorre a quantificação dos processos de desprendimento, transporte e deposição de partículas. Para descrever o movimento das partículas em uma vertente, considerando-se condições de regime permanente, é utilizada a equação da continuidade de sedimentos (Equação 4).

$$\frac{dG}{dx} = Di + Dr \quad (4)$$

Em que,

G = carga de sedimentos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$;

X = distância percorrida pelo escoamento superficial, m;

Di = taxa de liberação de sedimentos nas áreas entre sulcos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$; e

Dr = taxa de liberação de sedimentos em sulcos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$.

O sedimento proveniente da erosão entre sulcos (Di) é considerado independente de x e é sempre positivo. Já no caso da erosão em sulcos (Dr), pode ser positivo se houver desprendimento e negativo se houver deposição. A taxa de liberação de sedimentos em áreas entre sulcos (Di) é calculada pela Equação (5), proposta por Flanagan et al. (1995).

$$Di = Ci Ki Sf Ip^2 Ge \quad (5)$$

Em que,

Ci = parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão entre sulcos, adimensional;

Ki = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo entre sulcos, $\text{kg m}^{-4} \text{s}$;

Sf = fator de ajuste relativo à declividade, adimensional;

Ip = intensidade de precipitação, m s^{-1} ; e

Ge = parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo na erosão entre sulcos, adimensional.

Em relação a Dr , a taxa de liberação de sedimentos em sulcos, calcula-se para os casos em que a tensão cisalhante do escoamento excede a tensão cisalhante crítica do solo e quando a carga de sedimentos for menor que a capacidade de transporte do escoamento. Assim, segundo Flanagan et al (1995), Dr é calculado por meio da Equação (6):

$$Dr = Kr (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (6)$$

Em que,

K_r = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo no sulco, $m^{-1} s$;

τ = tensão cisalhante do escoamento superficial sobre as partículas de solo, Pa;

τ_c = tensão cisalhante necessária para a ocorrência da liberação de partículas, Pa; e

T_c = capacidade de transporte de sedimentos pelo escoamento, $kg s^{-1} m^{-1}$.

Diante as equações (3) e (4), ressalta-se que K_i , K_r e τ_c são parâmetros de entrada exigidos pelo WEPP, e são obtidos baseando-se em atributos do solo como granulometria e conteúdo de matéria orgânica (FLANAGAN et al. 1995). Por fim, quando a carga de sedimentos a ser carregada é considerada maior que a capacidade de transporte do escoamento, ocorre a deposição, que pode ser quantificada com utilização da Equação (7) a seguir:

$$Dr = \frac{\beta V_f}{q} (T_c - G) \quad (7)$$

Em que,

β = coeficiente de turbulência induzida pelo impacto das gotas da chuva, sendo que no modelo WEPP adota-se o valor de $\beta = 0.5$;

V_f = velocidade efetiva de queda (deposição) para o sedimento, $m s^{-1}$; e

q = vazão de escoamento por unidade de largura do sulco ($m^3 m^{-1} s^{-1}$).

3.3.2 Componentes hidrológicos

Conforme Laflen et al., (1991), o processo de erosão é resultado direto das forças e energias envolvidas nos processos hidrológicos que tem como resultado direto o processo erosivo, sendo o mais importante módulo do WEPP. O impacto e a magnitude destas forças são afetados pelas características da cultura acima e abaixo da superfície do solo, pelas condições do solo em superfície e subsuperfície e pela topografia do terreno. O componente hidrológico

do modelo WEPP é composto de três outros componentes, sendo eles: clima, inverno e hidrologia de superfície e subsuperfície (AMORIM 2004; PRUSKI, 2013).

No caso do componente do clima do modelo WEPP, necessita-se a utilização de dados climáticos diários, sendo que vários trabalhos sugerem a utilização do programa CLIGEN. De acordo com Nicks et al (1995) o CLIGEN é um modelo capaz de gerar séries sintéticas de dados climáticos para uma localidade específica, se utilizando de uma base de dados históricos. Para esta geração, segundo Amorim (2004), é necessário conhecer 14 parâmetros que descrevem as condições climáticas locais, incluindo: média e desvio padrão da precipitação, coeficiente de assimetria da precipitação total diária, probabilidades mensais de ocorrência de dias com chuva após dias com chuva e de ocorrência de dias sem chuva após dias com chuva, média e desvio padrão das temperaturas máxima e mínima mensal, média e desvio padrão da radiação solar mensal, média mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos, média mensal da temperatura do ponto de orvalho e a distribuição estatística do tempo decorrido do início do evento ao pico de intensidade máxima. Através destes parâmetros de entrada do CLIGEN são estimados diariamente a duração e a quantidade precipitada, o tempo de pico em relação à duração da precipitação, a intensidade de pico, as temperaturas mínimas e máximas, a temperatura do ponto de orvalho, a direção e a velocidade do vento.

O componente de hidrologia de superfície e subsuperfície possui uma sequência de cálculos que incluem infiltração, excesso de precipitação, acúmulo de água em depressões e pico de descarga. A infiltração é determinada a partir da equação de Green-Ampt modificada por Mein-Larson (GAML). A diferença entre a intensidade de precipitação, a taxa de infiltração e o volume de armazenamento superficial é considerada escoamento superficial (PRUSKI,2013; AMORIM, 2004). Com utilização da Equação (8) (de ondas cinemáticas), calcula-se então a taxa de pico de escoamento superficial, segundo (STONE et al., 1995):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Ii - Ti \quad (8)$$

Em que, h = lâmina de escoamento, m;

t = tempo, s;

I_i = intensidade instantânea de precipitação, $m\ s^{-1}$; e

T_i = taxa de infiltração da água no solo, $mm\ h^{-1}$.

q = densidade de fluxo ($m^3s^{-1}m^{-1}$)

3.3.3 Componentes de crescimento de planta e de decomposição de resíduos

Diversos são os parâmetros de entrada exigidos pelo WEPP na determinação deste componente, dentre os quais: altura e cobertura da copa, biomassa de material vegetal vivo e morto acima e abaixo da superfície do solo, índice de área foliar (IAF), área basal da planta, práticas de manejo e uso do solo, bem como a data em que as mesmas foram executadas, entre outras (FLANAGAN et al., 1995; STOTT et al., 1990).

3.3.4 Componentes do balanço hídrico

No componente de balanço hídrico, estão envolvidos os dados de infiltração e escoamento superficial, estimativas de evapotranspiração e evaporação da água no solo. Pode ser calculado segundo a Equação (9), de Savabi e Williams (1995).

$$\theta = \theta_{in} + (P - I) \pm S - Q - ET - D - Q_d \quad (9)$$

Em que θ = conteúdo de água do solo na zona radicular em dado dia, m;

θ_{in} = conteúdo inicial de água do solo na zona radicular, m;

P = precipitação acumulada, m;

I = interceptação da precipitação pela vegetação, m;

S = conteúdo de água em forma de neve, m;

Q = escoamento superficial acumulado, m;

ET = evapotranspiração acumulada, m;

D = perda acumulada de água por percolação abaixo da zona radicular, m; e

Q_d = escoamento lateral subsuperficial, m.

3.3.5 Componente hidráulica do escoamento superficial

Na componente hidráulica do escoamento superficial é calculado o valor de tensão cisalhamento do escoamento que atua no solo, causando o desprendimento das partículas. Este valor é proporcional à taxa de coeficiente de atrito para o solo. Este parâmetro inclui o coeficiente de rugosidade de superfície que interfere na energia do escoamento superficial e em sua capacidade de transporte (MORAES, 2016).

3.3.6. Componente solo

Neste componente, são analisadas propriedades do solo que influenciam nos processos envolvidos na erosão hídrica, tais como: infiltração, escoamento superficial, desprendimento e transporte de sedimentos. São consideradas ainda as mudanças temporais nas propriedades do solo (rugosidade randômica, densidade do solo, condutividade hidráulica, tensão crítica de cisalhamento e fatores de erodibilidade no sulco e entressulcos) decorrentes do efeito das práticas de manejo do solo, consolidação, precipitação e variáveis de superfície (AMORIM, 2004; LAFLEN et al., 1991).

4 MATERIAIS E ABORDAGEM METODOLÓGICA

O presente trabalho iniciou-se através da obtenção de informações relativas ao município de Poços de Caldas – MG, onde localiza-se a área de estudo, visando estabelecer um banco de dados para posterior processamento. Foram utilizadas imagens *Quickbird* da área, assim como, cartas do levantamento aerofotogramétrico digital de Poços de Caldas do ano de 1997 em formato *DWG* (escala 1:10000), o que possibilitou a conversão dos dados para o formato *shapefile*.

De posse das informações necessárias, as mesmas foram preparadas para serem processadas em ambiente SIG (sistema de informação geográfica), onde foram implementadas técnicas de modelagem de terreno quando necessário. A modelagem numérica de terreno foi feita a partir do algoritmo *Topogrid*, capaz de gerar um modelo hidrológicamente consistente e seus produtos derivados, como mapa de declividade, direção e acúmulo de fluxo a fim de serem utilizados como parâmetros de entrada para posteriores simulações. O banco de dados geográficos gerado, subsidiou a caracterização da BHCG realizada em ambiente SIG, para a geração dos índices morfométricos como proposto por Villela e Mattos (1975) e Mello e Silva (2013).

Os softwares utilizados no presente trabalho para elaboração e processamentos dos dados foram:

- ArcGis v. 10.4[®] (ESRI)
- ENVI – Environment of Visualizing Images, v. 4.6
- Excel v. 2013;
- LSTOOL - Zhang et al. (2013);
- WEPP Model for Windows - USDA – v. 2012.8;
- Google Earth Pro – v. 2018.

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante (BHCG), a qual é uma sub-bacia da Bacia do Ribeirão do Cipó, localizada na zona rural do município de Poços de Caldas nas coordenadas 330200 W e 7577380 S sistema WGS 1984 – Fuso 23S, como mostrado na Figura 2.

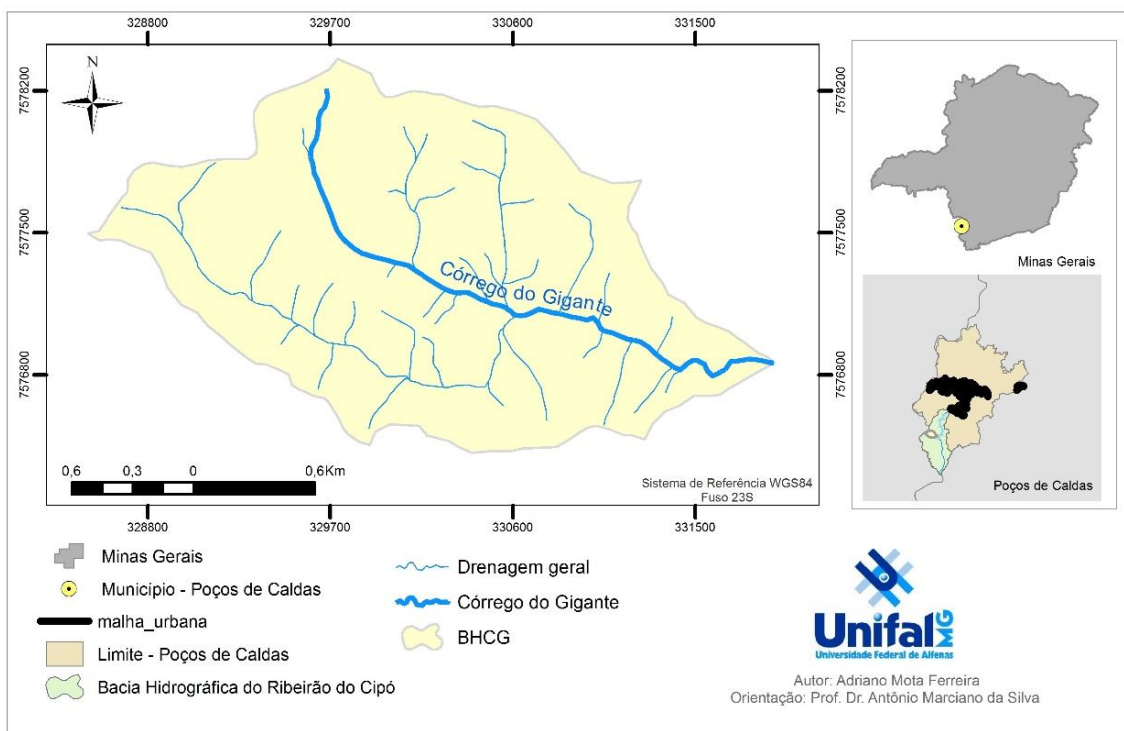


Figura 2 - Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego do Gigante (BHCG).
Fonte: Do Autor.

A Represa do Ribeirão do Cipó, inaugurada em 1999, a priori tinha por objetivo regularizar a vazão do Ribeirão das Antas, principal curso d'água do município de Poços de Caldas. Entretanto, a Bacia do Ribeirão do Cipó conta ainda com reservatório responsável por 47% do abastecimento público do município (aproximadamente $400 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$) sendo a BHCG importante contribuinte do Ribeirão do Cipó.

No Planalto de Poços de Caldas, clima é considerado mesotérmico (C) de acordo com a classificação de Köppen. Apresentam-se ainda duas variações do clima mesotérmico, o Cwa e o Cwb. Na maior parte da área do planalto predomina-se o Cwb, sendo o Cwa predominante na porção oeste, em terras

baixas, nos domínios do município de Águas da Prata. Quanto à temperatura, a média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. A estação seca ocorre entre os meados de abril ao início de setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade. O índice pluviométrico varia entre 1100mm e 1700mm, oscilando-se o mês mais chuvoso entre janeiro e fevereiro (MORAES, 2007).

No contexto geológico, a área denominada de Maciço Alcalino de Poços de Caldas, de idade cretácea, foi formada a partir de um complexo de rochas efusivas e principalmente intrusivas, originadas de um processo de vulcanismo. A intrusão ocorreu em domínios do embasamento cristalino, sendo o maciço cercado por granitos, gnaisses e migmatitos pré-cambrianos de alto grau metamórfico, policíclicas e polideformadas, pertencentes ao Maciço de Guaxupé (CHRISTOFOLETTI, 1973; TINÓS, et al., 2014).

De acordo com Ellert (1959) ocorrem quatro tipos de litologia no interior do maciço alcalino: 1 - rochas efusivas e hipoabissais (tinguaítos e fonólitos), 2 - rochas plutônicas (nefelina sienitos, lujauritos e chibinitos), 3 - brechas, tufos e conglomerados e 4 - rochas potássicas (associadas a processos metassomáticos). O maciço ainda se destaca pelo intenso fraturamento e pela hidrografia fortemente controlada pela litologia e pelo sistema de fraturas (TINÓS, et al., 2014).

Dentre as feições geomorfológicas da região Sudeste do Brasil, o planalto de Poços de Caldas situa-se na província geomorfológica do Planalto Atlântico e na zona do planalto Sul de Minas. Essa zona é subdividida em três subzonas: a superfície do Alto Rio Grande, o planalto de São Pedro de Caldas e o próprio planalto de Poços de Caldas (TINÓS et al., 2014). De acordo com Moraes e Jiménez-Rueda (2008) a análise dos processos morfogenéticos indicou a presença de dois grandes grupos de paisagens no Planalto de Poços de Caldas, as planálticas e as aluviais. Ao norte e oeste do planalto ocorre também a zona Cristalina do Norte, que mantém um relevo de transição entre as terras altas do planalto do Sul de Minas e da Mantiqueira para a região rebaixada da Depressão Periférica paulista (BRASIL, 1979).

Moraes (2007) em levantamento pedoestratigráfico na região do Planalto de Poços de Caldas, determinou quatro tipos de solos predominantes na região. Neossolo Regolítico (cascalhento/concrecionário), associados aos sienitos, encontra-se na parte central do maciço de Poços de Caldas na paleoplanície de inundação do Ribeirão das Antas. Neossolo Regolítico (cascalhento/concrecionário), associado a taludes em áreas de contato litológico, encontra-se em áreas de alta. Cambissolo Háplico regolíticos associados ao embasamento de sienitos se localizam em áreas de planaltos altos e muito altos. Cambissolo Háplico regolítico cascalhento associado a áreas também de contato litológico. As texturas desses solos variam conforme as rochas de origem, sendo que os fonólitos formam solos residuais argilosos e as nefelina-sienitos formam solos por concreções lateríticas de textura argilo-siltosa (LIPORACI, 1994; PURCINO, 2017).

4.2 PRECIPITAÇÕES EROSIVAS

Os dados de precipitação registrados no pluviógrafo e armazenados no datalogger da estação Hidrossedimentométrica da BHCG em um intervalo de 5 minutos, foram utilizados para a estimativa da erosividade da chuva de cada evento, sendo consideradas chuvas isoladas, aquelas separadas por mais de seis horas. Foram caracterizados também, os eventos erosivos de acordo com o proposto por De Maria (1994). Após a análise dos dados e identificação dos eventos classificados como erosivos, foram aplicados dois modelos para a estimativa da energia cinética sendo eles desenvolvidos por Wischmeier e Smith (1978) mostrado na Equação (10), e Wagner e Massambani (1988) na Equação (11):

$$E_c = 0.119 + 0.0873 \cdot \text{Log}_{10} (I) \quad (10)$$

$$E_c = 0.153 + 0.0645 \cdot \text{Log}_{10} (I) \quad (11)$$

Onde, E_c refere-se a energia cinética por mm de precipitação ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) e I a intensidade média da chuva em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

Sendo a energia cinética total, produzida pelo evento, calculada pela Equação (12):

$$E_{ct} = E_c \cdot h \quad (12)$$

onde a E_{ct} (energia cinética total) é dada em MJ ha^{-1} e h (a lâmina precipitada) em mm.

Com base nos cálculos para energia cinética e energia cinética total descritos anteriormente, calculou-se a Erosividade propriamente dita, expressa pelo EI_{30} . O EI_{30} é o produto da energia cinética da chuva pela intensidade média máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos como mostrado na Equação (13):

$$EI_{30} = E_{ct} * I_{30} \quad (13)$$

Onde o EI_{30} é a erosividade da chuva em $\text{MJ mm (ha. h)}^{-1}$ e I_{30} a intensidade média máxima em 30 minutos consecutivos em $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.3 PARCELAS EXPERIMENTAIS

Para que seja realizada a avaliação do efeito do relevo e cobertura do solo diante as perdas de solo por erosão hídrica (assim como seu monitoramento), fez-se necessário a construção de parcelas experimentais com finalidade de obtenção dos dados de escoamento superficial e das perdas de solo sob chuva natural.

Os experimentos instalados em campo seguem o escopo da Figura 3, sendo as dimensões de 4,0 x 2,5m contornadas com chapas galvanizadas com 40cm de largura, enterradas a uma profundidade aproximada de 20cm. O item

(d) da Figura 3, mostra um pluviômetro instalado com intuito de monitorar as lâminas precipitadas juntamente às parcelas experimentais instaladas em campo.

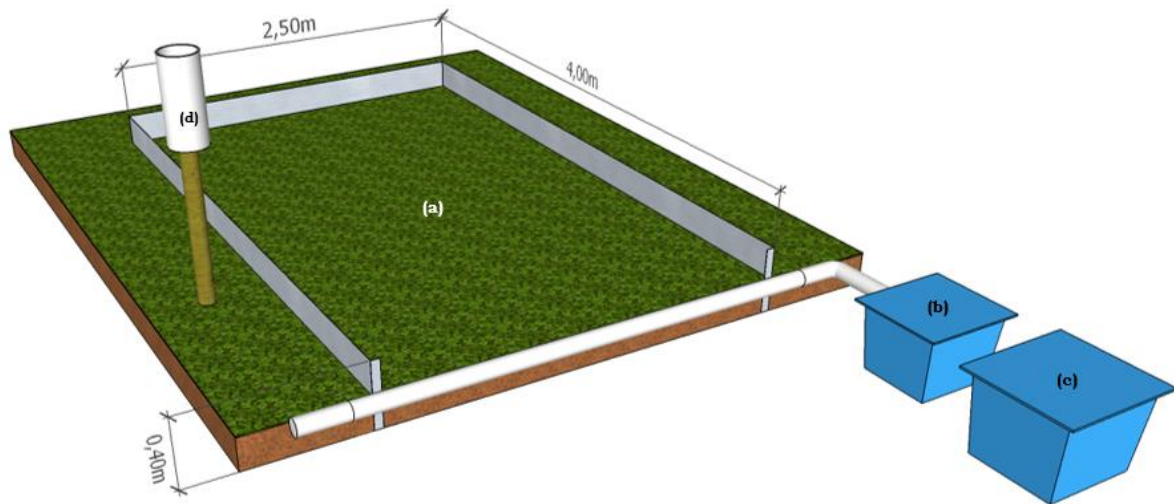


Figura 3 - Escopo das parcelas de monitoramento da erosão hídrica do solo: (a) área delimitada por chapas galvanizadas para quantificação do processo erosivo; (b) Sistema com calha e caixa coletora de água e sedimento; (c) segunda caixa coletora de 1/9 do deflúvio excedente da primeira caixa; (d) Pluviômetro.

Fonte: Do Autor.

Na parte inferior das parcelas instalou-se calhas para conduzirem a enxurrada até os tanques coletores. O sistema coletor constitui-se de um tanque de sedimentação – tanque (b) da Figura 3, com um divisor do tipo Geib de 9 aberturas, e um tanque coletor de água e sedimentos – tanque (c) da Figura 3. Caso haja o enchimento do tanque de sedimentação, 1/9 do volume de água (enxurrada) excedente, segue ao segundo tanque através de uma canaleta do sistema divisor tipo Geib. A Figura 4 mostra um dos experimentos em campo instalados.



Figura 4 - Parcela experimental instalada em campo.
Fonte: Do Autor.

As caixas utilizadas foram previamente calibradas em laboratório, o que possibilitou estabelecer para cada uma delas, a equação que relaciona nível d'água (escala métrica colocada na referida caixa - cm) e volume (L), e também o escoamento superficial direto (Esd) facilitando o monitoramento do deflúvio via leitura da escala métrica de cada caixa, como mostrado na Figura 5. Para fins de exemplificação, as regressões geradas para a calibração das caixas 1A e 1B estão na Figura 6 a Figura 9.



Figura 5 -Caixa com escala métrica (cm) utilizada na calibração e quantificação do deflúvio (Df).
Fonte: Do Autor.

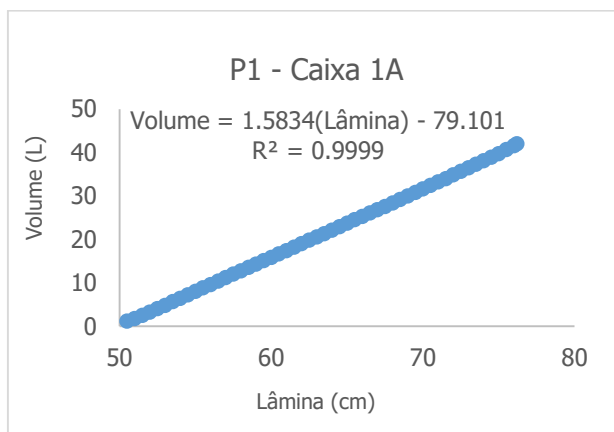


Figura 6 - Curva de calibração Volume X Lâmina - Caixa 1A.
Fonte: Do Autor.

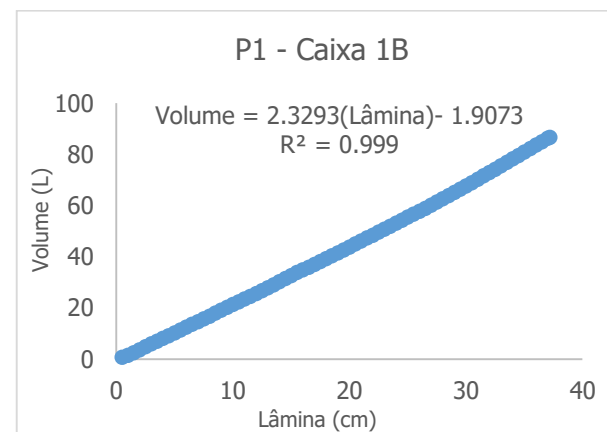


Figura 8 - Curva de calibração Volume X Lâmina - Caixa 1B.
Fonte: Do Autor.

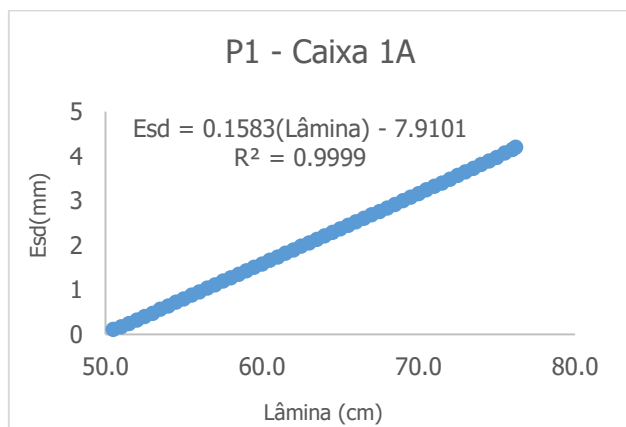


Figura 7 - Curva de Calibração Esd x Lâmina - Caixa 1A.
Fonte: Do Autor.

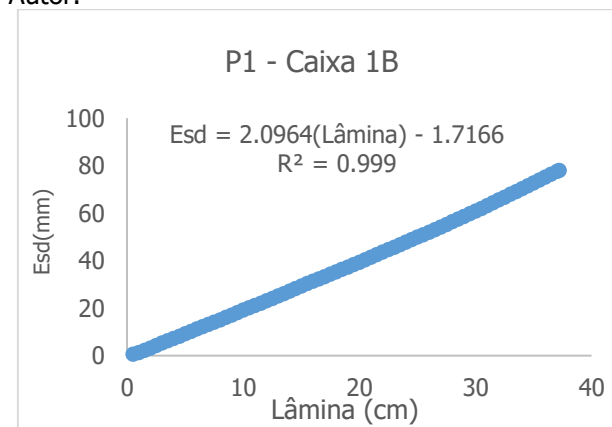


Figura 9 - Curva de Calibração Esd x Lâmina - Caixa 1B.
Fonte: Do Autor.

4.4 ALOCAÇÃO ESPACIAL DAS PARCELAS EXPERIMENTAIS

As parcelas experimentais foram alocadas na área de estudo de modo a garantir uma representatividade da BHCG, se apropriando, então, das associações entre classes de solo, uso do solo e declividades. As classes de solo abrangentes na BHCG são Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo Háplico (CX). As combinações obtidas e os intervalos de abrangência estão demonstrados na Tabela 1, e a Figura 10 abrange a espacialização dos experimentos na BHCG, contemplando as combinações entre as classes de solo, de uso e de declividade.

Tabela 1 - Interações para os dados classe de solo, uso do solo e classes de declividade na BHCG.

Parcela	Classes de Solo	Uso do Solo	Classes de declividade(*)	Declividade medida(**)
1	CX	Solo exposto	8 - 20	12.00
2	LVA	Solo exposto	8 - 20	12.00
3	CX	Campo/Pasto	8 - 20	12.00
4	CX	Campo/Pasto	8 - 20	18.00
5	LVA	Mata nativa	20 - 45	28.00
6	LVA	Mata nativa	20 - 45	26.00
7	CX	Mata nativa	20 - 45	28.00
8	CX	Mata nativa	20 - 45	22.00
9	LVA	Campo/Pasto	20 - 45	23.00
10	LVA	Campo/Pasto	8 - 20	18.00

Fonte: Do Autor.

Nota: (*) Intervalos de declividades classificados de acordo com EMBRAPA (1979). (**) - Valores obtidos no local de instalação das parcelas que possibilitaram contemplar a interação Solo x Uso.

Como mostrado na Tabela 1, as classes principais escolhidas para instalação dos experimentos foram Campo/Pasto, Mata Nativa e Solo exposto. As duas primeiras representam aproximadamente 73.91 % da área. Em seguida, foram estabelecidas as parcelas experimentais de solo exposto, classe com representação de 7.88 % da área de estudo. Embora a classe de Reflorestamento tenha relevância com 16.19% na BHCG, não foram encontradas áreas homogêneas, com acesso garantido pelas empresas gestoras, responsáveis pela área. As áreas a que se teve acesso, eram heterogêneas, com distintas fases de

rebrotar, falta de manejo adequado, o que impossibilitou a inclusão deste uso nas interações com solo e relevo no processo de monitoramento.

As classes de declividades contempladas foram, Ondulado (8 a 20%) e Fortemente Ondulado (20 a 45%), classes estas que representam 83.4% da BHCG, sendo que as declividades efetivas de cada parcela instalada constam também na Tabela 1. Já as classes de solo Cambissolo Háplico (CX) e o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), ambos foram representados, e, juntos abrangem 94.3% da área em estudo, e serão melhor descritos mais à frente.

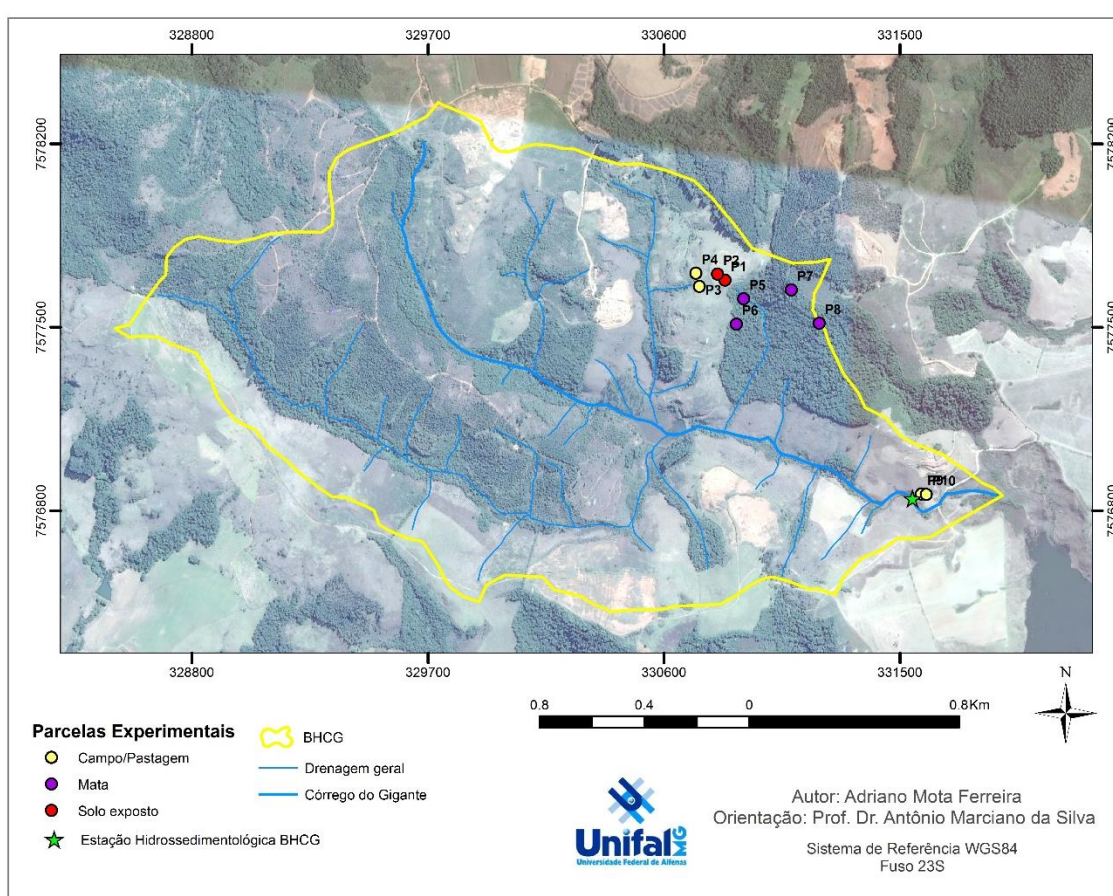


Figura 10 - Localização das parcelas experimentais na BHCG.

Fonte: Do Autor.

Além das parcelas experimentais identificadas na Figura 10, verifica-se também a localização da estação Hidrossedimentométrica da BHCG, adotada como seção de controle. A estação, além de linígrafo, turbidímetro e régua, conta com Pluviômetro SL 2010 (Solar - Instrumentação) – sendo coletados dados contínuos com sensibilidade de 0,2 mm, a cada 5 min. Os dados da estação foram utilizados para estimativa das chuvas erosivas como dito anteriormente,

bem como, para análise comparativa com os dados de pluviosidade coletados nas parcelas de campo. A estação é mostrada na Figura 11 e na Figura 12. Finalizada a construção e instalação dos experimentos, partiu-se então para a obtenção de dados experimentais.



Figura 11 - Estação Hidrossedimentométrica instalada na BHCG.
Fonte: Do Autor.



Figura 12 - Estação Hidrossedimentométrica instalada na BHCG – (a) Caixa com circuito interno da estação; (b) Pluviômetro SL 2010.
Fonte: Do Autor.

4.5 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PERDAS DE SOLO

A amostragem e a quantificação das perdas de solo foram realizadas segundo descrito em Cogo (1978) e Carvalho et. al (2000), no período compreendido entre dezembro de 2017 a dezembro de 2018. Não foram realizadas amostragens do sedimento e da enxurrada após cada evento de precipitação, separados por 6 horas entre si, mas sim coletas semanais.

Em campo, as rotinas estabelecidas iniciavam-se no registro das alturas das enxurradas na escala métrica de cada tanque, do volume de precipitação no pluviômetro através de proveta e, logo após a homogeneização de todo o material (sedimento e água) nas respectivas caixas, foram coletadas amostras de aproximadamente 200 mL em frasco previamente secos e pesados, de vidro com tampa (em duplicatas) - Figura 13.



Figura 13 - Frasco utilizado nas coletas (200mL).
Fonte: Do Autor.

Na fase laboratorial, as amostras foram colocadas separadas para decantação, por 48 horas, para posterior redução de volume com pipeta de 25mL. Feita a redução, o material restante foi levado à estufa em temperatura de 60°C por 48 horas, visando à evaporação e secagem para quantificação de sedimento seco.

De posse das equações geradas para cada tanque coletor através de regressão linear, foram obtidos os valores do volume de água oriunda do escoamento superficial em cada parcela experimental. Em seguida, realiza-se o processamento dos dados e tabelas necessários, como será descrito mais à frente. Os frascos, pós secagem foram pesadas e descontadas as massas dos respectivos frascos previamente pesados e numerados. A partir daí foi realizada a média aritmética dos dois frascos, e obteve-se a massa média ($M_{média}$) em gramas (g). A perda de solo do primeiro tanque (PS1) foi calculada pela Equação (14) a seguir:

$$PS1 = \frac{(Mm1*V)}{0,2} \quad (14)$$

Em que, $Mm1$ é a massa média dos frascos em (g);
 V , o volume encontrado para o tanque;

Calculada a perda de solo, determinou-se escoamento superficial direto, em lâmina (mm) dividindo-se o volume do primeiro tanque por 10 (dez), visto que cada parcela experimental possui 10 m². Para os tanques posteriores, dos quais recebiam o transbordo do primeiro pelo vertedor Geib, a perda de solo (PS2) foi realizada com a Equação (15) abaixo:

$$PS2 = \left(\frac{(Mm2*V)}{0,2} \right) * 9 \quad (15)$$

Em que, $Mm2$ é a massa média dos frascos em (g),
 V , o volume encontrado para o tanque;

A determinação da lâmina presente no tanque (B), foi realizada da mesma forma que no tanque (A), mas multiplicando-se o resultado por 9 (nove) valor este associado a 1/9 da vazão do vertedor Geib.

Por fim, a perda de solo total de cada parcela experimental foi dada pela soma da perda de cada tanque, e o escoamento superficial direto pela soma da lâmina presente também em cada tanque.

Os dados dos pluviômetros instalados em campo, foram medidos em provetas, os volumes convertidos em lâmina (La) para cada experimento através da Equação (16) baixo:

$$La = \left(\frac{Vm}{AP}\right) * 10 \quad (16)$$

Em que, Vm é o volume medido na proveta em campo (mL);
 AP a área do pluviômetro (cm²).

4.6 CORREÇÃO DAS ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO DAS PARCELAS 1 E 2

Como explicitado, os monitoramentos foram realizados uma vez a cada semana no período de chuvas sendo que, no período seco foram estipuladas as coletas a cada quinze dias. As caixas instaladas nos experimentos, descritas no item de "parcelas experimentais", possuíam um volume máximo de precipitação de aproximadamente 80 mm. Neste caso, houve dias em que as precipitações acumuladas ocasionaram transbordo das caixas, não possibilitando, assim, o cálculo das perdas de solo e do deflúvio superficial direto (Df), assim como problemas de instalação nas parcelas, associados a vazamentos. Deste modo, de posse dos dados de precipitação da estação da BHCG a cada 5 minutos, buscou-se os eventos ocorridos e assim acumulados nas semanas das coletas de campo, calculando-se então a erosividade da precipitação relacionando-o com a lâmina precipitada. De posse dos valores de EI_{30} para as lâminas precipitadas, foi estabelecido um coeficiente de redução para as precipitações, com base na diferença da lâmina precipitada registrada na estação e no pluviômetro de cada parcela experimental. Realizada a correlação EI_{30} x Lâmina Precipitada para os eventos escolhidos, foram estimadas as perdas de solo para as parcelas 1 e 2 a partir da correlação EI_{30} x Perdas de solo.

4.7 OBTENÇÃO DE DADOS PARA SIMULAÇÃO NO MODELO *WEPP*

Inicialmente para realização das simulações no modelo, foram identificadas as informações necessárias para construção do grupo de dados a serem utilizados, uma vez que o banco de dados presente no pacote, refere-se exclusivamente a dados Norte Americanos. A Figura 14 abaixo, exhibe as interfaces de entrada para (a) solos, (b) uso do solo, e (c) criação das encostas que, neste caso, foram criadas com base nas características das parcelas experimentais instaladas em campo.

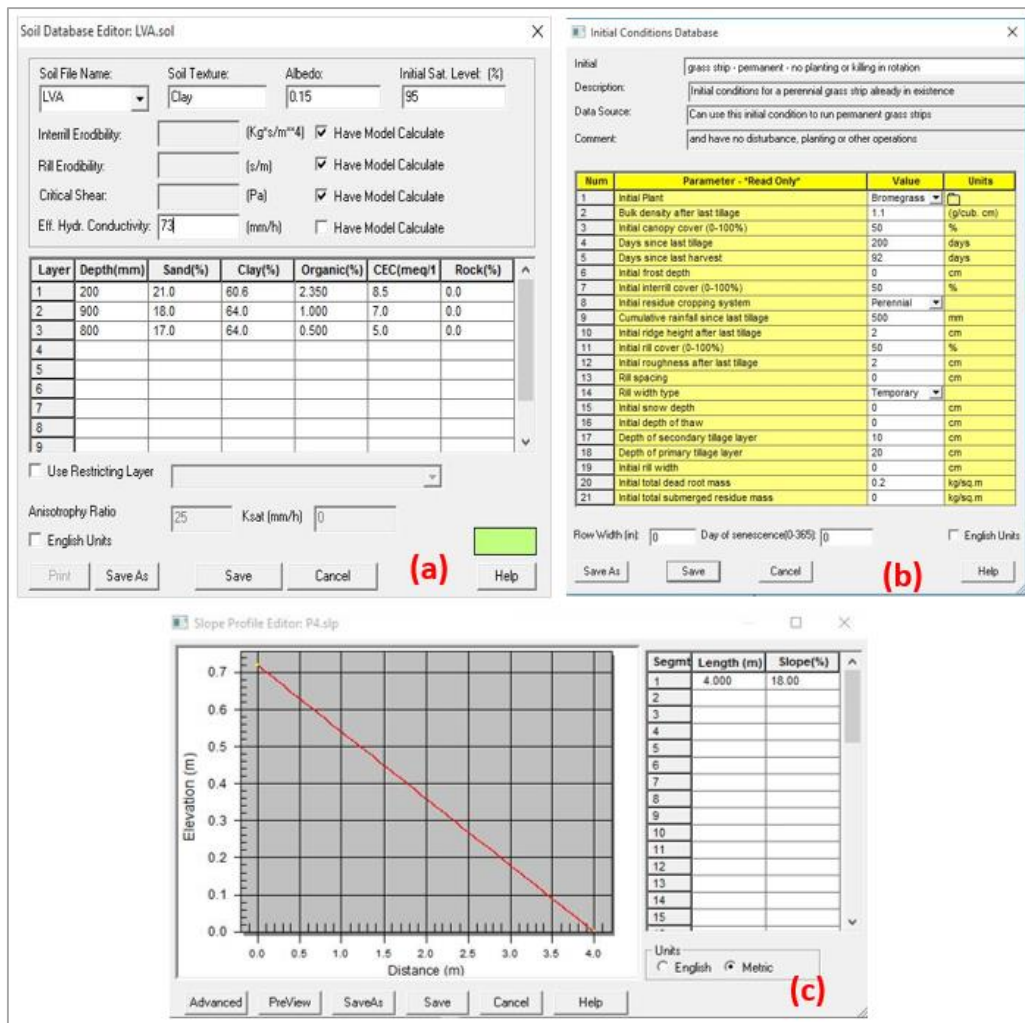


Figura 14 - Interfaces de entrada para (a) solos, (b) uso do solo, e (c) criação das encostas. Fonte: Adaptado, USDA (2012).

O primeiro grupo de informações escolhidos para inclusão e criação do banco de dados do WEPP diz respeito aos solos (Tabela 2), neste caso relativos ao Latossolo Vermelho-Amarelo e ao Cambissolo Háplico, presentes na BHCG. Os dados de areia, silte, argila, matéria orgânica, classe textural, condutividade hidráulica, e capacidade de troca catiônica foram extraídos de Purcino (2017), Amorim (2004), Pereira et al. (2010) e Gonçalves (2007). O valor de condutividade hidráulica efetiva (K_e) foi obtido com equação de rotina do modelo pois é fundamental na determinação da taxa de infiltração, calculada internamente no WEPP como uma função das características do solo (ALBERTS et al., 1995). Devido à falta de informações na bacia, alguns parâmetros tais como: erodibilidade entressulcos e em sulcos e tensão crítica de cisalhamento

dos solos foram estimados também por equações de rotina do modelo WEPP como descrito por Flanagan e Nearing (1995).

Tabela 2 - Valores utilizados de matéria orgânica (M.O), argila, areia e condutividade hidráulica de solo saturado (CHSS) para simulações das parcelas experimentais.

Parcela	Solo	M.O (%)	Argila (%)	Areia (%)	CHSS (mm.h ⁻¹)
P1	CX	1.68	55.91	23.69	204.4
P2	LVA	1.73	56.15	23.27	201.47
P3	CX	2.52	59.52	17.46	186.72
P4	CX	2.48	59.79	17.19	165.95
P5	LVA	2.39	60.64	15.94	142.03
P6	LVA	2.35	58.75	19.31	227.67
P7	CX	3.47	63.26	13.67	221.84
P8	CX	2.59	60.59	14.92	138.26
P9	LVA	2.9	61.81	12.52	92.47
P10	LVA	2.9	62.12	12.38	84.41

Fonte: Adaptado de Purcino (2017).

Nota: CX – Cambissolo Háplico; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; M.O - Matéria Orgânica; CHSS - Condutividade Hidráulica do Solo saturado (mm h⁻¹).

Após criação, os arquivos são identificados com a extensão/formato .SOL e salvos assim no banco de dados para posterior utilização nas simulações.

Posteriormente, trabalhou-se com as informações de entrada referentes ao uso e manejo do solo como crescimento de plantas, condições iniciais, decomposição de resíduos e práticas de manejo do solo, foram obtidas com base nas condições locais e complementadas com informações do banco de dados do próprio modelo. Foram editados e criados os arquivos de extensão .ROT para que melhor represente as características da bacia, de acordo com o mapa de uso e ocupação associado a BHCG. Os dados para entrada nos usos estipulados estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Informações de entrada referentes ao uso e manejo do solo, junto ao modelo WEPP.

	Mata Nativa	Solo exposto	Campo/ Pasto
Densidade aparente após a última lavoura (g/cm ³)	1.1	1	1.1
Cobertura inicial do dossel (0-100%)	90	0	75
Dias desde a última lavoura	1000	0	1000
Dias desde a última colheita	1000	0	1000
Profundidade inicial de geada (cm)	0	0	0
Cobertura inicial entressulcos (0-100%)	100	0	40
Resíduo inicial do sistema de cultivo	Perene	Perene	Perene
Precipitação acumulada desde a última lavoura (mm)	50800	0	5000
Altura inicial da crista após a última lavoura (cm)	120	0	2
Cobertura inicial nos sulcos (0-100%)	0	0	0
Rugosidade inicial após a última lavoura (cm)	10	0	2
Espaçamento dos sulcos (cm)	0	0	3
Tipo de largura dos sulcos	Temporário	Temporário	Temporário
Profundidade inicial da neve (cm)	0	0	0
Profundidade inicial de descongelamento (cm)	0	0	0
Profundidade da segunda camada da lavoura (cm)	10	10	10
Profundidade da primeira camada da lavoura (cm)	20	20	20
Largura inicial dos sulcos (cm)	0	0	0
Massa total inicial das raízes mortas (kg/m ²)	0.8	0	0.3
Massa total de resíduos submersos iniciais (kg/m ²)	0.5	0	0

Fonte: Adaptado, USDA (2012).

Para a criação dos arquivos climáticos do modelo WEPP, a interface do Windows conta com o gerador climático CLIGEN com cerca de 2600 parâmetros, estes associados aos Estados Unidos da América. Neste caso, é necessário que se crie o arquivo do modelo com os dados observados. Os dados para criação e geração das séries com o simulador Cligen, foram obtidos da própria estação instalada na BHCG com os dados de precipitação diária do período de 5/10/2017 a 30/9/2018. É recomendado para o gerador climático que se utilize séries históricas de 25 anos ou mais (NICKS et al., 1995), porém, preferiu-se utilizar os dados pontuais para essas primeiras aproximações uma vez que não há disponibilidade de dados suficientes para a região de estudo. De posse dos dados necessários, foi criado um arquivo .txt para inserção no gerador climático, posteriormente convertido para o formato "gds" com a ferramenta Text to GDS conversor. O próximo passo foi converter o arquivo "gds" para a extensão "par" para que o mesmo pudesse ser reconhecido e processado. Os demais parâmetros foram criados pelo Simulador Cligen 5.x e inseridos na rotina do modelo.

Por fim, foram criados os arquivos de encostas propostos, diante os comprimentos de rampa e declividades associadas à cada uma das parcelas experimentais. Vale ressaltar que as distâncias foram 4m e cada declividade colocada especificamente para cada parcela, de forma a representar como fora instalado em campo. Ainda para os arquivos de declividade, foram criadas combinações para uso do solo/ classe de solo e declividade média da classe estabelecida por Embrapa (1979), para posterior verificação da classe mais atuante de declividade dentro do intervalo classificado, gerando também a simulação para cada combinação. A descrição das declividades médias, e suas ocorrências para ambos os solos e usos do solo estão presentes na Tabela 4 e, partindo-se da elaboração dos arquivos necessários foram realizadas as simulações.

Tabela 4 - Declividades médias dentro dos intervalos de ocorrência e áreas de abrangência.

Usos do Solo	Declividade (%)*	0 a 3	3 a 8	8 a 20	20 a 45	45 a 75	> 75
Solo Exposto	CX**	2.97	6.10	16.83	28.27	49.28	-
	(ha)	0.00	0.00	2.86	8.47	0.13	-
	LVA**	2.26	5.79	13.98	26.11	48.57	-
	(ha)	0.14	1.62	10.97	3.45	0.03	-
Mata Nativa	CX**	1.40	5.82	15.83	31.16	56.52	-
	(ha)	0.19	0.39	5.30	23.08	7.32	0.00
	LVA**	1.40	5.87	14.64	28.89	54.22	79.54
	(ha)	0.93	3.37	17.58	22.44	2.15	0.06
Reflorest.	CX**	2.57	5.46	16.30	28.40	52.50	76.06
	(ha)	0.02	0.27	4.49	9.84	0.70	0.00
	LVA**	1.99	5.74	13.84	26.26	53.82	78.25
	(ha)	1.34	8.33	22.05	10.62	0.37	0.03
Campo/ Pasto	CX**	1.58	5.77	16.36	29.23	53.23	79.57
	(ha)	0.07	0.45	11.58	45.93	7.08	0.15
	LVA**	1.80	5.88	14.38	26.43	53.04	77.66
	(ha)	2.09	10.13	48.51	34.43	1.56	0.01
Total (ha)		4.78	24.55	123.34	158.26	13.26	0.26
Área (ha)		330.52					

Fonte: Do Autor.

Nota: * Classes de declividade propostas de acordo Embrapa (1979). ** Declividade média para a ocorrência de cada classe de solo.

4.8 REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (*RUSLE*)

A Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*) é um modelo paramétrico que foi testado e validado em diversas condições de solo, clima e manejo (Renard et al., 1997). A RUSLE com implementação ambiente SIG foi utilizada para estimar a perda média anual de solo na BHCG. Os cinco fatores da RUSLE que estão associados a erosão do solo foram gerados um a um (individuais) na forma de mapas convertidos para formato raster, em uma resolução espacial de 2X2 metros, sendo então combinados a partir da aplicação de álgebra de mapas, diante a ferramenta Raster Calculator do software Arcgis®. A obtenção de cada um dos fatores será descrita a seguir.

Para a estimativa da erosividade média anual de forma espacialmente distribuída, foi utilizado um modelo geográfico e estatístico desenvolvido por Mello et al. (2013) calculando-se então o fator R para a BHCG em função da latitude, longitude e altitude conforme a Equação (17).

$$R = -399433 + 420.49 * A - 78,296 * LA - 0.01784 * A^2 - 1594.04 * LA^2 + 195.84 * LO^2 + 17.77 * LO * A - 1716.27 * LA * LO + 0.1851 * LO^2 * A + 0.00001002 * LO^2 * A^2 + 1,389 * LO^2 * LA^2 + 0.01364 * LA^2 * LO^3 \quad (17)$$

Em que, R é o fator de erosividade da chuva (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹), A é a altitude (m); LA é a latitude e LO é a longitude, ambos em graus decimais negativos.

A Figura 15 demonstra a malha regular de pontos, utilizada no processo de Krigagem simples, para a espacialização do Fator (R).

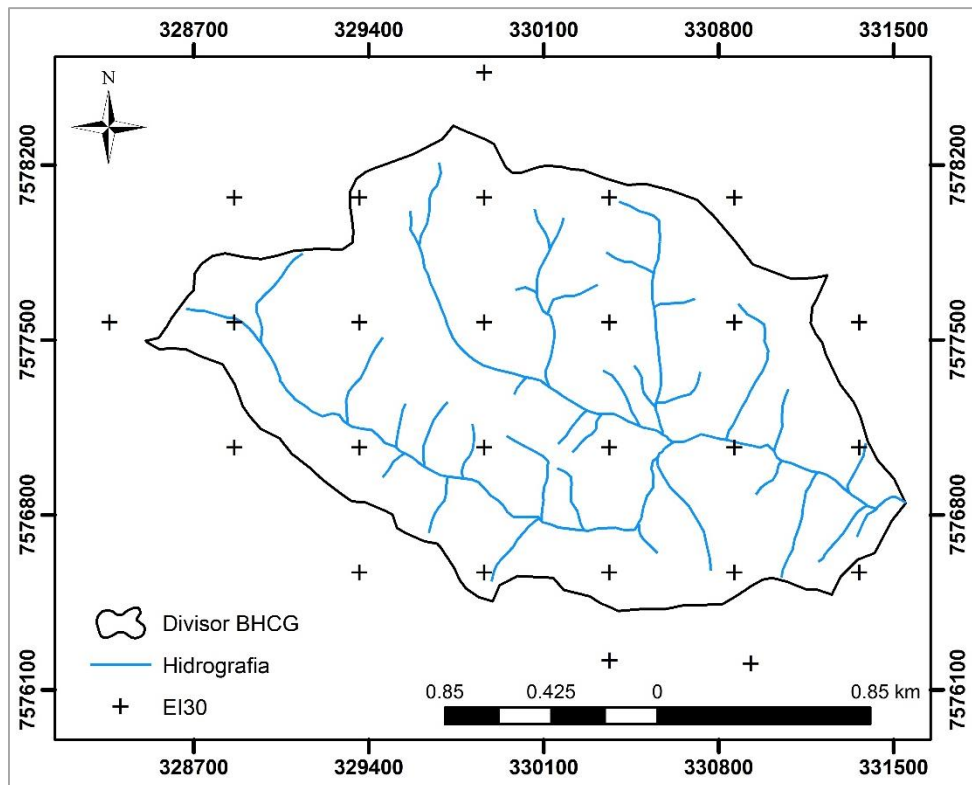


Figura 15 - Malha regular de pontos utilizada para amostragem de valores de latitude/ longitude e altimetria.

Fonte: Do Autor.

Outra metodologia utilizada para o cálculo da erosividade da chuva, foi a do Índice de Fournier ou coeficiente de chuva, para cada mês, calculado de acordo com a Equação (18):

$$Rc = \frac{p^2}{P} \quad (18)$$

Onde p é a precipitação média do mês (mm);

P é a precipitação média anual (mm).

Para isto, é necessária a existência de séries históricas com pelo menos 10 anos de registros, para obtenção do valor médio do respectivo mês e média anual, pois para séries menores, não haverá boa consistência da estimativa da erosividade, sendo o valor anual obtido pela soma dos valores mensais. Para a

região de Poços de Caldas, foram utilizadas as equações geradas para Lavras-MG, Campinas-SP e Mococa-SP, apresentadas a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações utilizadas para as respectivas cidades.

Localidade	Equação	Referência
Lavras - MG	$EI_{30} = 125,92 \cdot \left(\frac{Rc^2}{P} \right)^{0.603}$	Val et al (1986)
Campinas - SP	$EI_{30} = 68,73 \cdot \left(\frac{Rc^2}{P} \right)^{0.841}$	Lombardi Neto; Moldenhauer (1992)
Mococa - SP	$EI_{30} = 111,173 \cdot Rc^{0.691}$	Carvalho et al. (1989)

Fonte: Do Autor.

Foram identificadas 15 estações pluviométricas em torno da área de estudo, com dados de precipitação diária, que permitiram constituir as séries de precipitação total mensal, relativos a períodos de no mínimo 15 anos. A erosividade para cada estação foi estimada pela média dos valores fornecidos pelas 3 equações apresentadas na Tabela 5.

4.8.1 Fator de erodibilidade do solo (K)

O fator K diz respeito a erodibilidade dos solos, sendo então a susceptibilidade intrínseca de cada um a erosão em função de suas características químicas, físicas e pedológicas como textura, permeabilidade, matéria orgânica, material parental entre outros (PRADHAN et al., 2012). Os valores utilizados para o processamento do modelo na estimativa das perdas de solo, foram obtidos na literatura e estão apresentados na Tabela 6, valores estes encontrados para as classes de solos presentes na BHCG.

Tabela 6 - Classes de solos, áreas e valores utilizados para erodibilidade.

Solo	Fator K	Referência
CX	0.0355	Silva et al., (2009)
LVA	0.01	Silva et al., (2000)
SIV	0.042	Silva (2004)

Fonte: Do Autor.

4.8.2 Fator Topográfico (LS)

O fator topográfico LS foi estimado com o auxílio de um complemento do ArcGIS®, desenvolvido por Zhang et al. (2013), denominado LSTool. Esse complemento utiliza em seus algoritmos o método de McCool et al. (1989) para obter o Fator LS espacializado para as bacias, a partir das Equações (19) a (23):

$$L = (\lambda/22.13)^m \quad (19)$$

Em que, λ = comprimento da encosta, em metros;

m = constante dependente da declividade da encosta.

$$m = \left(\frac{\beta}{1+\beta} \right) \quad (20)$$

$$\beta = ((\sin \theta)/(3. \sin \theta)^{0.8} + 0.56) \quad (21)$$

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad \theta < 9\% \quad (22)$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.5 \quad \theta \geq 9\% \quad (23)$$

Em que, L é comprimento da rampa com declividade S ,

θ representa o ângulo da encosta e β é um fator que varia com o gradiente de declive.

4.8.3 Fator de Uso de Manejo do Solo (C)

Para o Fator de Uso e Manejo do solo, fator C, foi feito um mapeamento da cobertura do solo das bacias de estudo a partir de imagens de satélite fornecidas pelo programa *Google Earth Pro*. Foi possível utilizar imagens de 16 de junho de 2016, que com distância de aproximação em torno de 2 km possibilitou a formação de cenas com o tamanho de pixel (resolução espacial) de aproximadamente 60 cm, o que configura as cenas utilizadas como imagens de alta resolução. Essas cenas compuseram um mosaico de imagens, que por meio de uma classificação manual e visual da cobertura, possibilitaram a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo da BHCG. O fator C varia de 0 a 1, onde valores próximos de 1 representam áreas com cobertura vegetal quase nula, e, portanto, mais vulneráveis à erosão hídrica. As classes mapeadas, suas ocorrências e seus índices referenciados constam na Tabela 7.

O fator P de práticas conservacionistas corresponde à relação entre as perdas de solo de uma área cultivada com determinada prática, e as perdas quando se planta morro abaixo, mantendo-se as condições padrão de relevo e de uso e manejo. Neste estudo, quanto às práticas conservacionistas (P), adotou-se o coeficiente 1 (plantio morro abaixo), de acordo com Beskow (2009), pois não foi visualizada na área práticas de controle a erosão.

Tabela 7 - Classes mapeadas para uso e manejo, e índices correspondentes.

Classe - Uso e Ocupação	Fator CP	Referência
Campo/Pasto	0.0288	Costa et al., (2005)
Mata nativa	0.008	Martins et al., (2010)
Reflorestamento	0.0026	Farinasso et al., (2006)
Massa D'água	0	Costa et al., (2005)
Campo associado a umidade	0.0004	Oliveira et al (2007)
Cultura	0.25	Bertoni; Lombardi Neto (2010)
Solo exposto	1	Costa et al (2005)

Fonte: Do Autor.

Estabelecidos os fatores da Equação Universal de Perda de Solos Revisada, estimou-se pela Equação (1), o potencial de Perdas de Solos Atual da BHCG, cuja distribuição espacial se realizou com o emprego da ferramenta *Raster Calculator*, do programa *ArcGIS®*.

4.9 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENÇÃO (CSS)

O método utilizado para avaliar a concentração de sólidos em suspensão foi o de amostragem por igual incremento de largura (IIL), que segundo Carvalho (2008) é um dos mais utilizados na tomada de dados hidrossedimentológicos. Neste, a seção transversal é dividida numa série de segmentos de igual largura, possibilitando a obtenção de uma série de subamostras. Na Figura 16 exemplifica-se a metodologia de amostragem IIL, apresentando a divisão da seção transversal em uma série de subseções de largura igual.

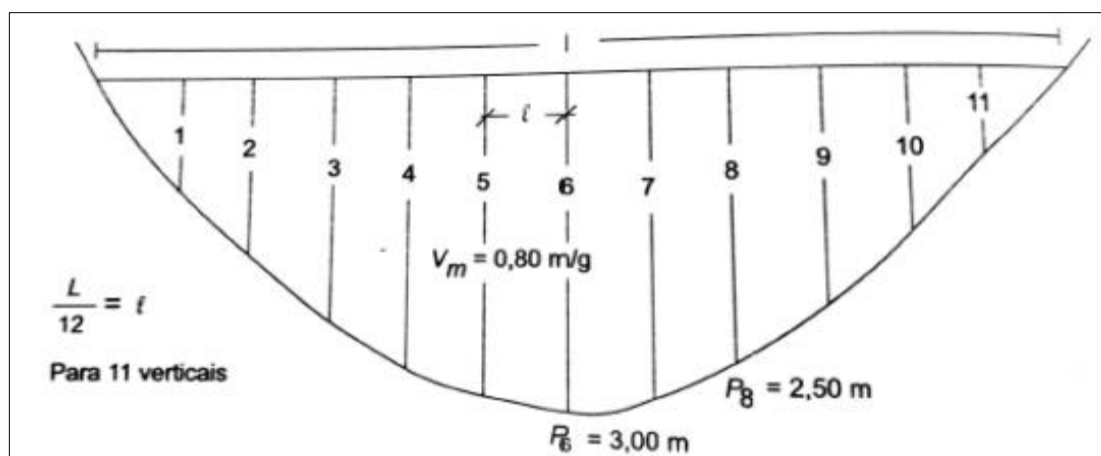


Figura 16 - Exemplo de série de subseções de largura igual.

Fonte: Carvalho (2008).

Em cada subseção são aferidas a profundidade com utilização de trena ou régua graduada e a velocidade da água. No presente trabalho, para a medição de velocidade do escoamento foi utilizado um medidor de velocidade do tipo micromolinete da marca Vernier. Entre outros equipamentos, utilizou-se também de uma régua linígrafo, cronômetro, frasco para armazenagem de amostra, e outros utensílios de suporte. Posteriormente, foi determinado o tempo de

amostragem com o coletor de sedimentos suspensos, ou seja, o tempo de percurso de descida e subida do equipamento, com base na Equação (24) (CARVALHO, 2008).

$$t = \frac{2p}{v} \quad (24)$$

Sendo, t = tempo mínimo para realização da amostragem (s);

p = profundidade da vertical de amostragem (m);

v = velocidade de trânsito (m.s⁻¹).

Na Figura 17 está apresentada a divisão da seção transversal em subseções de larguras iguais as sub amostras compostas por volumes diferentes.

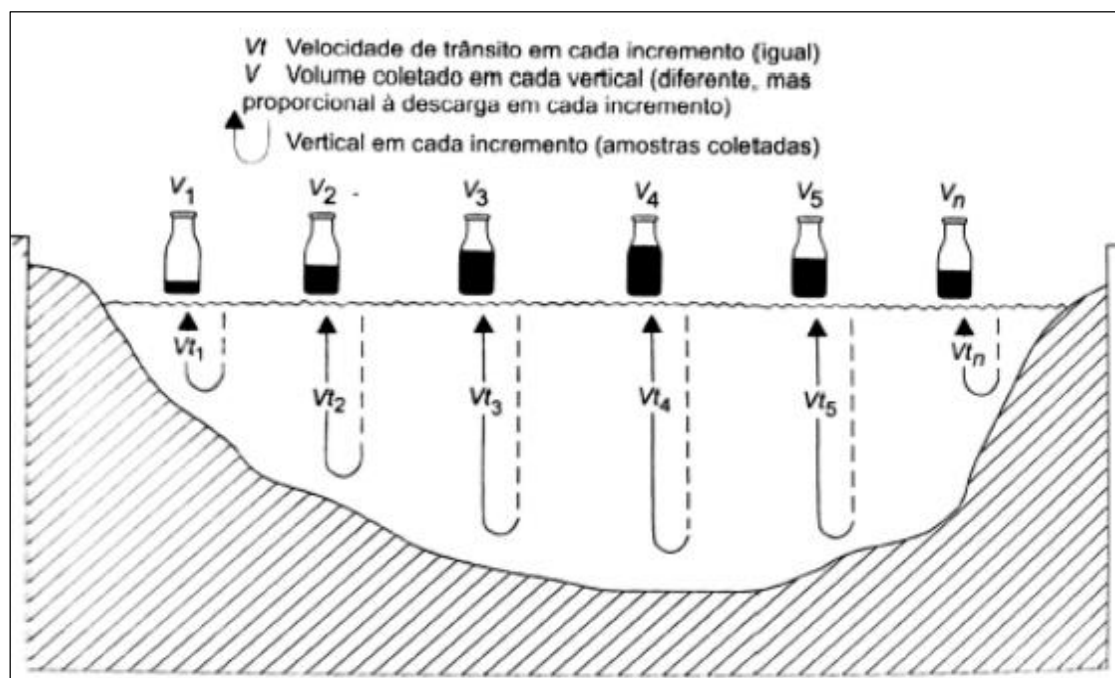


Figura 17 - Subamostras proporcionais às velocidades de trânsito, amostradas pela metodologia IIL.

Fonte: Carvalho (2008).

As diversas sub-amostras podem ser reunidas numa só (CARVALHO, 2008; SILVA JUNIOR, 2010), formando uma amostra composta da seção transversal, que é armazenada em garrafa de vidro e identificada no momento de cada amostragem. A concentração de hidrossedimentos em suspensão (mg. L⁻¹) foi

determinada pelo método de filtração (kit mostrado na Figura 18) a vácuo da Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998), com utilização de filtros de 47mm. Após a filtração os hidrossedimentos suspensos retidos nos filtros foram colocados na estufa para remoção total da umidade, a 100 °C por 1 hora. O aferimento da massa se dava por meio de balança analítica com precisão de décimos de miligrama ($\pm 0,0005$). Todas as amostras foram analisadas em duplicata.



Figura 18 - Aparato de filtração das amostras de hidrossedimento.

Fonte: Do Autor.

A Equação (25) foi utilizada para determinar da concentração de hidrossedimento suspenso.

$$CSS = \frac{MSS}{Vol} \quad (25)$$

Onde,

CSS = concentração de hidrossedimento suspenso (mg.L^{-1});

MSS = massa de hidrossedimento suspenso (mg);

Vol = volume da amostra (L).

Com a CSS associada a vazão do rio no momento da amostragem foi possível gerar uma curva de calibração ($CSS = f(Q)$), que possibilitou a obtenção de dados de concentração com o mesmo intervalo dos registros de nível. Com os dados de monitoramento do nível d'água (h_{NA}) com intervalos de 5 min, construiu-se o linigrama ($h_{NA}=f(t)$), o qual, associado à equação da curva-chave, permitiu obter os dados de vazão com o mesmo intervalo dos registros de nível e, portanto, o fluviograma ($Q = f(t)$), para o período de estudo. Com os dados de Q (valores médios para o intervalo de tempo, 5 min no presente caso) estimaram-se os deflúvios em volume (D_{volume}) por meio da Equação (26):

$$D_{volume} = Q_{\Delta T} \cdot \Delta T \quad (26)$$

Em que, D_{volume} = deflúvio ou volume escoado no intervalo de tempo ΔT (L);

$Q_{\Delta T}$ = vazão média no intervalo de tempo ΔT ($L \cdot s^{-1}$);

ΔT = intervalo de tempo de referência (s) – 300s no presente caso

Com a função $CSS = f(Q)$ e o fluviograma ($Q(t)$) obteve-se dados de concentração em função do tempo ($CSS(t)$), com o mesmo intervalo dos registros de nível.

Para a estimativa da massa de sedimentos suspenso transportados num intervalo de tempo (MSST), utilizou-se a Equação (27), determinando a MSST em cada intervalo de 5 minutos.

$$MSST = \frac{Q \times 300 \times CSS}{1000000} \quad (27)$$

Em que, $MSST$ = massa de sólidos suspensos transportados (kg);

CSS = concentração de sólidos em suspensão, associados a um intervalo de tempo de 5 minutos, ($mg \cdot L^{-1}$);

Q = vazão ($L \cdot s^{-1}$).

A MSST num determinado período de tempo monitorado ou em um período de interesse (durante um evento erosivo, em escalas mensais, durante

as vazões máximas, médias, etc.), foi estimada através do somatório das massas durante o referido período como exemplificado na Equação (28).

$$MSST = \sum_{i=1}^n MSST_i \quad (28)$$

Outra informação importante no processo hidrossedimentológico é o conhecimento do potencial de perda média de solo por erosão hídrica da bacia hidrográfica (PSEH). No presente estudo, os valores de PSEH foram estimados com base nas parcelas experimentais de perda de solo e água (valores obtidos em campo), valores estimados para as parcelas experimentais com o modelo WEPP, e no mapa de perda de solo anual por meio da RUSLE.

Dispondo de valores da massa de sedimento em suspensão transportado (MSST), contabilizado na seção de controle da bacia (MSST) e da perda média de solo na bacia (PSEH) é possível obter a taxa de Taxa Transferência de Sedimentos Suspensos (TTSS) utilizando-se a Equação (29) (DURÃES et al., 2014).

$$TTSS = \frac{MSST}{PSEH} \times 100 \quad (29)$$

Em que, $TTSS$ = taxa transferência de sedimentos suspensos (%);

$MSST$ = massa de sólido suspenso transportado ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

$PSEH$ = perda de solo média na bacia hidrográfica ($t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO GIGANTE (BHCG)

Elaborado o banco de dados necessário para o processamento de dados como citado na abordagem metodológica, inicia-se os resultados com a caracterização dos parâmetros morfométricos da BHCG, informações estas utilizadas para reconhecimento da área de estudo. Através da classificação de Strahler (1952) a BHCG é considerada de terceira ordem, e como verificado também por Purcino (2017) denomina-se então por uma microbacia, segundo a classificação de Tucci (2007). A área de drenagem é de 3.66 km², sendo utilizado posteriormente o valor de 3.56 Km² o qual corresponde a área até a estação hidrossedimentométrica, ou a denominada seção de controle. A densidade de drenagem de 4.25 km.km⁻² o que a torna uma bacia bem drenada. O coeficiente de compacidade (kc) resulta em 1.29 e associado ao fator de forma (F) de 0.35 indica que a bacia possui formato semelhante à circular. Ainda quanto as características da BHCG, segundo Tucci (2007) o seu padrão de drenagem é dendrítico.

As principais características associadas ao relevo estão demonstradas na Tabela 8, e a classificação das declividades na Tabela 9, adaptado de EMBRAPA (1979).

Tabela 8 - Características do relevo da BHCG.

Características do Relevo		
Parâmetros	Resultados	Unidades
Declividade Mínima	1.0	(%)
Declividade Média	22.31	(%)
Declividade Máxima	102.34	(%)
Altitude Mínima	1263.48	m
Altitude Média	1379.87	m
Altitude Máxima	1481.81	m
Amplitude Altimétrica	218.33	m
Declividade do álveo	5.761	m.km ⁻¹

Fonte: Do Autor.

A altitude máxima da BHCG é de 1481.81 m, a mínima 1263.48 m como mostrado na Figura 19.

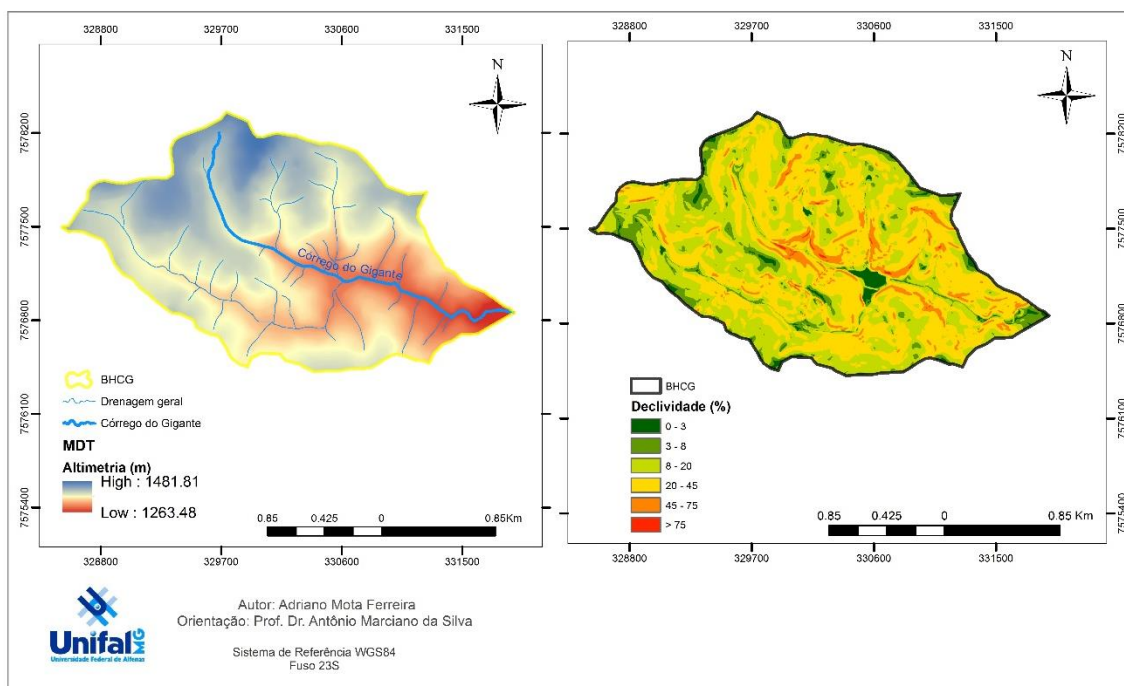


Figura 19 - Modelo digital de terreno (MDT) e Mapa de declividade da BHCG.

Fonte: Do Autor.

Em relação às classes de declividades e informações quantitativas associadas, as classes predominantes na BHCG são de 8 a 20 % descrito como Ondulado e de 20 a 45% descrito como Fortemente Ondulado conforme Embrapa (1979). As duas classes têm ocorrência de 37.4 e 46.00 (%) respectivamente como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Classes de declividades e ocorrências na BHCG.

Classes Declividades (%)	Descrição	Km ²	(%)
0 - 3	Plano	0.08	2.3
3 - 8	Suavemente Ondulado	0.31	8.5
8 - 20	Ondulado	1.37	37.4
20 - 45	Fortemente Ondulado	1.69	46.0
45 - 75	Montanhoso	0.21	5.6
> 75	Fortemente montanhoso	0.01	0.2
TOTAL		3.67	100.0

Fonte: Do Autor.

Nota: Classes de declividade por Embrapa (1979)

Tomando como base o estudo de Moraes (2007), complementou-se a identificação dos solos da bacia em estudo, tendo como suporte a colaboração pessoal de CURI e SILVA¹, permitindo assim a geração do mapa de solos para a área a partir de um mapeamento digital de solos com a utilização do modelo digital de elevação SRTM, e o Mapa de solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010). O mapa de solos gerado está disposto na Figura 20.

As classes de solo com ocorrência na bacia são o Cambissolo Háplico com 36,7% da área, o Latossolo Vermelho-Amarelo com 57,6% da área, e os Solos Indiscriminados de Várzea com 5,7% da área. Assim como na descrição de Moraes (2007), verificado por Purcino (2017) e no presente trabalho através de idas a campo, em alguns pontos foram encontrados solos cascalhentos, geralmente em partes com o declive mais acentuado.

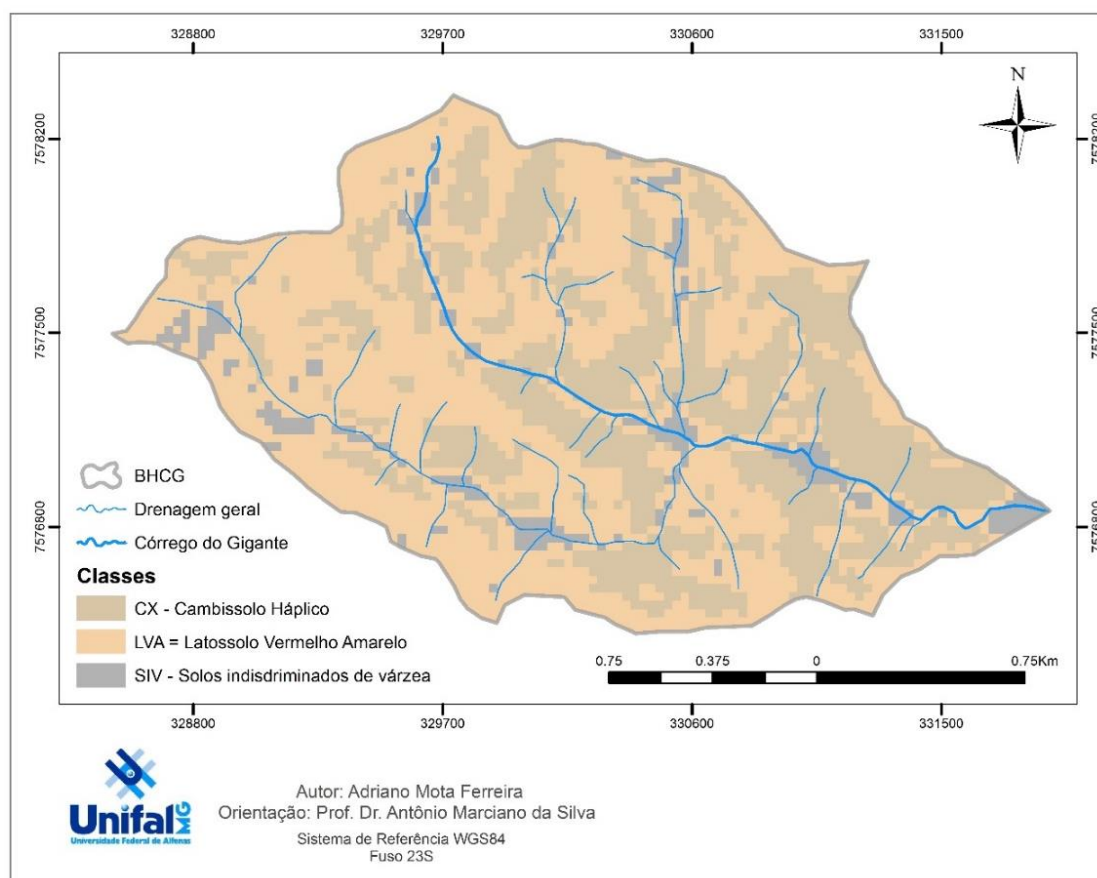


Figura 20 - Mapa de Solos da BHCG.

Fonte: Adaptação¹

¹ Colaboração pessoal, Prof. Dr. Nilton Curi e Prof. Dr. Sérgio Henrique Godinho Silva, do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA.

As características da BHCG quanto ao uso e ocupação do solo estão descritas na Figura 21 (mapa de uso e ocupação) e Tabela 10.

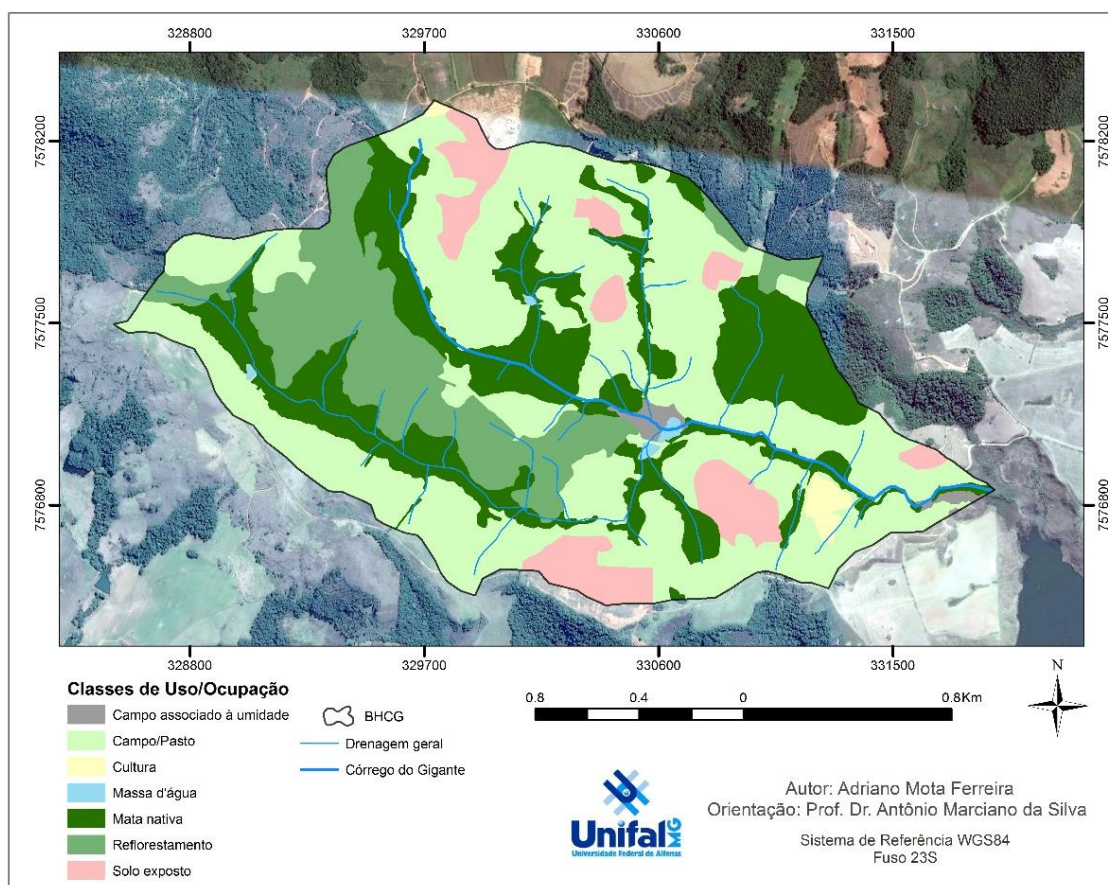


Figura 21 - Mapa de Uso e Ocupação do solo da BHCG.
Fonte: Do Autor.

Tabela 10 - Quantificação das classes de uso e ocupação na BHCG.

Classe - Uso e Ocupação	Km ²	(%)
Campo/Pasto	1.75	47.70
Mata nativa	0.96	26.21
Reflorestamento	0.59	16.19
Massa D'água	0.01	0.35
Campo associado a umidade	0.03	0.80
Cultura	0.03	0.86
Solo exposto	0.29	7.88
TOTAL	3.66	100.0

Fonte: Do Autor.

Como mostrado na Tabela 10 a classe de uso predominante na bacia em estudo é a de Campo/Pasto. Conforme foi diagnosticado em campo e também confirmando o verificado por Purcino (2017) a presente classe se dá em

consonância com a alta declividade que ocorre na área de estudo, declividade esta que impossibilita ou dificulta a implantação de culturas. Ainda em campo, na mesma classe foi verificada a presença de *Brachiaria* (pastagem plantada) e também os denominados campos de altitude com gramíneas nativas.

A segunda maior classe diagnosticada na área de estudo foi a de mata nativa. Na elaboração do mapa de uso e ocupação, para esta classe considerou-se os fragmentos de mata nativa, associados aos fragmentos de mata ripária. Esses fragmentos são florestas montanas com o dossel aproximadamente de 15 metros de altura (MORAES, 2007; PURCINO, 2017).

A terceira classe mapeada na área de estudo é o reflorestamento. Neste caso, o reflorestamento ocorre com espécies de eucalipto que, de acordo com Purcino (2017) é uma prática comum na região pois, além de recuperar áreas pós mineradas, as empresas responsáveis agregam valor econômico a áreas que não teriam uso ou valor econômico.

A seguir, a quarta classe em questão é a de solo exposto que, na maioria dos casos, advém da atividade de mineração presente na BHCG. A classe de solo exposto é um sério problema na bacia, pois o solo desprotegido fica exposto a erosão hídrica.

As demais classes preenchem a área restante do mapa, com Culturas (principalmente batata), campos associados a umidade e massas d'água compreendendo pequenos barramentos construídos. Por fim, foi visto também em campo que, mesmo o local destinado para a lavoura tendo uma declividade acentuada, as práticas de preparo do solo eram efetuadas morro abaixo.

5.2 PRECIPITAÇÕES EROSIVAS NO PERÍODO DE MONITORAMENTO

No período de estudo compreendido entre 27/10/2017 a 30/09/2018 o total precipitado atingiu a 1579.6 mm, sendo identificados 30 eventos considerados erosivos, conforme Tabela 11, os quais totalizaram 905 mm, equivalentes a 57% do total, refletindo assim um regime de precipitação com elevada concentração de eventos erosivos, o que indica a necessidade de adoção de práticas de conservação de solo na região.

A erosividade das chuvas expressa pelo EI_{30} , estimadas pelos métodos de Wischmeier e Smith (1978) e Wagner e Massambani (1988) foram respectivamente 6177.70 e 6554.90 MJ mm (ha h)⁻¹. Ferreira et al., (2017), estimaram valores entre 7600 e 8125 MJ mm (ha ano)⁻¹ para a Bacia hidrográfica do Ribeirão do Cipó, bacia na qual se insere a área de estudo, estando portando, os valores obtidos a partir do monitoramento da precipitação *in loco*, consistentes.

Mello et al., (2007) calcularam a variação da erosividade anual média, em Minas Gerais, obtendo valores de 5.000 a mais de 12.000 MJ mm (ha ano)⁻¹, com total anual de precipitação oscilando entre 800 e 1.700 mm. Os valores pontualmente calculados para a BHCG enquadram-se nos intervalos, e ainda de acordo com o autor, o EI_{30} estimado para BHCG expressa erosividade média a alta, quando comparado com a regiões central, parte da Zona da Mata mineira e Sul de Minas, além do nordeste de Minas Gerais, com valores estimados para estas regiões entre 4.905 e 7.357 MJ mm (ha ano)⁻¹.

Outros indicadores que sinalizam elevados graus de erosividade e de concentração do regime pluvial, foram identificados dentre os eventos caracterizados como erosivos, como o de maior expressão, que contabilizou um total de 89 mm, uma intensidade média de 19.6 mm.h⁻¹ e o EI_{30} de 1328.8 e 1354.9 MJ mm (ha h)⁻¹ conforme o método de cálculo, o que representa 20.67 % da erosividade calculada para o período.

Outra evidência é a contabilização dos 4 eventos (13.3% dos eventos) de maior erosividade no período, totalizaram 3091.69 MJ mm (ha h)⁻¹, representando 47% da erosividade anual obtida. Em termos mensais, pôde-se observar que os maiores valores de erosividade ocorrem de outubro a março e, de abril a setembro são consideravelmente menores conforme verificado também por Aquino et al. (2014). O período de outubro a março concentra 97 % do EI_{30} anual na BHCG, sendo o restante 3% para o período de abril a setembro.

Essa distribuição temporal é característica da região, geralmente com verão chuvoso e inverno seco, sendo que vários pesquisadores, em diversas regiões do país, têm encontrado situação semelhante (AQUINO et al., 2012; AQUINO et al., 2013; AQUINO et al., 2014; DIAS; SILVA, 2003; BERTONI;

LOMBARDI NETO, 2010; SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2010;). O resultado para EI_{30} na BHCG ainda que na mesma ordem de grandeza e inserido nos intervalos propostos pelos autores citados, apresentou variabilidade e sinaliza a importância da obtenção do maior número possível de determinações do fator erosividade em dada região com dados pontuais.

Tabela 11 -Classificações dos eventos erosivos na BHCG.

Continua

DIA	Início	Término	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm.h ⁻¹)	Ec1 (*)	Ec2 (**)	ECT1 (*)	ECT2 (*)	I30	EI ₃₀ (MJ mm (ha h) ⁻¹)	
27/10/2017	16:57	1:32	29.00	8.42	3.45	0.17	0.19	4.81	5.44	11.60	55.81	63.13
29/10/2017	6:27	11:42	17.80	5.25	3.39	0.17	0.19	2.94	3.33	19.20	56.49	63.98
4/11/2017	21:58	1:33	20.20	3.42	5.91	0.19	0.20	3.76	4.10	27.60	103.91	113.06
10/11/2017	23:09	5:34	20.60	6.42	3.21	0.16	0.19	3.36	3.82	17.60	59.18	67.32
20/11/2017	0:39	6:24	20.60	5.75	3.58	0.17	0.19	3.45	3.89	20.80	71.72	80.87
22/11/2017	0:44	7:54	28.80	7.16	4.02	0.17	0.19	4.95	5.53	16.00	79.15	88.47
22/11/2017	12:14	22:49	22.80	10.58	2.16	0.15	0.17	3.38	3.98	18.80	63.49	74.80
30/11/2017	14:59	19:09	23.80	4.16	5.72	0.19	0.20	4.41	4.80	23.20	102.22	111.46
7/12/2017	18:20	22:20	24.00	4.00	6.00	0.19	0.20	4.49	4.88	31.60	141.77	154.10
30/12/2017	23:33	4:03	60.20	6.92	8.70	0.20	0.21	12.10	12.86	57.60	697.03	740.65
31/12/2017	0:03	6:13	21.20	6.17	3.44	0.17	0.19	3.52	3.98	57.60	202.48	229.07
1/1/2018	21:18	23:28	35.80	2.17	16.52	0.23	0.23	8.07	8.29	37.60	303.33	311.71
3/1/2018	14:13	18:53	19.40	3.33	5.83	0.19	0.20	3.60	3.93	22.80	82.19	89.51
7/1/2018	4:11	23:51	37.80	19.67	1.92	0.14	0.17	5.43	6.48	12.00	65.21	77.70
8/1/2018	5:56	21:41	35.60	15.75	2.26	0.15	0.18	5.34	6.26	12.00	64.05	75.12
11/1/2018	13:51	17:31	49.80	3.58	13.91	0.22	0.23	10.90	11.29	50.00	544.85	564.60

Tabela 11 -Classificações dos eventos erosivos na BHCG.

DIA	Início	Término	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm.h ⁻¹)	Ec1 (*)	Ec2 (**)	ECT1 (*)	ECT2 (*)	Conclusão		
										I30	EI ₃₀ (MJ mm (ha h) ⁻¹)	
23/1/2018	15:22	17:17	25.80	1.08	23.89	0.24	0.24	6.17	6.24	34.60	213.63	215.93
13/2/2018	10:28	13:38	30.80	3.17	9.73	0.21	0.22	6.32	6.68	24.80	156.78	165.55
26/2/2018	10:48	15:33	33.80	4.67	7.24	0.19	0.21	6.56	7.05	32.00	209.88	225.45
27/2/2018	14:46	17:36	18.60	2.83	6.57	0.19	0.21	3.54	3.83	14.00	49.58	53.58
7/3/2018	22:00	0:45	34.00	2.75	12.36	0.21	0.22	7.29	7.60	56.80	413.94	431.51
10/3/2018	17:05	21:40	89.60	4.58	19.55	0.23	0.24	20.76	21.17	64.00	1328.76	1354.92
15/3/2018	0:34	3:59	29.40	3.42	8.60	0.20	0.21	5.90	6.27	63.60	375.03	398.77
16/3/2018	14:29	16:59	13.40	2.33	5.74	0.19	0.20	2.48	2.71	22.80	56.61	61.71
20/3/2018	1:19	2:34	18.00	1.25	14.40	0.22	0.23	3.96	4.10	23.60	93.51	96.73
20/3/2018	12:28	16:33	30.40	4.08	7.45	0.20	0.21	5.93	6.36	48.00	284.71	305.32
23/3/2018	13:05	16:43	22.400	3.716	6.03	0.19	0.20	4.19	4.55	20.00	83.82	91.09
3/4/2018	17:36	21:36	20.800	4.000	5.20	0.18	0.20	3.78	4.14	27.20	102.69	112.69
3/8/2018	9:59	5:24	43.000	19.410	2.22	0.15	0.18	6.41	7.54	8.80	56.44	66.33
14/9/2018	10:25	10:05	27.6	12.33	2.24	0.15	0.18	4.13	4.85	14.40	59.44	69.78

Fonte: Do Autor.

Nota: (*) Wischmeier e Smith (1978); (**) Wagner e Massambani (1988).

Ainda em relação aos eventos erosivos, as correlações entre a erosividade (EI_{30}) e a lâmina precipitada (LP) para os dois modelos assumidos para o período em estudo, estão expressas na Figura 22 e na Figura 23 a seguir.

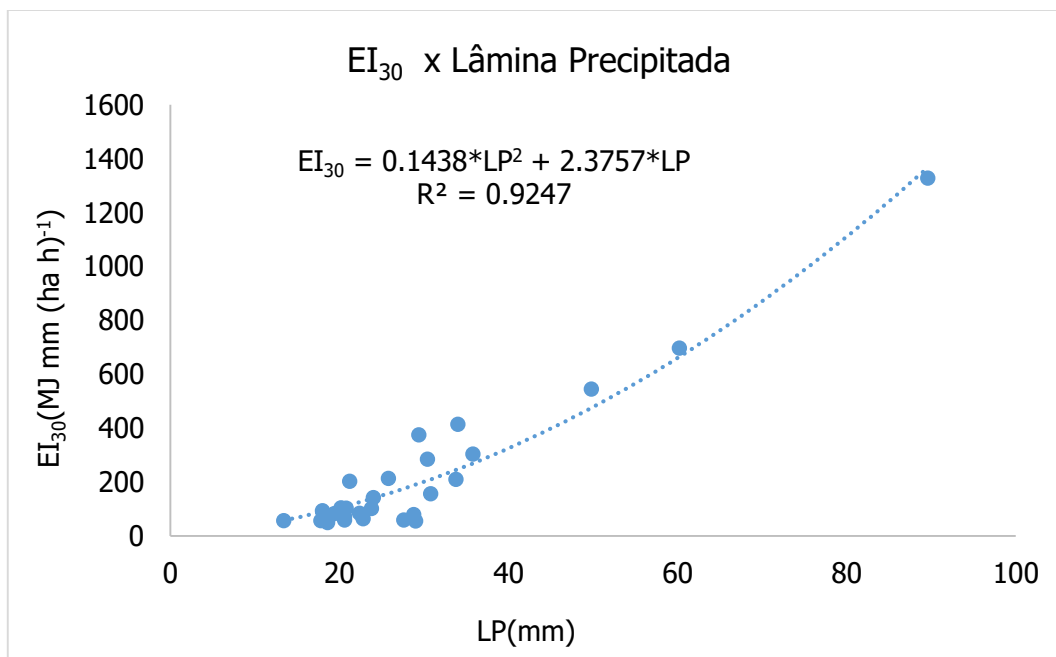


Figura 22 – Relação entre EI₃₀ (modelo de Wischmeier e Smith) e lâmina precipitada – BHCG – Poços de Caldas - MG.

Fonte: Do Autor.

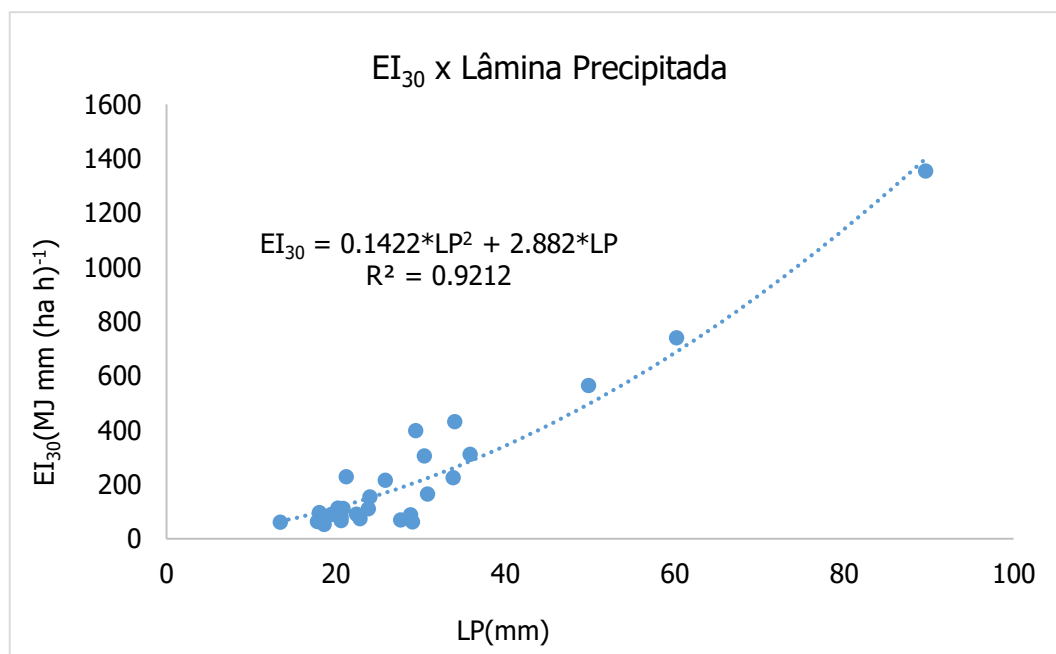


Figura 23 – Relação entre EI₃₀ (modelo de Wagner e Massambani) e lâmina precipitada – BHCG – Poços de Caldas - MG.

Fonte: Do Autor.

Como observado, as correlações obtidas para os valores de EI_{30} e lâmina precipitada apresentaram coeficiente $R^2 > 0.92$, respaldando assim a utilização posterior das correlações ao longo do estudo.

5.3 PARCELAS EXPERIMENTAIS DE PERDA DE SOLO E ÁGUA.

Os resultados obtidos por meio das parcelas experimentais tiveram início na primeira coleta realizada no dia 22/12/2017 sendo finalizada a última coleta na data de 20/12/2018 quando completou um ano. Foram realizadas um total de 24 coletas de amostragem, uma vez por semana em todos experimentos instalados. Para o período seco que compreende o mês de abril ao início de setembro, as coletas foram estabelecidas a cada 15 dias. É importante ressaltar que existiu desencontro parcial no período de monitoramento das parcelas experimentais e da seção da BHCG pois, no monitoramento da seção cobriu-se um ano hidrológico de dados.

Inicialmente, para análise dos resultados nas parcelas P1 e P2, foi necessária uma estimativa para as perdas anuais de solo, motivada por dificuldades operacionais, já que foram detectados vazamentos e entradas oriundas de áreas externas, e também pelo fato de alguns eventos quando acumulados o deflúvio superficial direto extravasou o limite das caixas graduadas, de modo a não ter como quantificá-lo, resultando na necessidade de descarte dos valores obtidos.

A constatação de uma boa correlação ente EI_{30} e LP, foi a base para se promover a estimativa dos registros descartados nas parcelas P1 e P2. Para tal foram identificados 6 eventos (coletas) em cujas datas, havia estimativa do fator EI_{30} a partir dos registros de precipitação do pluviógrafo da estação da BHCG, passando ainda, pela avaliação da consistência entre os valores registrados no pluviógrafo e os totalizados nos pluviômetros das parcelas P1 e P2, no referido evento. Assim, com os registros dos eventos que atenderam aos condicionantes, promoveu-se a identificação de uma correlação entre LP nas parcelas P1 e P2 x EI_{30} . A Tabela 12 contém os eventos utilizados para correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P1 e P2, e os valores de precipitação dos pluviômetros das

parcelas 1 e 2 que foram correlacionados, sendo na Figura 24 e Figura 25 mostradas as correlações estabelecidas para P1 e P2.

Tabela 12 - Eventos utilizados para correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P1 e P2.

Dia	Precipitação (mm) - Estação	Precipitação (mm) P1	Precipitação (mm) P2	EI_{30} (MJ mm (ha h) ⁻¹)	
30/12/2017	60.20			697.03	740.65
31/12/2017	21.20			202.48	229.07
1/1/2018	35.80	144.51	145.47	303.33	311.71
3/1/2018	19.40			82.19	89.51
Total	136.60			1285.03	1370.94
7/1/2018	37.80			65.21	77.70
8/1/2018	35.60	91.35	89.13	64.05	75.12
Total	73.40			129.26	152.82
11/1/2018	49.80			544.85	564.60
Total	49.80	65.89	64.62	544.85	564.60
23/1/2018	25.80			213.63	215.93
Total	25.80	38.20	39.79	213.63	215.93
13/2/2018	30.80			156.78	165.55
Total	30.80	46.15	45.84		
7/3/2018	34.00			413.94	431.51
10/3/2018	89.60	130.83	130.51	1328.76	1354.92
Total	123.60			1742.71	1786.44

Fonte: Do Autor.

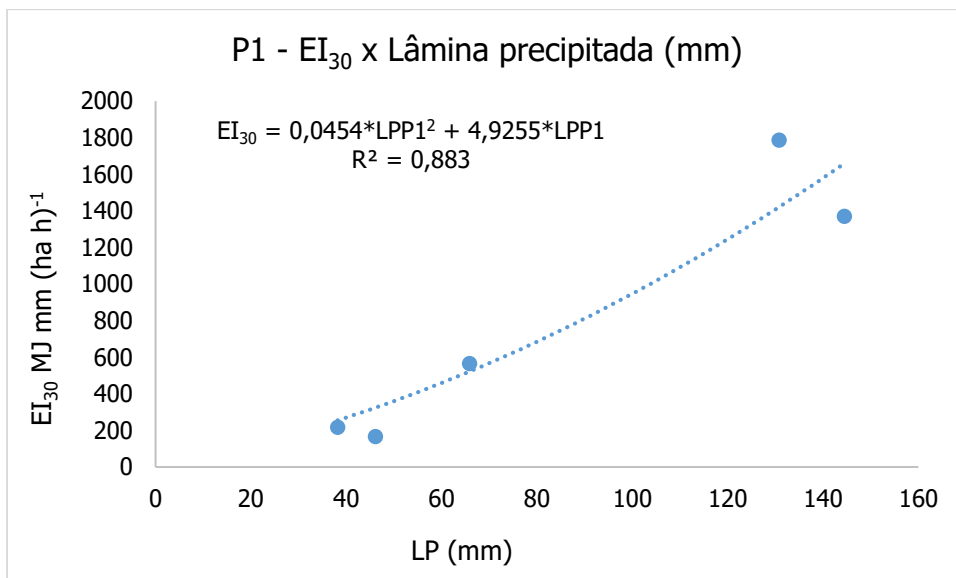


Figura 24 - Correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P1.
 Fonte: Do Autor.

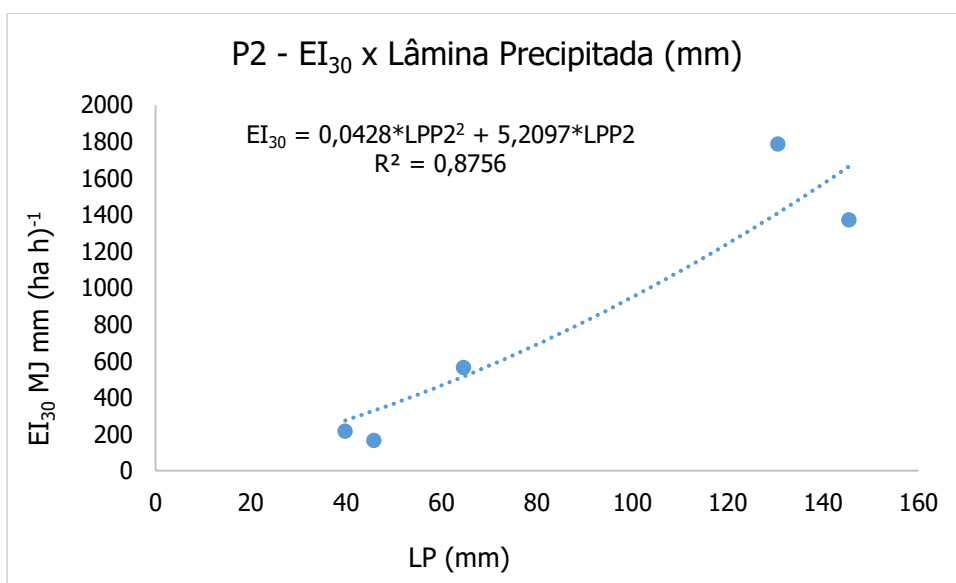


Figura 25- Correlação EI_{30} x Lâmina precipitada para P2.
 Fonte: Do Autor.

Obtidas as correlações para as parcelas 1 e 2 diante EI_{30} e lâminas precipitadas nos eventos, verificou-se que os totais das precipitações ocorridas na estação da BHCG correspondiam a 86 % do valor observado nos pluviômetros. A partir daí, foi utilizado um fator de 0.86 para correção da lâmina precipitada para estimativa do EI_{30} . Com base nas correlações EI_{30} x lâminas precipitadas e

os dados de perda de solo para cada evento, foram geradas as perdas de solo para preenchimento dos valores perdidos para que fossem posteriormente totalizados de modo anual. As correlações utilizadas para P1 e P2 estão demonstradas na Figura 26 e na Figura 27 respectivamente.

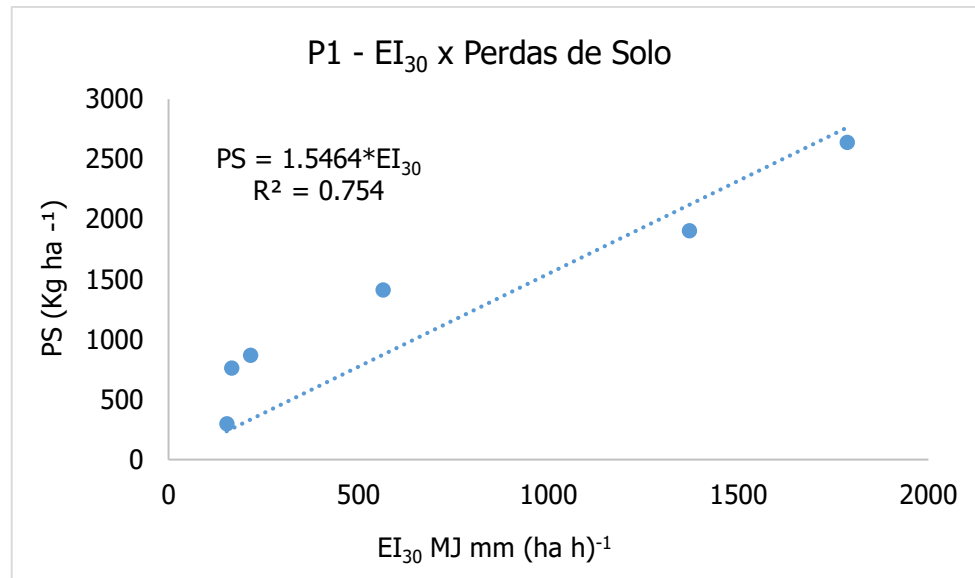


Figura 26 - Correlação entre EI₃₀ x Perdas de Solo para parcela experimental 1 (P1).
Fonte: Do Autor.

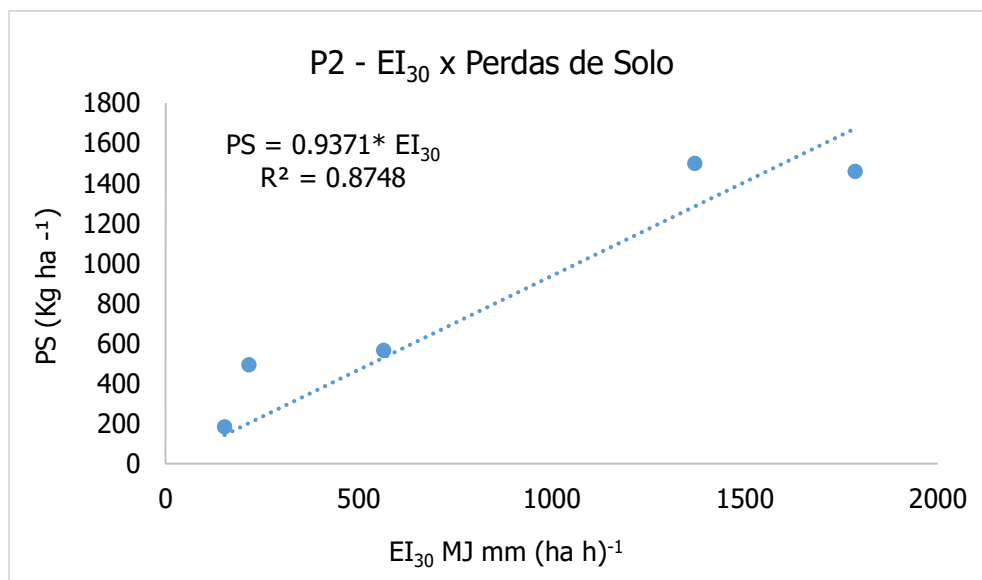


Figura 27 - Correlação entre EI₃₀ x Perdas de Solo para parcela experimental 2 (P2).
Fonte: Do Autor.

Na Tabela 13 estão compilados os resultados referentes às parcelas experimentais de perdas de solo (PS) e água (Df) na BHCG no período monitorado.

Tabela 13 - Síntese do monitoramento da erosão hídrica nas parcelas instaladas na BHCG- período de dez/2017 a dez/2018.

Parcela	Classes de Declividade (%)	Declividade Medida (%)	Uso e Ocupação	Solo	LP (mm)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS* (t ano ⁻¹)	Df (mm)	Coefficiente de Escoamento superficial - C
1	8-20	12	Solo exposto	CX	948.88	9.74	27.82	636.00	0.67
2	8-20	12	Solo exposto	LVA	958.75	5.88	64.61	642.00	0.67
3	8-20	12	Campo/Pasto	CX	1150.05	0.08	0.89	117.52	0.10
4	8-20	18	Campo/Pasto	CX	1140.50	0.23	2.66	227.68	0.20
5	20-45	28	Mata	LVA	1339.77	0.12	4.09	30.93	0.02
6	20-45	26	Mata	LVA	1345.02	0.02	0.61	22.26	0.02
7	20-45	28	Mata	CX	1239.82	0.06	1.82	69.18	0.06
8	20-45	22	Mata	CX	1132.39	0.03	0.91	19.36	0.02
9	20-45	21	Campo/Pasto	LVA	1232.18	0.20	6.90	94.31	0.08
10	8-20	18	Campo/Pasto	LVA	1230.11	0.08	3.78	19.37	0.02

Fonte: Do Autor.

Nota: *Perda de Solo ponderada de acordo com a ocorrência (em área) da combinação estipulada na parcela experimental, junto à BHCG. CX – Cambissolo Háplico; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo.

As parcelas experimentais P1 e P2 correspondentes às classes de Cambissolo háplico e Latossolo Vermelho-Amarelo, apresentaram perdas de 9.74 e 5.88 t ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente. É consenso no meio técnico-científico que os Cambissolos Háplicos são solos mais frágeis que os Latossolos Vermelho-Amarelos (SILVA et al., 2014) confirmando-se, então, as perdas maiores para o Cambissolo. Os valores de perda de solo identificados estão bem abaixo daqueles encontrados por Silva (2006) com parcelas experimentais no Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande - MG, com a utilização de declividades de 15% e no presente experimento a declividade contemplada estar em ambas as parcelas a 12%. Côrrea et al. (2016), observaram perdas de solo da ordem de 45 t ha⁻¹ ano⁻¹ em parcela experimental de solo exposto com 11% de declividade diante Cambissolo Háplico, na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga e, segundo os autores a perda tolerável nessas condições seria de 4.15 t ha⁻¹ ano⁻¹, valor este aproximadamente a metade do encontrado de perda para a Parcela 1 do presente estudo. Tomando como referência os limites de tolerância para Latossolos da ordem de 10 a 12 t ha⁻¹ ano⁻¹ (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2005; SPAROVEK, JONG VAN LIER, 1997) e para os Cambissolos da região de 2 t ha⁻¹ ano⁻¹ (SILVA et al., 2005), para as parcelas 1 e 2 do presente estudo, a parcela 1 está acima do limite tolerável, estando a parcela 2 dentro dos limites. Silva et al., (2005) verificou valores médios de perda de solo de 205.65 t ha⁻¹ para o Cambissolo de 14.90 t ha⁻¹ para o Latossolo Vermelho. Já Aquino et al., (2013), em cinco anos de coletas de dados em parcelas experimentais chegaram na média de 175 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o Cambissolo Háplico, e 13,4 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o Latossolo Vermelho. Silva (2006) encontrou valores de perda de solo através de parcelas, estes maiores para o Latossolo Vermelho – Amarelo do que as parcelas instaladas sobre Latossolo Vermelho, como observado também por Motta et al. (2001) e Silva et al. (2001), sendo ainda relatado pelos autores, que os Latossolos de cor amarela possuem geralmente estrutura em blocos, com maior coerência entre os agregados, sendo, portanto, menos permeáveis que os Latossolos de cor vermelha, com maiores teores de óxidos. Tal afirmação, de acordo com Lima (1987) torna a classe dos LV mais resistente à erosão.

Silva et al., (2011) em trabalho realizado diante perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce (MG), assumiram valores de tolerância de erosão hídrica na região para o LVA de $7.17 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de acordo com trabalho realizado por Pires (2004) e $11.22 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para LV segundo estudo realizado por Silva et al., (2002). Os autores encontraram valores da ordem de $4.87 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para a classe de solo exposto junto a LV, valor este bem próximo do estimado no presente trabalho, porém para o LVA, e para o LVA estimaram valores de $17.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, é importante ressaltar que os valores de EI30 que os autores encontraram estão acima de $10600 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, diferentemente dos valores aqui encontrados de no máximo $6650 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Foi verificado ainda que as perdas de solo das parcelas 1 e 2 estão abaixo de valores consultados na literatura, ressaltando que em estudos consultados como Carvalho et al., (2007), Silva et al. (2009), Martins et al., (2010), Almeida et al., (2016), na construção das parcelas experimentais foram utilizados gradagem ou aração com disco e gradagem no sentido no declive do terreno. Silva et al. (2009) relatam que durante o período de realização do experimento, anualmente eram realizadas duas escarificações leves nas parcelas a fim de simular o preparo do solo e também impedir a formação do selamento superficial. É importante destacar, que na construção e instalação dos experimentos de solo exposto do presente estudo, não foram realizadas práticas de revolvimento, sendo os experimentos construídos no solo já exposto, supostamente há no mínimo 5 anos, e sem nenhum tipo de prática conservacionista, onde pôde-se observar também, certo grau de compactação. Cândido et al. (2014) em um estudo de erosão hídrica pós plantio em florestas de eucalipto na bacia do Rio Panará, obtiveram perdas de solo maiores plantio em nível sem resíduo do que para solo descoberto. Os autores propõem que tal fato pode possivelmente estar associado ao selamento superficial do solo. Esse fenômeno é caracterizado pela constituição de uma fina camada de partículas com uma organização e adensamento que dificultam a infiltração da água no perfil do solo. Reichert e Cabeda (1992) avaliaram o selamento superficial em sete solos do Rio Grande do Sul, e concluíram que a camada selada contém maiores teores de areia em relação aos de argila. Neste caso, as parcelas P1 e P2 possuem os maiores teores

de areia e menores de argila quando comparados às outras parcelas experimentais, ainda que não sobre solo exposto, podem sinalizar determinadas características nas referidas parcelas experimentais. Os valores obtidos, como citado na abordagem metodológica foram obtidos por Purcino (2007), em realização de pesquisa de atributos físico-hídricos na mesma área de estudo.

No caso das parcelas P5 a P6 situadas em mata nativa diante LVA, com declividades de 28 e 26 % respectivamente, foram encontradas perdas de 0.12 e 0.06 t ha⁻¹ ano⁻¹. Silva et al., (2011) estimaram perda de solo em parcela experimental para floresta nativa de 0.067 t ha⁻¹ ano⁻¹ na região do Vale do Rio Doce, sob LVA com declividade de 42.4 (%), valor este similar ao encontrado nas médias das parcelas 5 e 6 no intervalo entre 20 e 45 %, o qual foi de 0.07 t ha⁻¹ ano⁻¹, embora a declividade seja menor do que o proposto pelos autores. Pires et al. (2006) em trabalho realizado diante erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais, observaram para o ano de 2003 uma perda de solo de 0.109 t ha⁻¹ ano⁻¹ estando este valor próximo do aqui estimado para mata nativa x LVA, considerado aqui como o uso com menores perdas de solo, como verificado também pelos autores.

Nos casos das combinações de pastagem associadas ao LVA, os valores de declividade das parcelas aqui instaladas, foram de 21 e 18 (%) a primeira pertencendo ao intervalo de declividade de 20 a 45 e o segundo de 8 a 20 (%) respectivamente. Silva et al., (2011) encontram valor médio de perda de 0.249 t ha⁻¹ ano⁻¹ utilizando-se de intervalos semelhantes aos aqui descritos também em LVA, sendo o valor médio aqui observado de 0.140 t ha⁻¹ ano⁻¹, estando abaixo do valor encontrado pelos autores e próximo do valor encontrado por Pires et al., (2006) de 0.100 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o ano de 2003, em parcela experimental com 24.9 % de declividade.

Em termos gerais, com base a associação classe de solo e tipologia de uso, assim para a combinação CX x Campo/Pasto – (parcelas P3 e P4) observa-se que a P4 que apresenta maior declividade, gerou maiores valores de perda de solo, de deflúvio superficial e também do coeficiente de escoamento superficial direto. Este mesmo comportamento foi identificado para as combinações CX x Mata; LVA x Campo/Pasto e LVA x Mata, o que permite concluir que a declividade atua como

fator diretamente proporcional na erosão hídrica, na formação de enxurrada (deflúvio superficial direto) e no coeficiente de escoamento superficial direto. Devido ao fato de que as variações na declividade, nas combinações avaliadas, não serem homogêneas, o que se pôde concluir, foi a tendência apresentada pelos resultados, o que de certo modo era esperado, servindo, no entanto, no presente caso como sinalização de consistência dos dados obtidos. As Figura 28 a 37 apresentam as curvas da correlação entre Perda de Solo ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) x Deflúvio Superficial (mm) para cada parcela de solo respectivamente.

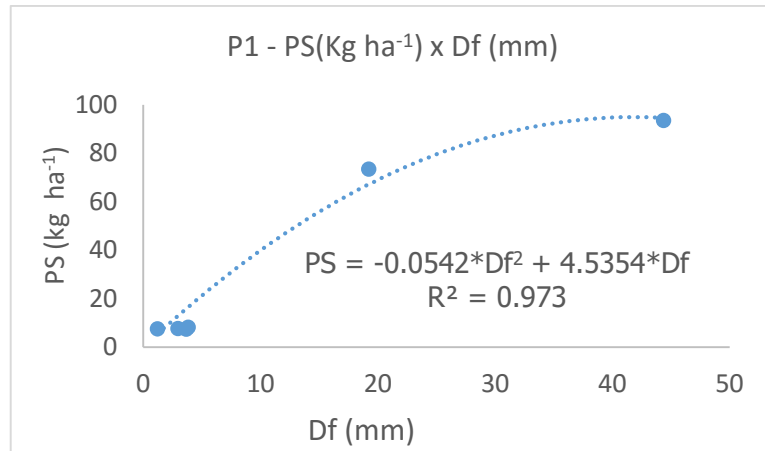


Figura 28 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P1.
 Fonte: Do Autor.

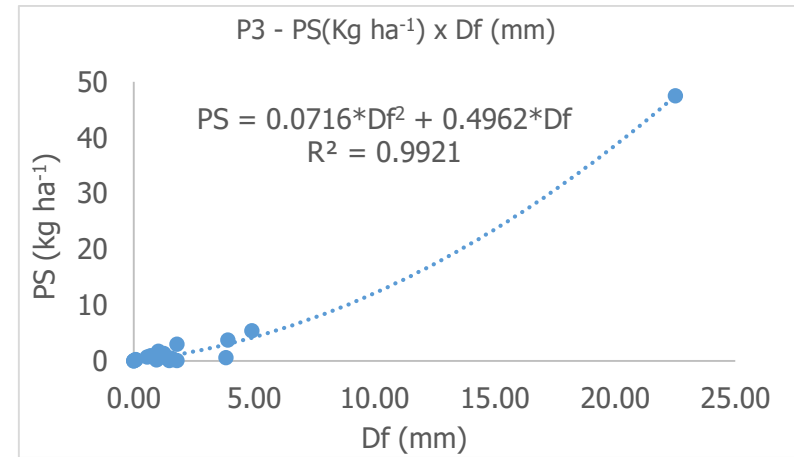


Figura 30 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P3.
 Fonte: Do Autor.

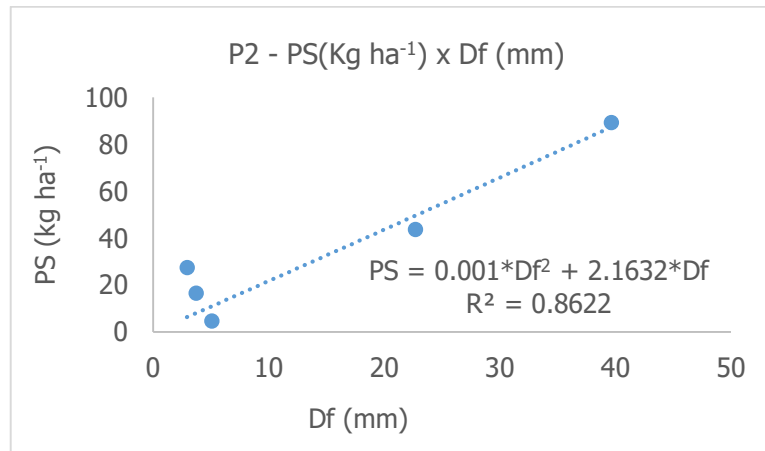


Figura 29 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P2.
 Fonte: Do Autor.

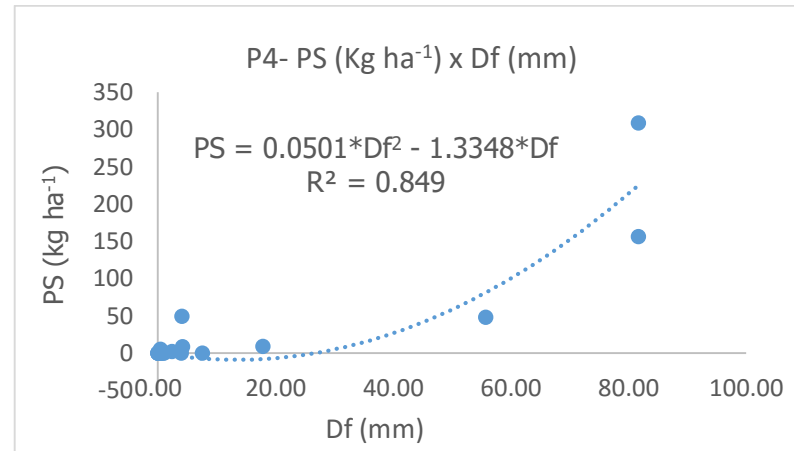


Figura 31 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P4.
 Fonte: Do Autor.

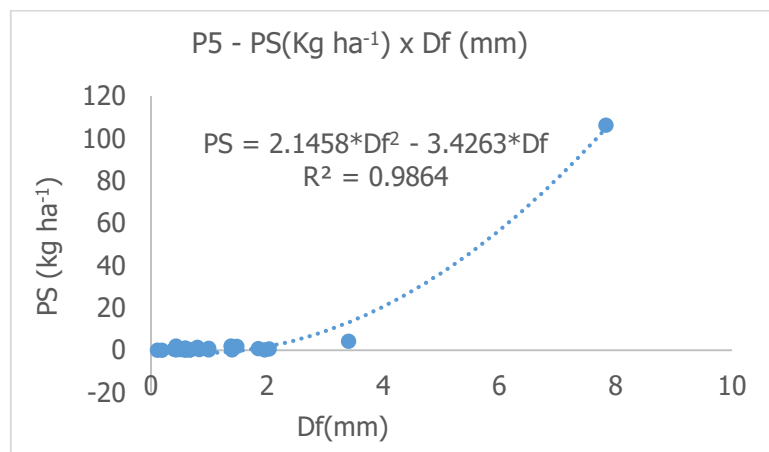


Figura 32 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P5
Fonte: Do Autor.

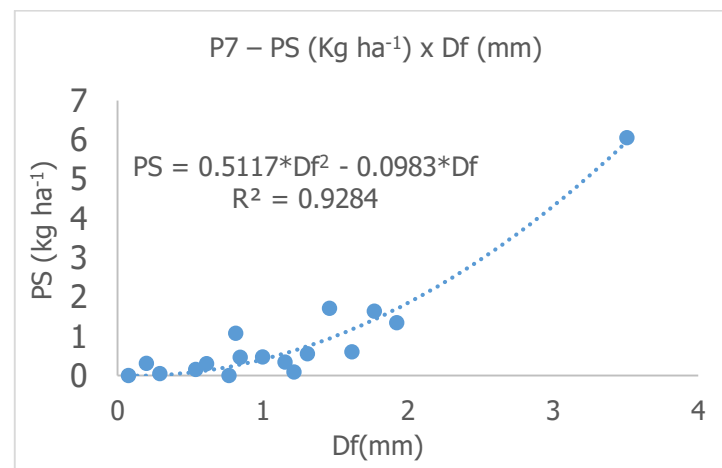


Figura 34 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P7
Fonte: Do Autor.

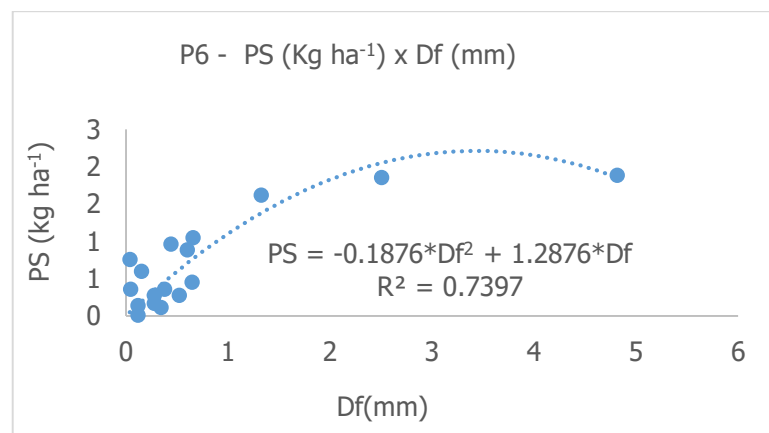


Figura 33 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P6
Fonte: Do Autor.

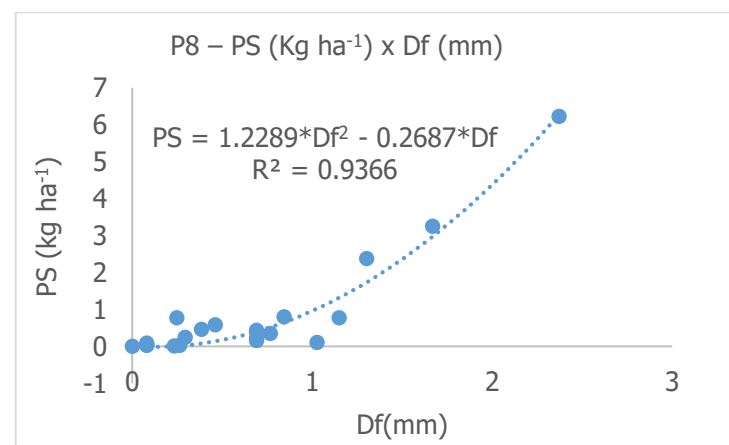


Figura 35 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P8
Fonte: Do Autor.

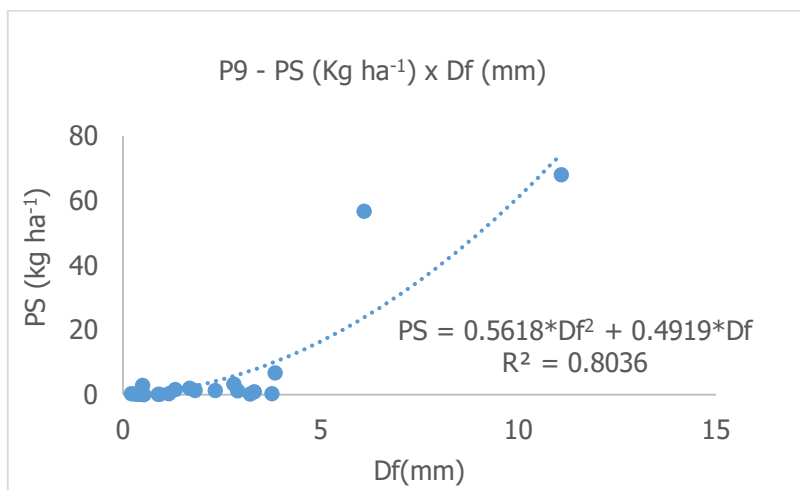


Figura 36 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P9
Fonte: Do Autor.

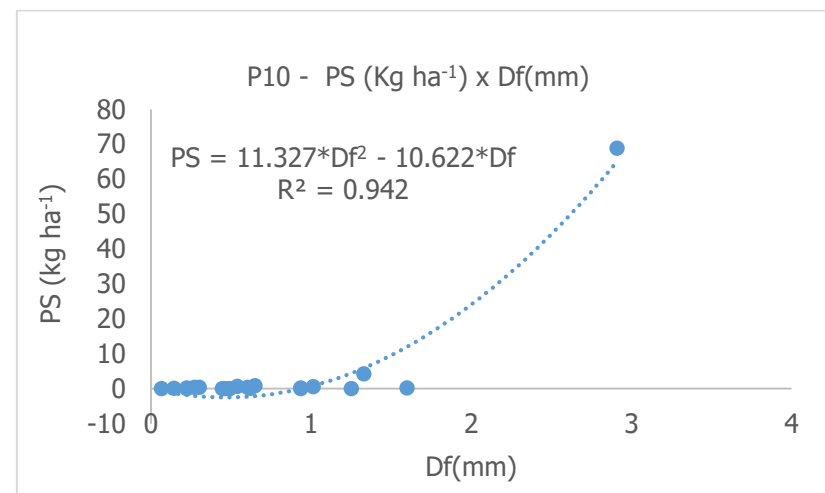


Figura 37 - Curva PS (Kg ha⁻¹) x Df (mm) - P10
Fonte: Do Autor.

Embora seja demonstrada a correlação com poucos eventos, sinaliza-se satisfatória ($R^2 > 0.86$) para os valores de PS (kg ha^{-1}) e Df (mm) nas parcelas experimentais instaladas. Avanzi et al., (2008) salientam que, apesar do impacto das gotas de chuva desempenhar papel importante na desagregação das partículas do solo, é o escoamento superficial que promove o transporte das partículas. Pode-se visualizar que nas parcelas P1 e P2, a ausência de cobertura vegetal no solo, somada a sua susceptibilidade, devido aos atributos físico-hídricos e à declividade de 12%, favoreceu o escoamento superficial, potencializando a erosão hídrica e conseqüentemente a perda de solo. No caso das parcelas P3 a P10, pode-se verificar o inverso, ressaltando assim a influência positiva da cobertura vegetal no amortecimento do impacto das gotas de chuva (erosividade da chuva) e de acordo com Pruski (2013) na redução da velocidade do escoamento superficial, pelo aumento da rugosidade hidráulica do solo. As Figuras 38 e 39 demonstram as correlações correspondentes ao EI_{30} (MJ mm (ha h)^{-1}) x PS (kg ha^{-1}) elaboradas para as parcelas experimentais 1 e 2.

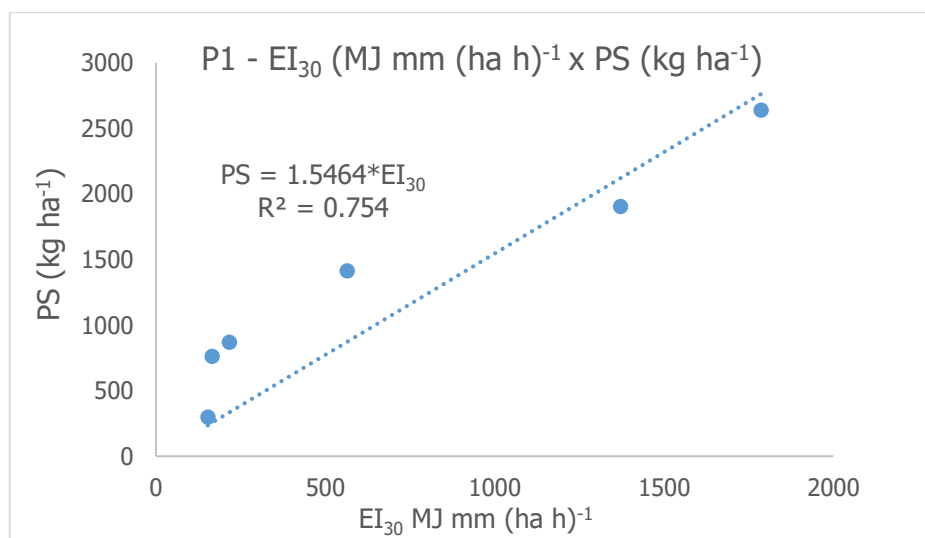


Figura 38 - Curva EI_{30} x PS - P1.

Fonte: Do Autor.

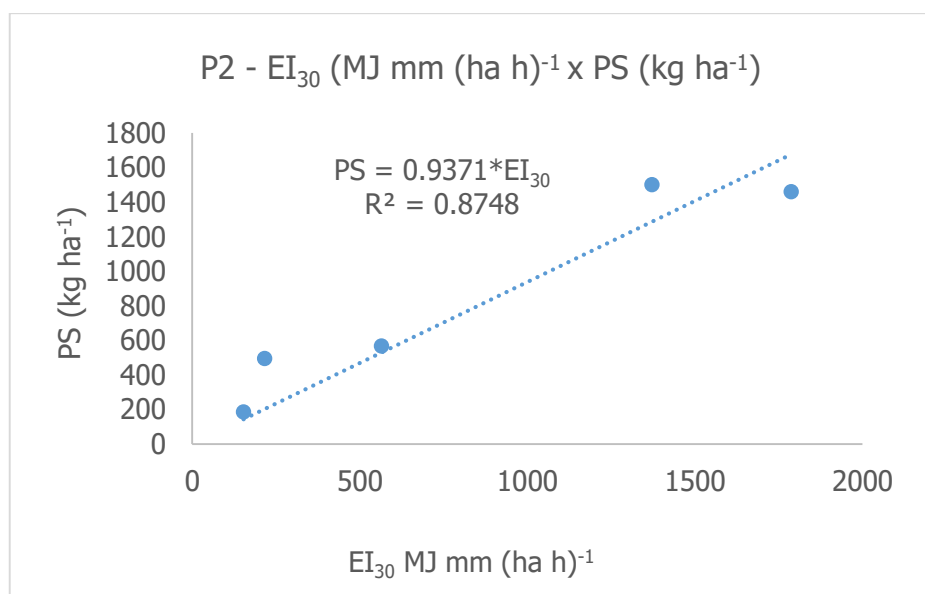


Figura 39 - Curva EI_{30} x PS - P2.

Fonte: Do Autor.

Pruski (2013) explica que quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva menor será nele a propensão de ocorrência de erosão. Além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortece também a energia de impacto das gotas de chuva reduzindo assim a destruição dos agregados, obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A relação entre EI_{30} MJ mm (ha h)⁻¹ x PS (kg ha⁻¹) mostrada nas Figuras 36 e 37 mostram uma correlação R² de 0.75 e 0.87 para as parcelas 1 e 2, o que pode demonstrar a capacidade do EI_{30} em gerar maiores perdas de solo, demonstrando assim como estes fatores estão interligados e, para as parcelas 3 a 10, não foi verificada correlação.

A falta de correlação obtida e esperada, pode ser explicada pois, isoladamente, a cobertura do solo por resíduos vegetais é o fator mais importante na dissipação da energia de impacto das gotas da chuva na superfície do solo (FOSTER, 1982), visto que ela pode evitar a desagregação de suas partículas. Além disso, os resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo são muito eficazes na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial ou enxurrada, pois, sob tal forma, eles formam uma intrincada rede, filtrando os sedimentos em suspensão na enxurrada quando esta passa por entre suas peças (FOSTER, 1982). No caso das áreas de mata nativa, associa-se a interceptação também ao papel fundamental na diminuição do EI_{30} .

De um modo geral, realizando-se as ponderações das perdas de solo quanto às áreas contempladas pelos experimentos instalados em campo, diante as interações solo/ classes de declividade e uso e ocupação do solo, foi abrangida na BHCG 174.32 ha, o que determina 50 % da área sendo representada com valor estimado de 108.60 t.ano⁻¹, que por unidade de área seriam 0.623 t ha⁻¹ ano⁻¹, correspondente a perda de solo por erosão hídrica (PSEH). Caso fossem elaboradas as ponderações com as combinações de classes de solo x uso do solo (excluindo-se o fator declividade) a área de 330.52 ha seria abrangida (93% da BHCG) obtendo-se assim um valor de 239.60 t.ano⁻¹ que corresponderia a 0.72 t ha⁻¹ ano⁻¹ correspondente a perda de solo por erosão hídrica (PSEH). Estes valores serão utilizados posteriormente para estimativa da taxa de transferência de sedimentos suspensos (TTSS).

5.4 SIMULAÇÕES - WEPP

Inicialmente, nos resultados das simulações das parcelas experimentais, diante o simulador climático Cligen, foi obtida uma precipitação média anual de 1537.20 mm, valor este considerado próximo do valor total precipitado na BHCG, no período. Os resultados obtidos para a simulação das perdas de solo anual para cada parcela experimental estão demonstrados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados obtidos para as perdas de solo (PS) e deflúvio superficial direto (Df).

Parcela	Declividade Medida	Solo	OBSERVADO*		ESTIMADO**	
			PS (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Df (mm)	PS (t.ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Df (mm)
1	12	CX	9.742	636.00	5.153	665.90
2	12	LVA	5.367	642.00	5.159	753.90
3	12	CX	0.076	117.52	0.244	498.54
4	18	CX	0.230	227.68	0.243	495.96
5	28	LVA	0.124	30.93	0.311	732.84
6	26	LVA	0.018	22.26	0.310	719.08
7	28	CX	0.055	69.18	0.304	679.75
8	22	CX	0.028	19.36	0.305	678.00
9	21	LVA	0.201	94.31	0.229	523.36
10	18	LVA	0.078	19.37	0.229	527.08

Fonte: Do Autor.

Nota: *Resultados observados em campo. ** Resultados estimados pelo modelo WEPP.

Diante a Tabela 14, pode-se observar para as parcelas P1 e P2 certa similaridade entre os resultados estimados para o deflúvio superficial direto pelo modelo, principalmente para P1, embora o valor de perda estimado pelo modelo para a parcela tenha sido menor. No caso da P2, o modelo estimou um deflúvio mais elevado, e uma perda bem próxima da observada em campo. Para as demais parcelas (3 a 10), ambos deflúvios estimados foram superiores aos observados. No caso das perdas de solo, foram observadas para as parcelas P4 e P9, resultados próximos. Amorim (2004) realizou análises de sensibilidades para diversos parâmetros de entrada do modelo WEPP, para as condições edafoclimáticas brasileiras, verificando que a erodibilidade entressulcos, a erodibilidade no sulco, a tensão cisalhante crítica e a condutividade hidráulica

efetiva foram os parâmetros para os quais o WEPP apresentou maiores sensibilidades. Tal situação foi verificada também por Gonçalves (2008), onde o autor objetivou entre outros, comparar os parâmetros de erodibilidade entressulcos (K_i), erodibilidade no sulco (K_r), tensão cisalhante crítica (T_c) e condutividade hidráulica efetiva (K_e), obtidos experimentalmente com os valores gerados no WEPP. Cecílio et al., (2009) explica a importância de aplicação do modelo WEPP com cautela diante as condições brasileiras, pois os parâmetros foram obtidos experimentalmente com base em características físicas Norte Americanas.

Diante o apresentado, estes parâmetros ditos mais sensíveis como citado acima (K_i , K_r , T_c e K_e) foram determinados pelas equações de rotina do modelo para as condições das parcelas experimentais propostas. Ressalta-se que, com relação aos parâmetros citados, Gonçalves (2008) destaca a importância da análise dos resultados frente às propriedades físicas e químicas dos solos estudados, uma vez que existem duas expressões no modelo WEPP associadas ao cálculo de cada parâmetro e, ambas as expressões levam em conta características de textura do solo como areia muito fina e argila, e também M.O (matéria orgânica). A partir daí o que estabelece o emprego de uma ou outra equação é o percentual de areia maior ou menor na superfície do solo (30%) para os parâmetros K_i , K_r e T_c . No caso da condutividade hidráulica (K_e) o que define a escolha da equação é o percentual de argila (40%), sendo o percentual menor ou igual, a equação considera além da fração de areia a capacidade de troca catiônica (CTC) que, neste caso, quanto maior a CTC, menor o valor de K_e . Através das equações de rotina do modelo, os resultados estimados pelo modelo para K_e , K_i , K_r e T_c nas condições dos experimentos estão dispostos na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados estimados pelo modelo para Ke, Ki, Kr e Tc.

Parcela	Solo	Ke (mm.h ⁻¹)	Ki (kg s m ⁻⁴)	Kr (kg N ⁻¹ s ⁻¹)	Tc (N m ⁻²)
P1	CX	0.519	2.97E+06	0.007	3.5
P2	LVA	0.509	2.96E+06	0.007	3.5
P3	CX	0.398	2.77E+06	0.007	3.5
P4	CX	0.391	2.76E+06	0.007	3.5
P5	LVA	0.369	2.71E+06	0.007	3.5
P6	LVA	0.420	2.82E+06	0.007	3.5
P7	CX	0.312	2.57E+06	0.007	3.5
P8	CX	0.370	2.71E+06	0.007	3.5
P9	LVA	0.342	2.65E+06	0.007	3.5
P10	LVA	0.335	2.63E+06	0.007	3.5

Fonte: Do Autor.

Nota: Ke: Condutividade Hidráulica efetiva; Ki: Erodibilidade entressulcos; Kr: Erodibilidade nos sulcos; Tc: Tensão de cisalhamento; ambos estimados pelo modelo.

Na Tabela 15, pode-se verificar que os valores de condutividade hidráulica efetiva, resultantes do modelo, ficaram entre 0.312 e 0.519 mm.h⁻¹, valores estes que variam de acordo com a porcentagem de areia utilizados como entrada no modelo, justamente por conta da equação proposta para o cálculo de Ke, como explicado. É consenso no meio científico que, como a condutividade hidráulica depende do espaço poroso, ela varia enormemente de solo para solo e dentro de um mesmo solo com variações estruturais, sendo que os de textura mais grossa (arenosa) possuem em geral maior quantidade de macroporos do que os de textura fina (argilosos) apresentando estes, maior condutividade hidráulica e maiores taxas de infiltração (RAWLS et al., 1996; BRANDÃO et al., 2006). Brandão et al., (2006) explicam ainda que, os fatores associados aos solos quanto a processos de infiltração, estão ligados às suas características e propriedades físicas, químicas e mineralógicas, quais sejam: umidade inicial, estrutura, conteúdo de óxidos de ferro e de alumínio como agentes cimentantes dos solos tropicais, ligações eletroquímicas, e grau de intemperismo (GONÇALVES, 2008).

Mello e Silva (2013), confirmam ainda que solos argilosos porém altamente intemperizados como os Latossolos apresentam alta capacidade de infiltração, a qual é produzida pela sua estrutura granular. Purcino (2017), em estudo da caracterização dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG, estimou valores de

condutividade hidráulica do solo saturado através de amostragem e posterior espacialização através de krigagem ordinária (valores estes utilizados no presente estudo com valor mínimo e máximo de 0.01 e 21.53 m d⁻¹, sendo a média encontrada de 3.12 m d⁻¹, equivalente a 129.98 mm h⁻¹. Ainda para a área de estudo, Dos Reis (2017) estimou a condutividade hidráulica do solo associada à umidade na capacidade de campo, obtendo assim valores entre 0.42 mm h⁻¹ a 10.84 mm h⁻¹, com média de 2.08 mm h⁻¹. Amorim (2004) relata que o modelo não apresentou boas estimativas dos volumes de escoamento superficial, indicando necessidade de investigação do componente para aplicação do modelo no Brasil.

Gonçalves (2008) encontrou valores experimentais para o Cambissolo de 13.3 mm h⁻¹, sendo estimado 2.5 mm h⁻¹ pelo modelo. Ressaltam-se os valores encontrados pelos autores para expressar assim a grande variabilidade deste atributo do solo e indicar que as equações do modelo através dos dados de textura e CTC apresentaram na simulação, características dos dois solos em estudo na BHCG (LVA e CX) muito próximas, o que espacialmente não é verificado. O mesmo foi visualizado para os valores de K_i , K_r e T_c para os valores simulados. Os valores obtidos para K_i variaram de 2.57 a 2.97 X10⁶ (kg s m⁻⁴) para os dois solos na BHCG. Bocuti (2016) estimou os valores de K_i para Latossolos mato-grossenses, ambos de texturas argilosas, com 52.34, 57.75 e 60.20 (%) de argila com teores de areia fina variando entre 12 e 15 (%) de 2.4X10⁵, 1.32 X10⁶ e 5.39 X10⁵ kg s m⁻⁴.

Nunes e Cassol (2008) em três Latossolos diferentes do Rio Grande do Sul, experimentalmente encontraram valores de 0.76 X10⁶, 0.97 X10⁶, e 1.46 X10⁶ (kg.s.m⁻⁴) e argumentaram que, ainda que os valores estejam dentro da faixa de variação proposta pelo equacionamento de rotina do modelo WEPP de 0.5 a 12 X10⁶ (kg s m⁻⁴) obtidos por Alberts et al. (1995), o modelo superestimou os valores experimentalmente obtidos. Gonçalves (2008) estimou em campo, para um Cambissolo na região de Viçosa, um valor de K_i de 1.26 X10⁶ (kg s m⁻⁴) concluindo que o modelo superestimou o valor obtido em campo para 3.30 X10⁶ (kg s m⁻⁴). Tais valores obtidos experimentalmente para regiões brasileiras estão abaixo dos calculados pelo modelo no presente estudo, nos sinaliza que

possivelmente os valores aqui simulados também estejam superestimados, levando-se em conta a sensibilidade dos parâmetros e as perdas de solo dos valores obtidos em campo (excetuando-se a parcela P1 e P2).

Posterior a simulação junto aos dados de entrada correspondentes às parcelas experimentais, optou-se por simular diferentes parcelas a fim de verificar a representatividade referente às classes de declividade, solo e uso do solo na BHCG. Inicialmente foi verificada a distribuição das parcelas experimentais em relação às classes de solo, classes de declividade e uso ocupação, em ambiente SIG contemplada pela Tabela 4 onde estão também demonstradas as declividades médias em porcentagem, dentro de cada intervalo proposto por Embrapa (1979).

Como já afirmado, buscou-se a abrangência na BHCG para os intervalos de declividade diante 8 a 20 e 20 a 45 (%) intervalos estes que ocupam 281.60 (ha) o que corresponde a 79 % em relação à a área da BHCG de 356.40 ha até a seção de controle onde situa-se a estação hidrossedimentométrica. Simulando-se as encostas propostas da mesma forma das parcelas de solo, têm-se abrangência em área de 330.52 ha, o que contempla aproximadamente 93% da BHCG. Os principais parâmetros de entrada, modificados na simulação para este caso foram K_e , e também as declividades das encostas para as médias propostas.

É sabido que parâmetros do solo como K_e têm enorme variação temporal e espacial e conforme Flanagan et al. (2012), logo, são parâmetros de suma importância para o modelo. Realizadas as simulações para cada interação (declividade média/ solo/ uso do solo), pôde-se verificar as perdas de solo e água para cada uma das encostas simuladas, estipulando também as ponderações por área de ocorrência para obtenção de um valor total de perda de solo anual para BHCG. Os resultados das simulações realizadas nesta fase, estão detalhados no APÊNDICE A.

No caso dos dados simulados para as condições de campo propostas, foram verificados deflúvios superficiais diretos com valores menores, tanto para LVA quanto para CX, em relação aos dados gerados com K_e do modelo. Quanto às classes de uso, a classe de solo exposto foi a classe à qual gerou maiores perdas de solo como esperado e, o valor para CX foi $40.49 \text{ (t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}\text{)}$,

enquanto que para o LVA 31.60 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) que, em termos de ponderação das áreas, o CX nestas condições é responsável por 107.21 $t\ ano^{-1}$ na BHCG enquanto que o LVA apontou 92.83 $t\ ano^{-1}$. Tais valores evidenciam a maior erodibilidade do Cambissolo quando comparado ao Latossolo Vermelho- Amarelo visto que, em termos de área o LVA abrange 202.08 (ha) e o CX 128.20 (ha) da BHCG respectivamente.

As perdas totais em relação a Mata Nativa foram 1.18 e 0.92 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para CX e LVA respectivamente. Um ponto interessante para as simulações das parcelas nessas condições foi que, diferentemente das parcelas instaladas em campo, pôde-se obter dados correspondentes às classes vinculadas ao reflorestamento, conforme contido na Tabela 4.

Pires (2006) em estudo de erosão hídrica pós plantio em florestas de eucalipto em Minas Gerais, avaliou perdas em Latossolo Vermelho-Amarelo, muito argiloso, relevo ondulado (8 a 20%) encontrando valores de 0.041 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para plantio em nível, 0.201 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para plantio na direção do declive, e 0.587 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para plantio na direção do declive, com queima e restos culturais. O valor simulado para essa condição, foi 0.19 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), valor entre os intervalos estimados pelo autor, ressaltando ainda que, como frisado no tópico sobre uso e ocupação da BHCG, no reflorestamento não se encontrou nenhum tipo de manejo, prática conservacionista ou homogeneidade para a classe. Outro fator diante a classe de reflorestamento, são os totais para as perdas anuais para CX e LVA, de 1.29 e 1.01 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) respectivamente, valores estes próximos dos encontrados para mata nativa sendo, de acordo com Paiva (2006) uma sinalização da sustentabilidade associada à classe de reflorestamento.

Para as classes de campo e pasto foram estimadas perdas totais de 1.17 e 1.0 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para CX e LVA, sendo estes responsáveis por maiores perdas anuais abaixo da classe de solo exposto, a princípio por conta da maior abrangência em área, tanto para CX quanto para LVA.

Em termos gerais, realizada as ponderações por área de ocorrência, foi estimado uma perda de 264.69 $t\ ano^{-1}$ que, quando distribuída em termos de área (330.26 ha) traduz um valor de 0.801 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), valor este adotado aqui

como perda de solo por erosão hídrica (PSEH) para posterior utilização no cálculo da taxa de transferência de sedimentos suspensos. Nas simulações realizadas com dados de Ke calculados pelo modelo, o principal aspecto a destacar, foram os deflúvios superficiais diretos acima do estimado com os dados de entrada dos respectivos solos. Este fator sinaliza possivelmente a influência da textura nos cálculos de rotina utilizados pelo WEPP, subestimando assim a infiltração de água no solo, superestimando então os valores de Df.

As perdas para a segunda situação, de um modo geral foram maiores. Na classe de solo exposto, para CX e LVA foram estimadas perdas de 81.11 e 47.68 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) respectivamente que, para o CX quase dobram de valor, principalmente quando associado à declividade média de 49.28 (%) chegando a 51.21 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) embora a área correspondente seja menor (0.133 ha). Esta situação ressalta a importância de pequenas áreas associadas a solo exposto e grandes declividades pois, em termos anuais, esta área poderia contribuir, de acordo com a simulação com 6.79 $t.ano^{-1}$.

Para mata nativa, foram estimados valores de 1.59 e 1.53 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para CX e LVA e para reflorestamento os valores foram 1.71 e 1.65 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$), valores estes, bem próximos como na simulação anterior. No uso descrito para Campo/Pasto, as perdas estimadas foram 1.49 e 1.52 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) e, diferentemente do estimado na simulação anterior, os deflúvios estimados para o LVA neste uso, foram maiores que os simulados para CX. Tal fator pode estar associado também com os dados de textura do LVA onde, por conter mais argila, de acordo com o modelo, gera um maior deflúvio superficial direto e conseqüentemente mais perdas, ainda que levemente maior. Para esta segunda situação de simulação com os dados de Ke do modelo, de um modo geral, em termos anuais com as ponderações das áreas, foi gerado 381.49 $t\ ano^{-1}$ que, distribuídos para BHCG em 330.26 ha corresponde a uma perda de solo por erosão hídrica (PSEH) de 1.16 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$). Este valor será também utilizado para um posterior cálculo da taxa de transferência de sedimentos suspensos (TTSS). Ressalta-se ainda que, em termos de uso, para a primeira simulação as perdas seguiram a ordem: Solo Exposto > Reflorestamento > Campo Pasto >

Mata Nativa e para a segunda situação: Solo Exposto > Reflorestamento > Mata Nativa > Campo Pasto.

5.5 SIMULAÇÕES - RUSLE

Diante a aplicação do modelo proposto por Mello et al. (2013), a erosividade anual na BHCG aqui denominado pela nomenclatura R2, obteve uma escala de variação entre 9429.62 a 10456.70 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, notando-se um gradiente positivo sentido Sudeste a Norte. A média dos valores encontrados foi de 10003.50 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹.

A Tabela 16 apresenta a erosividade anual da chuva para as estações que foram utilizadas para o cálculo, bem como, a erosividade para o período seco, que vai de abril a setembro, e, para o período úmido que vai de outubro a março. A nomenclatura para o fator foi denominada R3. Ainda na estimativa da erosividade das chuvas na BHCG, foi utilizado o método do inverso do quadrado das distâncias (IDW) no software *ArcGIS*[®], e posterior espacialização do fator R3.

Tabela 16 - Valores estimados para a Erosividade da chuva, anual e para os períodos seco e úmido, pelo Índice de Fournier para as estações vizinhas à área de estudo (R3).

EI_{30} (MJ mm (ha h) ⁻¹)			
Estações	Anual	Período Seco	Período Úmido
Aguaí	7295.21	645.17	6650.04
Andradas	8073.74	653.50	7420.24
Campestre	6262.77	477.62	5785.15
Casa Branca	7278.83	867.41	6411.42
Areado	5937.25	516.63	5420.62
Guaranésia	7937.30	851.77	7085.53
Guaxupé	7591.17	969.42	6621.74
Itapira	6790.53	696.86	6093.66
Jacutinga	8028.16	1010.14	7018.02
Machado	6483.71	603.08	5880.62
Mococa	7210.99	680.87	6530.11
Mogi Guaçu	6207.19	836.48	5370.71
Muzambinho	7557.76	971.59	6586.16
Poços de Caldas	8490.83	724.46	7766.37
Pouso Alegre	6780.49	738.61	6041.87
São João da Boa Vista	7261.68	962.89	6298.79

Fonte: Do Autor.

Para o fator R3, os resultados obtidos estão entre 7686.47 e 7775.27 MJ mm (ha ano)⁻¹, sendo a média de 7733.40 MJ mm (ha ano)⁻¹. As especializações dos fatores utilizados na presente simulação estão exibidas na Figura 40.

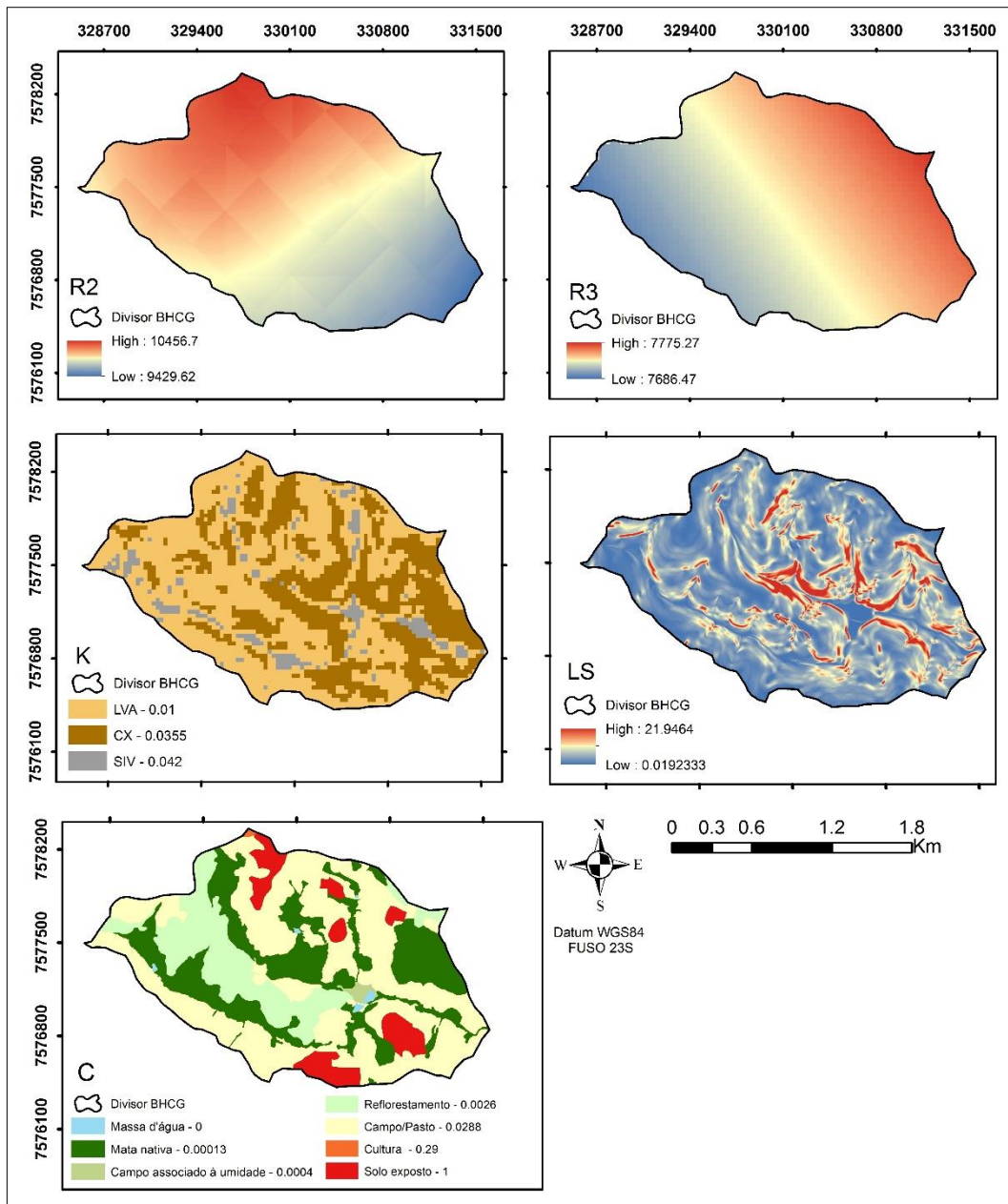


Figura 40 – Espacialização dos fatores da RUSLE na BHCG –Poços de Caldas – MG.
Fonte: Do Autor.

Os valores estimados para os fatores R2 e R3, estão dentro do intervalo proposto por Mello et al. (2007), onde os autores determinaram a erosividade anual média em Minas Gerais entre 5.000 a mais de 12.000 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹. Ainda segundo os autores, diante valores para erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais, considera-se o intervalo para R3 como erosividade alta – localizações do Triângulo Mineiro e noroeste do Estado, partes do centro-norte de Minas e do Sul de Minas Gerais, com valores entre 7.357 e 9.810 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, estando o valor de R2 bem próximo do intervalo. Aquino

et al. (2012) observaram que a região sul de Minas Gerais apresenta elevada erosividade das chuvas, sendo os maiores índices observados nas áreas de maiores altitudes e nos planaltos e serras elevadas. Os valores aqui encontrados para R3, estão bem próximos dos estimados pelos autores, de 5145 a 7776 MJ mm ha⁻¹ ano⁻¹, em Ijaci (norte da região) e Itajubá (região sul), respectivamente, sendo também de acordo com Foster et al. (1981), classificados os intervalos encontramos como altos.

Um fator de destaque nas metodologias aqui apresentadas é que, potencial erosivo da chuva pode ser calculado por meio da análise de dados pluviográficos. Contudo, nas condições brasileiras, essas informações nem sempre são encontradas, ou, quando disponíveis, há falhas ao longo do período de observação ou são insuficientes para mapeamento (Viola et al. 2014; Aquino et al., 2012). Deste modo, o índice de erosividade da chuva (EI₃₀), que consiste no produto da energia cinética total da chuva pela sua intensidade máxima em 30 min consecutivos, tem sido frequentemente determinado com base em dados médios de precipitação mensal e média anual, calculados a partir de séries históricas constituídas por dados diários de precipitação (Mello et al., 2007; Oliveira et al., 2014; Viola et al, 2014). Tal fator sugere o aumento nos valores encontrados para R2 e R3 em relação ao aqui determinado com o uso dos dados da estação na BHCG pois, na metodologia para R1, foram usadas as condições segundo De Maria (1994) onde as precipitações menores que 10mm, intensidade máxima em 15 minutos, menor que 24 mm h⁻¹ ou energia cinética menor que 3,6 MJ foram consideradas não erosivas.

De acordo com Rodrigues et al. (2017) a análise do fator LS é muito importante na configuração da erosão hídrica, uma vez que caracteriza a velocidade do escoamento superficial. O fator LS calculado variou de 0.019 (nos vales mais planos) a 21.94 nas encostas mais íngremes da BHCG. O valor médio encontrado fator foi de 1.62. De acordo com Oliveira (2014), em estudo valores inferiores 10, que representa uma vulnerabilidade moderada associada com o efeito topográfico, sendo que valores maiores podem apresentar áreas com alto potencial de erosão.

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam os resultados médios das perdas de solo estimadas pelo modelo RUSLE, junto às classes de uso e ocupação do solo da BHCG. Como mostrado na Equação (1), o fator A representa a perda de solo média anual, logo, para melhor entendimento, denominou-se as perdas aqui calculadas como AR1 (perda média com utilização de R1), AR2 (perda média com utilização de R2) e AR3 (perda média com utilização de R3). Lembrando que, R1, R2 e R3 são as diferentes metodologias utilizadas para cálculo das erosividades anuais para a BHCG.

Tabela 17 - Resultados médios de perdas de solo utilizando a erosividade R1, junto a cada classe de uso do solo (AR1).

AR1			
Usos do solo	Área (ha)	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t ano ⁻¹)
Solo exposto	27.76	204.05	5664.21
Campo/Pasto	170.38	7.90	1345.50
Cultura	0.41	18.05	7.44
Mata Nativa	95.15	0.11	10.89
Reflorestamento	59.37	0.41	24.49
Campo associado à umidade	2.02	0.05	0.11
Massa d'água	1.29	0.00	0.00
Total	356.40		7052.64
Perda média de solo/unidade de área		19.79	

Fonte: Do Autor.

Tabela 18- Resultados médios de perdas de solo utilizando a erosividade R2, junto a cada classe de uso do solo (AR2).

AR2			
Usos do solo	Áreas (ha)	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t ano ⁻¹)
Solo exposto	27.76	295.60	8205.47
Campo/Pasto	170.38	13.71	2336.33
Cultura	0.41	28.85	11.89
Mata Nativa	95.15	1.89	189.93
Reflorestamento	59.37	0.77	45.93
Campo associado à umidade	2.02	0.33	0.66
Massa d'água	1.29	0.00	0.00
Total	356.40		10790.20
Perda média de solo/unidade de área		30.28	

Fonte: Do Autor.

Tabela 19 - Resultados médios de perdas de solo utilizando a erosividade R3, junto a cada classe de uso do solo (AR3).

AR3			
Usos do solo	Áreas (ha)	(t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(t ano ⁻¹)
Solo exposto	27.76	237.49	6592.44
Campo/Pasto	170.38	9.21	1569.40
Cultura	0.41	22.62	9.32
Mata Nativa	95.15	0.13	12.67
Reflorestamento	59.37	0.48	28.49
Campo associado à umidade	2.02	0.06	0.13
Massa d'água	1.29	0.00	0.00
Total	356.40		8212.46
Perda média de solo/unidade de área		23.04	

Fonte: Do Autor.

As estimativas de perda média anual de solo para a BHCG foram 19.79, 30.28 e 23.04 t ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente para AR1, AR2 e AR3.

Dentre os valores encontrados para as perdas médias na BHCG, diante os usos do solo, foram verificados os maiores valores para as áreas de solo exposto com valores entre 204.05 e 295.60 t ha⁻¹ ano⁻¹. Perante a área de estudo, os solos descobertos estão geralmente associados à mineração, estradas não pavimentadas assim como falta de manejo.

As estimativas para áreas florestais que atingiram no máximo 1.89 t ha⁻¹ ano⁻¹ para mata nativa e 0.77 t ha⁻¹ ano⁻¹ para reflorestamento associados à eucaliptos foram menores do que as estimativas usuais de USLE/RULSE para estes usos da terra em bacias hidrográficas brasileiras (AVANZI et al., 2013; SILVA, 2015; BATISTA, 2016).

Para os usos associados à campos e pantagens, foram encontrados valores entre 7.9 e 13.71 t ha⁻¹ ano⁻¹. Batista (2016) em aplicação da RUSLE na Bacia do Alto Rio Grande, encontrou valores que permearam 16.63 t ha⁻¹ ano⁻¹, e ainda explica que muitas pastagens encontradas na bacia são degradadas e, portanto, podem sofrer uma erosão maior do que as terras de pastagem bem manejadas.

A mesma situação foi verificada na BHCG, onde no início da estação chuvosa, as pastagens geralmente apresentam vegetação escassa como resultado da falta de chuva durante o inverno. Ainda de acordo com Batista (2016), o valor do fator C único designado para tal uso da terra pode não

representar a variabilidade espacial e temporal do parâmetro, que associa a incerteza às previsões do modelo. Já as áreas de culturas obtiveram estimativas entre 18.05 e 28.85 t ha⁻¹ ano⁻¹ que, apesar de uma área de 0.41 ha, traduz um valor elevado de perdas.

A Tabela 20 apresenta os dados de perdas médias anuais de solo associadas às classes de solo da BHCG.

Tabela 20 - Perdas de solo associadas às classes de solo.

Solos*	Perdas médias (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
	Área (ha)	AR1	AR2	AR3
CX	129.07	44.85	65.08	52.96
LVA	204.33	5.37	9.50	6.36
SIV	23.05	2.59	3.54	3.06

Fonte: Do Autor.

Nota: *CX: Cambissolo Háplico; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; SIV: Solos Indiscriminados de Várzea.

Purcino (2017), em seu estudo sobre atributos físico-hídricos do solo na área da BHCG, verificou perdas maiores para os Cambissolos Háplicos do que para os Latossolos Vermelho-Amarelos, fato este que segundo o autor, na literatura técnico- científica já é consenso (SILVA et al., 2014) e que ocorreu também no presente estudo. De acordo com a Tabela 20, a classe do Cambissolo Háplico apresentou uma estimativa de perda maior do que os Latossolos Vermelho-Amarelos que, de modo geral, apresentaram entre 12 a 14 % do total de perdas dos Cambissolos. Tal sinalização era esperada diante valores preditos na literatura como Silva et al. (2009), em trabalho com parcelas de solo em campo em cinco anos de coletas de dados, verificaram uma média de 175 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o Cambissolo Háplico, e 13.4 t ha⁻¹ ano⁻¹ para o Latossolo Vermelho e ainda, no trabalho de Silva et al. (2005) as perdas foram de 205.6 e 14.9 t ha⁻¹ ano⁻¹, para o CX e LV respectivamente.

Para análise dos resultados de forma qualitativa, adotou-se a classificação proposta por Beskow et al. (2009) da qual permite classificar a vulnerabilidade do solo à erosão desde "ligeira" com valores entre 0 a 2.5 (t ha⁻¹ ano⁻¹) a "extremamente alta" com valores maiores que 100 (t ha⁻¹ ano⁻¹). A espacialização

das perdas AR1, AR2 e AR3 estão representadas respectivamente na Figura 41, e as classes de vulnerabilidade estão descritas na Tabela 21.

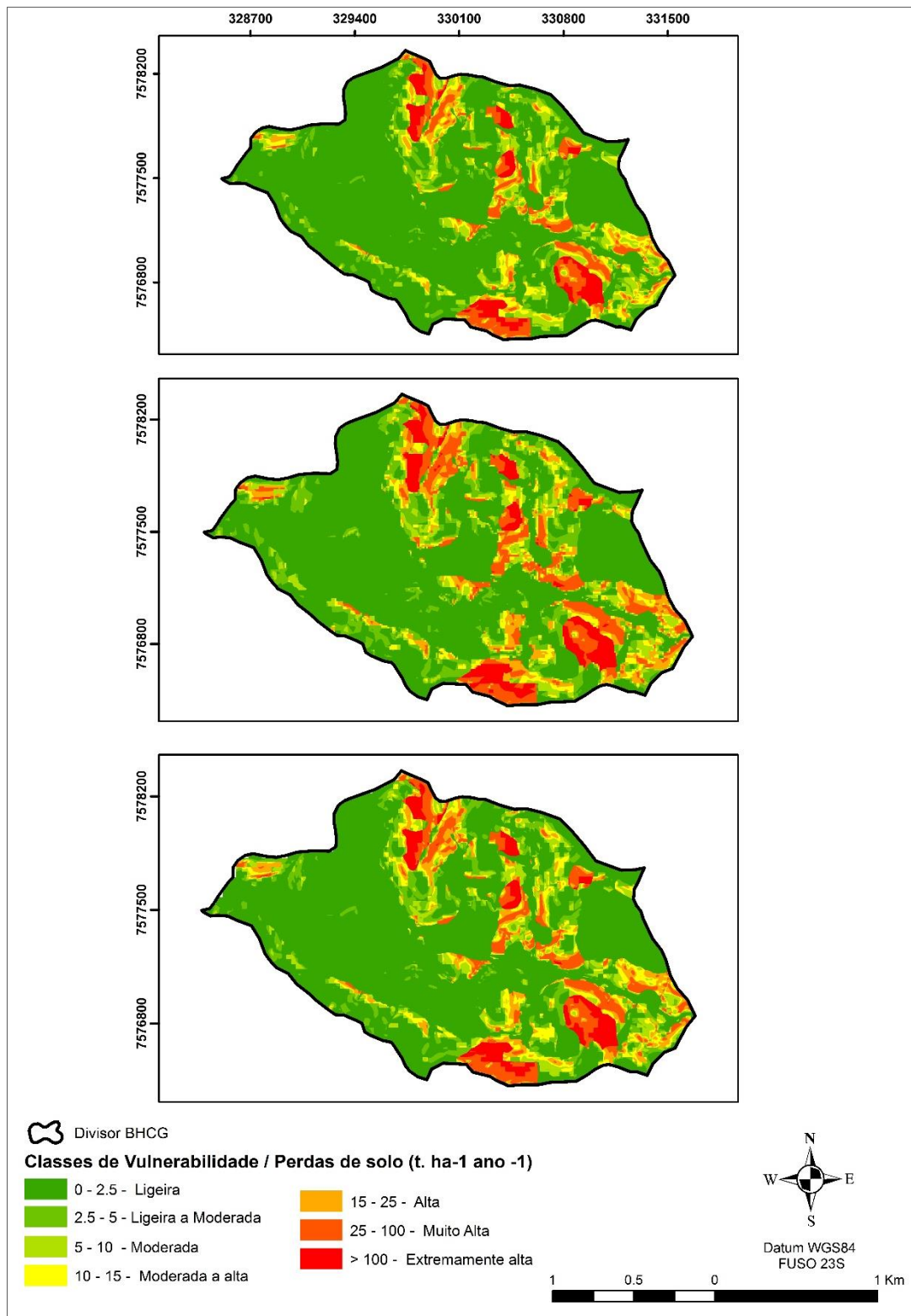


Figura 41- Espacialização das perdas AR1, AR2 e AR3, reclassificadas para classes de vulnerabilidade* a erosão hídrica segundo Bescow et. al. (2009)

Tabela 21 - Distribuição das Classes de Vulnerabilidade a erosão hídrica de acordo com Beskow et al. (2009), na BHCG.

Classes de Vulnerabilidade*		AR1		AR2		AR3	
		Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
0 a 2.5	Ligeira	231.20	64.89	207.52	58.24	221.48	62.14
2.5 a 5	Ligeira a Moderada	25.86	7.26	37.80	10.61	30.28	8.50
5 a 10	Moderada	27.16	7.62	22.78	6.39	24.20	6.79
10 a 15	Moderada a alta	19.78	5.55	16.90	4.74	20.81	5.84
15 a 25	Alta	16.65	4.67	23.66	6.64	19.75	5.54
25 a 100	Muito Alta	22.51	6.32	31.55	8.85	25.92	7.27
> 100	Extremamente alta	13.12	3.68	16.09	4.52	13.98	3.92
Total		356.40	100.0	356.40	100.0	356.40	100.0

Fonte: Do Autor.

Nota: *Classes propostas por Beskow et al., (2009).

Não foi verificada diferença significativa para a classificação dos intervalos diante os propostos por Beskow et al. (2009) em termos das especializações. É verificado diante a Tabela 21 que a maior parte da BHCG, entre 58.24 e 64.89 % levando-se em conta AR1, AR2 e AR3 classifica-se como classe de Ligeira vulnerabilidade à erosão hídrica. Porém, em termos médios, se utilizando da classificação, com uma perda média estimada para AR1 de aproximadamente 19.79 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) e AR3 com 23.04 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) a BHCG poderia se estabelecer então na de "Alta" vulnerabilidade, e para o caso do valor estimado para AR3, tal classificação poderia ser estipulada para "Muita Alta" vulnerabilidade.

5.6 CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO SUSPENSO (CSS)

A Tabela 22 apresenta uma síntese das coletas de monitoramento realizadas na seção em estudo, referentes às datas, nível de água, vazão medida e concentração de sedimento suspensos.

Tabela 22- Síntese dos monitoramentos de nível de água, vazão e concentração de sólidos suspensos realizados na seção da BHCG.

Data	Hora	NA (m)	Q _{obs} (L. s ⁻¹)	CSS (mg.L ⁻¹)
5/10/2017	11:30	0.35	29.96	0.00
19/10/2017	13:00	0.32	26.91	0.00
9/11/2017	11:10	0.34	28.44	0.00
23/11//2017	11:15	0.43	92.90	4.71
11/12/2017	13:55	0.35	31.29	2.48
13/12/2017	14:00	0.35	31.73	0.00
19/12/2017	10:00	0.35	41.13	6.00
4/1/2018	13:40	0.44	125.19	3.74
9/1/2018	11:00	0.51	200.77	13.50
16/1/2018	11:20	0.43	81.44	7.45
23/1/2018	13:00	0.39	58.33	0.00
30/1/2018	11:50	0.41	79.57	1.85
6/2/2018	10:30	0.39	59.51	5.17
15/2/2018	10:20	0.39	67.91	5.20
21/2/2018	10:40	0.42	93.24	8.74
27/2/2018	10:10	0.42	101.50	15.00
6/3/2018	10:00	0.39	67.12	10.00
13/3/2018	10:00	0.46	148.70	15.00
20/3/2018	10:05	0.48	148.80	15.00
20/3/2018	13:30	0.73	424.80	65.00
27/3/2018	10:10	0.45	81.80	5.00
3/4/2018	10:05	0.44	77.00	30.00
7/10/4/2018	10:20	0.42	63.00	15.00
17/4/2018	10:17	0.41	50.00	8.00
24/4/2018	10:16	0.41	61.00	9.00
10/5/2018	10:00	0.39	36.00	9.00
24/5/2018	10:00	0.38	33.00	10.00
7/6/2018	9:45	0.38	35.00	8.10
21/6/2018	9:40	0.36	39.85	7.90
5/7/2018	9:50	0.35	28.00	8.30
19/7/2018	10:00	0.35	29.00	8.40
16/8/2018	10:50	0.44	79.00	9.10
30/8/2018	11:10	0.43	75.00	8.20
27/9/2018	11:10	0.42	73.00	8.80

Fonte: Do Autor.

Na estação Hidrossedimentométrica da BHCG a partir dos dados registrados a cada cinco minutos foi verificado, totalizando-se as precipitações do período estudado (5/10/2017 a 27/9/2017) o valor de 1579.6 mm. Os meses com valores mais altos de precipitação foram janeiro e março com 333 e 325.6

mm respectivamente, sendo meses com mais baixa precipitação total junho e julho com 8.2 e 10.6 mm.

Com base na Tabela 22, pode-se observar que para os valores do nível de água foram obtidos valores entre 0.32 e 0.73 metros, valores estes equiparados ao mínimo e máximo valores de vazão medidos de 26.91 e 424.80 L s⁻¹ respectivamente, demonstraram também o menor e maior valor associado a concentração de sólidos suspensos sendo 0.00 e 65.00 mg L⁻¹. Com base nos valores observados de vazão (L s⁻¹) e os níveis de água (NA) obteve-se a curva-chave (ou curva de calibração) mostrada na Figura 42.

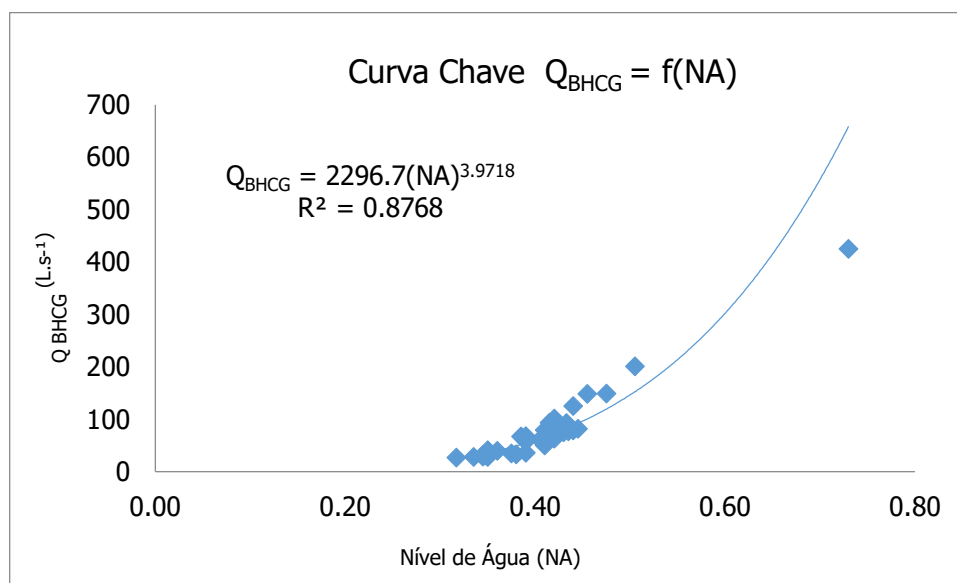


Figura 42 - Curva-chave da vazão em função do nível de água - $Q = f(NA)$ para BHCG.
Fonte: Do Autor.

Com base nos dados de concentração de sedimentos suspensos e vazões aferidos em campo, pôde-se estabelecer a função $CSS_{BHCG} = f(Q_{BHCG})$, cuja equação e comportamento gráfico são apresentados na Figura 43.

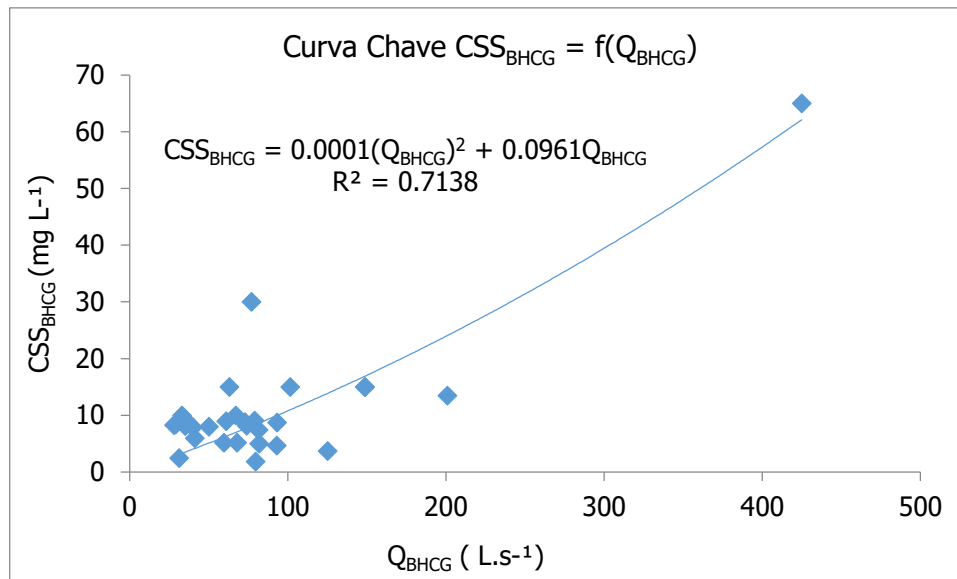


Figura 43 - Curva-chave da concentração de sedimentos suspensos em função da vazão - $CSS = f(Q)$ - para a BHCG.

Fonte: Do Autor.

Com as equações estabelecidas nas curvas de calibração geradas, foram calculadas as concentrações de sedimentos suspensos (CSS) $mg.L^{-1}$ em intervalos de 5 em 5 minutos e posteriormente calculada a massa de sedimentos suspensos transportados (MSST) no mesmo intervalo mencionado. De posse dos dados foi possível estimar a massa de sólidos transportada até o final do período em estudo sendo o total estimado para somatórias mensais de MSST descritos na Tabela 23.

Tabela 23 - MSST, totais mensais para o período de estudo em toneladas (t).

Mês	Σ MSST (t)
Oct-17	0.26
Nov-17	0.68
Dec-17	1.84
Jan-18	2.72
Feb-18	0.72
Mar-18	14.01
Apr-18	1.43
May-18	1.17
Jun-18	0.77
Jul-18	0.61
Aug-18	0.67
Sep-18	0.54
Total	25.43

Fonte: Do Autor.

Na Tabela 23 pode-se observar um total anual de 25.43 toneladas de massa de sedimento suspenso transportado no exutório da BHCG que, quando expresso por unidade de área, resulta em uma MSST de $0.071 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Observa-se ainda que o mês de outubro foi o que se obteve menor taxa de transporte de sedimento suspenso com uma colaboração de apenas 1.02 % da massa total transportada. O mês com maior participação foi o mês de março com 14.01 toneladas de massa de sedimento suspenso transportado na seção da BHCG com representação de 55.10 % da MSST transportada no período. Os meses de outubro a março, concentraram 20.22 toneladas de sedimento suspenso, representando então um total de 79.52% da massa transportada no período. Os demais meses de abril a setembro participaram com 5.21 toneladas, contemplando assim 20.48 % do total de MSST.

Moreira (2017) em realização de estudo sobre interação entre escoamento superficial e transporte de sedimentos no Alto Ribeirão das Antas, no município de Poços de Caldas-MG, área onde se insere a BHCG, obteve uma estimativa de MSST, de 4783.4 toneladas que ao ser distribuída sobre a área de drenagem (15240 ha), resulta em $0.314 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Levando em conta que a área considerada para a BHCG representa um total de 356.40 ha, a área seria equivalente a 2.31 % da área da Bacia do Alto Ribeirão das Antas e, teria uma MSST de 22.30 % do estimado pelo autor.

Já Durães et al. (2016), estimaram a descarga de sólidos em suspensão para a parte Alta da Bacia do Rio Iguaçu, com valores entre 0.470 a $5124 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo importante associar a amplitude de variação dos valores obtidos à diversidade de uso e da intensidade de intervenção antrópica, sendo os valores maiores associados a áreas altamente urbanizadas e valores menores às áreas com participação expressiva de cobertura vegetal de mata (MOREIRA, 2017).

5.7 TAXA DE TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO SUSPENSO (TTSS)

Os resultados para os cálculos da TTSS (taxa de transferência de sedimentos suspensos) estão descritos na Tabela 24, assim como os valores de PSEH que foram estimados por cada metodologia, para posterior relação com MSST de $0.071 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

PS1 é a PSEH com 174 hectares de abrangência e PS2 é a PSEH considerando as classes de solo \times uso com abrangência de 330.52 hectares sem inclusão das classes de declividade. WEPP PS1 E PS2 são as perdas obtidas com modelo WEPP também para as diferenças de área e, WEPP 3 e 4 são as simulações para as "parcelas" com as declividades médias para os intervalos de declividade com dados de entrada e dados do modelo. Por fim, os últimos 3 (AR1, AR2 e AR3) as simulações a partir da RUSLE.

Tabela 24 – Resultados de perda de solo por erosão hídrica (PSEH) e taxa de transferência de sedimento suspensos (TTSS) obtidos nas diferentes metodologias na BHCG.

Estimativa	PSEH ($\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	TTSS (%)
PS 1	0.62	11.40
PS 2	0.72	9.81
WEPP PS 1	0.65	10.91
WEPP PS 2	0.68	10.46
WEPP 3	0.80	8.86
WEPP 4	1.16	6.15
RUSLE - AR1	19.79	0.36
RUSLE - AR2	30.28	0.23
RUSLE - AR3	23.04	0.31

Fonte: Do Autor.

PS1 e PS2 mostraram valores de TTSS de 9.81 e 11.40 %, valores estes bem próximos, quando comparados aos valores de PSEH também próximos. A aplicação do modelo WEPP para as condições das parcelas, estimou TTSS entre 10.46 e 10.91 (%) valores bem parecidos dos estimados para as parcelas experimentais. Os valores estimados para WEPP 3 e 4, dos quais dizem respeito às parcelas simuladas com declividades médias, demonstraram TTSS pouco menores das calculadas pelas parcelas, fator este associado à uma perda de solo

ligeiramente maior simulada. Como pode ser verificado, as menores taxas de transferência de sedimento suspenso estão associadas às estimativas realizadas pela RUSLE, onde $AR1 < AR3 < AR2$. Tal fator pode ser observado pois, como a TTSS é calculada pela relação $MSST/PSEH$, os fatores da RUSLE geraram maiores valores de perda de solo por erosão hídrica (PSEH) implicando então, em taxas menores, não chegando a 0.5%. Durães et al., (2016) em estudo na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Iguazu mediante aplicação da RUSLE em ambiente SIG e taxa de aporte de sedimentos, estimaram valores de 28.4%, valor este para uma área de aproximadamente 2740 km². Ainda segundo os autores, é importante ressaltar que o estudo teve variações de TTSS entre 6.6 e 88.3% de acordo com as sub-bacias estudadas e suas características. Alatorre et al. (2012) estimaram uma TTSS de aproximadamente 5% para uma bacia experimental de 2.84 km² na Espanha e, apesar de de características e metodologias diferentes, em termos de escala, assemelha-se com o presente trabalho. Já Silva e Schulz (2007) avaliaram a dinâmica hidrossedimentológica na bacia do rio Água Fria no município de Palmas, estado do Tocantins, no período de fevereiro de 1998 a janeiro de 1999 e estimaram o valor médio da TTSS de 6.2% em uma área de 167.6 Km², onde os autores afirmaram ser a vegetação ripária durante o período de estudo o principal fator que determinou a quantidade de sedimentos que foram entregues pelos cursos de água. No estado de Pernambuco, Silva et al. (2014), encontraram uma taxa de transferência de 11.5% para a Bacia do Rio Tapacurá, com uma área de 470 km² e utilização da USLE. Beskow et al. (2009), em estudo na Bacia do Rio Grande no estado de Minas Gerais, encontraram um valor médio de 1.62% para uma área de drenagem superior a 6000 km², enquanto Durães, Mello e Beskow (2016), após estudo na Bacia do Rio Paraopeba, obtiveram valores estimados variando de 8.6% a 66.0% para uma área de 8659 km². Os resultados estimados através das metodologias com utilização da RUSLE sinalizam estar subestimando a TTSS (neste caso superestimando a PSEH) na BHCG, uma vez que os resultados com base nas parcelas experimentais estão com valores cerca de 33 vezes maiores.

6 CONCLUSÕES

A BHCG dispõe de um nível detalhado de informações quando se diz respeito ao banco de dados geográficos, fator este de suma importância para o levantamento dos parâmetros morfométricos e aquisição de dados suporte ao conhecimento da área.

O monitoramento e caracterização das precipitações erosivas na BHCG, apresentou valores dentro dos intervalos propostos para o estado de Minas Gerais, porém menores do que os encontrados na literatura para a área de estudo.

O monitoramento das parcelas experimentais proporcionou totais de perdas de solo anuais para a BHCG, que, ponderados com as áreas de ocorrência, variaram entre 0.623 e 0.724 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) abrangendo 50 e 93 % da área da BHCG respectivamente.

As áreas constatadas com maiores perdas foram as de solo exposto associadas ao Cambissolo Háplico (CX), seguidas do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) que, apesar de pouca participação espacial na BHCG, contribuíram com 85.11 % da perda de solo da BHCG de $108.60\ t\ ano^{-1}$, valores estes abaixo dos encontrados na literatura.

Constatou-se a influência positiva da cobertura vegetal mata nativa e Campo/Pasto, na diminuição da energia cinética das gotas de precipitação e conseqüentemente na erosão hídrica.

O deflúvio superficial direto atuou como fator essencial nas correlações entre as perdas de solo, demonstrando assim sua importância no processo de carreamento do solo.

A aplicação do modelo WEPP se mostrou complexa diante o número de variáveis de entrada, porém eficiente em sua aplicação por se tratar de um modelo com base física.

O banco de dados elaborado apesar de limitado, foi suficiente para aplicação mesmo que alguns fatores abordados tivessem sido utilizados de dados da literatura, o ajuste do modelo para as parcelas experimentais se realizou de forma satisfatória. Através do modelo, estimou-se 0.65 e 0.68 ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) para

representatividade de 50 e 93 % da área da BHCG respectivamente, valores bem próximos dos estimados pelas parcelas experimentais.

As perdas estimadas pela RUSLE com dados de erosividade de campo, foram 28 vezes maiores do que as estimadas pelas parcelas experimentais, sinalizando superestimava das perdas de solo médias anuais. É importante ressaltar o valor qualitativo dos dados associados à RUSLE onde, a BHCG classifica-se nos intervalos de "Alta" e "Muito Alta" vulnerabilidade a erosão hídrica.

A massa de sedimentos suspensos transportados (MSST) estimada a partir dos valores de concentração de sedimentos suspensos (CSS) para a seção de controle apresentou um total anual de 25.43 t ano⁻¹ para todo o período que, expresso por unidade de área, resulta em uma MSST de 0.071 t ha⁻¹ano⁻¹.

Foram geradas taxas de transferência de sedimento variando de 0.23 a 11.40 (%), sendo a maior taxa, associada a perda de solo por erosão hídrica (PSEH) das parcelas experimentais e as menores associadas ao modelo RUSLE.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos hidrossedimentológico iniciados na BHCG traduzem um grande potencial para trabalhos futuros. Entre eles, destacam-se alguns itens e sugestões:

- ✓ Continuação do monitoramento na estação e nas parcelas experimentais de perda de solo e água;
- ✓ Instalação de sensores para monitoramento de diferentes parâmetros na estação hidrossedimentométrica;
- ✓ Efetuar coletas para levantamentos descritivos dos parâmetros relacionados aos solos;
- ✓ Estudar a tolerância de perdas de solo para região a fim de verificar se os usos existentes estão sendo capazes de manter a qualidade do solo.
- ✓ Estudar a erodibilidade dos solos da região;
- ✓ O modelo requer ainda, estudo prévio para sua aplicação devido à necessidade de elaboração de banco de dados correspondentes às características do Brasil, uma vez que o modelo é Norte Americano. Tal inferência surge como dificuldade das simulações dos processos de infiltração e escoamento superficial por exemplo, pela base de dados ter sido gerada nos Estados Unidos.
- ✓ Existe a necessidade do levantamento de parâmetros como K_i , K_e , K_r e T_c para as condições dos solos brasileiros para posterior aplicação do modelo WEPP;
- ✓ Por fim, através do levantamento de mais dados, efetuar a aplicação do modelo GeoWEPP para BHCG.

REFERÊNCIAS

- ALATORRE, L. C.; et al. Soil erosion and sediment delivery in a mountain catchment under scenarios of land use change using a spatially distributed numerical model. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 5, p. 1321-1334, 2012.
- ALBERTS, E.E. et al. Soil component. In: Flanagan, D.C.; Nearing, M.A. **Water Erosion Prediction Project (WEPP) - Technical Documentation**. West Lafayette: USDA/NSEAL, 1995. (NSERL Report n. 10).
- ALMEIDA, W.S. et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária**, v.51, n.9, 2016.
- APHA, **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington DC: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, 1998.
- AMORIM, R. S. S., **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- 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.1.046-1.049, 2010.
- ANDRELLO, A. C. **Aplicabilidade do ¹³⁷Cs para medir erosão do solo: modelos teóricos e empíricos**. 2004. 199f. Tese (Doutorado em Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.
- AQUINO R. F., et al. Soil losses from Typic Cambisols and Red Latosol within three different erosive rainfall patterns. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37 p. 213-220. 2013.
- AQUINO R. F. et al. Spatial variability of the rainfall erosivity in Southern region of Minas Gerais State, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36. p. 533-542, 2012.
- AQUINO, F. R. et al. Erosividade das chuvas e tempo de recorrência para Lavras, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.1, p.009-016, 2014.
- AVANZI, J. C. et al. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.12, n.6, p.563-569. 2008.

- AVANZI, J. C. et al. Erosion with eucalyptus and atlantic forest. **Ciência e Agrotecnologia**, v.37, n. 5, p. 427–434, 2013.
- BARROSO, D, G.; SILVA, M, L, N. Poluição e Conservação de Recursos naturais: solo e água. **Informe Agropecuário**. v 176.n 16. p17 - 24.1992.
- BATISTA, Pedro Velloso Gomes. **Modelagem da erosão hídrica e métodos de interpolação de batimetria fluvial na bacia do alto rio grande (mg)**. 2016. 107 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, DCS, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 2016.
- BERTONI J; LOMBARDI NETO F. **Conservação do solo**. Piracicaba, Ícone. 355p. 2010.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D. Soil erosion prediction in the Grande river basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, pp. 49-59. 2009
- BOCUTI, E.D. **Condutividade hidráulica efetiva e erodibilidade entressulcos de solos da bacia do rio das mortes**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRANDÃO, V.S. et al. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV, 2006.
- BRASIL - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto Sapucaí: Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo**. Relatório Final de Geologia. Brasília: DNPM/CPRM, Superintendência Regional de São Paulo: 299 p., 1979.
- 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 Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1565-1575, 2014.
- CARVALHO, M. P.; et al. Índices de erosividade da chuva correlacionadas com as perdas de um podzólico vermelho-amarelo eutrófico de textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator de erodibilidade. **Revistas Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 237-242, 1989.
- CARVALHO, N. D. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2008.

- CARVALHO, N. O. et al. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000. 154p.
- CARVALHO, M. P. et al. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Rev. Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 175-183, 2004.
- CARVALHO R. et al. Erosão hídrica em Latossolo Vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**..2007.
- CECÍLIO, R.A.et al. Aplicação dos Modelos RUSLE e WEPP para a Estimativa da Erosão Hídrica em Microbacia Hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró. v.4, n.2, p.39-45, 2009.
- CHAVES, H.M.L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V.H., FONTES, L.E., FONTES, M.P.F. (Eds.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p.731-750.
- CHAVES, H. M. L. Relações de Aporte de Sedimento e Implicações de sua Utilização no Pagamento por Serviço Ambiental em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1469-1477, 2010.
- CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas. **Notícias Geomorfológicas**, v. 13, n. 26, p. 77-85, 1973.
- COOK, H.L. The nature and controlling variables of the water erosion process. **Soil Sd. Soc. Amer. Proc.** v. 1, p. 60-64, 1936.
- COGO, N.P. Uma contribuição à metodologia de estudo das perdas de erosão em condições de chuva natural. I. Sugestões gerais, medição dos volumes, amostragem e quantificação de solo e água da enxurrada. 1ª aproximação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, 1978, Passo Fundo. **Anais...**Passo Fundo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1978. p.75-98.
- COGO N. P.; BERTOL, I. O papel das práticas mecânicas e não-mecânicas no controle da erosão hídrica do solo: conceitos e princípios. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 53 - 75.
- CORRÊA, E. A. et al. Perdas de Solo, Razão de Perdas de Solo e Fator Cobertura e Manejo da Cultura de Cana-de-Açúcar: Primeira Aproximação. **Revista do Departamento de Geografia: Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 32, n. 1, p.1-1, 13 set. 2016.

COSTA, T. C. C. et al. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 78).

DIAS A.S.; SILVA J.C.R.A. Erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I – Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno – 1ª Aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 335-345. 2003.

DE MARIA, I.C. Cálculo da erosividade da chuva. In: **Manual de programas de processamento de dados de campo e de laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC/SCS, (não paginado), 1994.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DE ROO, A, P, J,; WESSELING, C, G,; RITSEMA, C, J. LISEM: a single event physically-based hydrologic and soil erosion model for drainage basins: I, Theory, input and output, **Hydrological Processes**, v.10, n.8, p. 1107 – 1117, 1996.

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

DOTTERWEICH, M. The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation—A global synopsis. **Geomorphology**, v. 201, p. 1–34, 2013.

DURÃES, M. F. et al. Water erosion vulnerability and sediment delivery rate in upper Iguaçú river basin - Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 728-741, 2016.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Sediment yield in Paraopeba river basin - MG, Brazil. **International Journal of River Basin Management**, 2016.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Hydrosedimentologic disturbance index applied to watersheds of Minas Gerais state. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 61–67. 2014.

EDUARDO, E N. **Determinação da erodibilidade e do fator cobertura e manejo do solo sob condições de chuva natural e simulada**. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

ELLERT, R. Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras - USP**, v. 237, n. 18, p. 5-63, 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro,. EMBRAPA-SNLCS. 1979. p. 83.

FAO, Food and Agricultural Organization Of The United Nations. **Status of the world's soil resources: main report**. Rome, 2015.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba –PI-MA. **Revista Brasileira de morfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERREIRA, A. M. et al. Mapeamento da erosão hídrica na bacia do Ribeirão do Cipó, Poços de Caldas - MG - com base na USLE e SIG. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2, 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2017. v. 1.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. 49 p.

FLANAGAN, D. C., NEARING, M. A. (eds.). USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Laffayette: USDA-ARS-MWA-SWCS. 1995. Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

FLANAGAN, D.C.; FRANKENBERGER, J.R.; ASCOUGH, J.C. WEPP: Model use, calibration, and validation. **Trans. ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1463–1477. 2012.

FOSTER, G.R., Modeling the soil erosion process. **Hydrologic modeling of small watersheds**, pp. 297-382. (ASAE, St. Joseph, MI.), 1982.

FOSTER, G.R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**. v. 36, p. 355-359, 1981.

GARCIA, A. R. et al. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p.535-542, 2003.

GONÇALVES, F.A. **Validação do Modelo WEPP na Predição de Erosão Hídrica para Condição Edafoclimática da Região de Viçosa-MG**. 2007. 116f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2007.

- HIGGIT, D. L. Soil erosion and soil problems. **Progress in Physical Geography**, v. 1, n. 15, p. 91-100, 1991.
- HU, L.; FLANAGAN, D.C. Towards new-generation soil erosion modeling: Building a unified omnivorous model. **J. Soil Water Conserv.** v.68, p.100-103, 2013.
- KINNELL, P. I. A. Alternative approaches for determining the USLE-M slope length factor for grid cells. **Soil Science Society of America Journal**, n. 69, p. 674-680, 2005.
- LANE, L. J. et al. Development and application of modern soil erosion prediction technology. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, n. 6, p. 893 – 912, 1992.
- LAFLEN, J.M., LANE, L.J., FOSTER, G.R. The water erosion prediction project – a new generation of erosion prediction technology. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.46, n.1, p.34-38, 1991.
- LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo Oficina de Textos, 2011.
- LIPORACI, S. R. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: Aplicado na cidade e parte do município de Poços de Caldas, Minas Gerais – escala 1: 25.000 – Visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 1994.
- LIMA, J. M. de. **Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG)**. 1987. 86 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1987.
- LOMBARDI, NETO, F.; MOLDENHAUER, N. C. Erosividade de chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas- SP. **Bragantia** v. 51, n. 2, p 189 – 196, 1992.
- LU, H.; MORAN, C. J.; PROSSER, I.P. Modelling Sediment Delivery Ratio Over the Murray Darling Basin. **Environmental Modelling Software**, vol. 21, p. 1297-1308, 2006.
- MARTINS, S.G. et al. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo. **Sci. For.**, v.38, p. 517-526, 2010.
- MCCOOL, D. K. et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation. **Trans. ASAE**, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.

MEDEIROS, I. C de; SILVA R. M. Análise da erosão hídrica na região semiárida da Paraíba usando o modelo SWAT acoplado a um SIG. **Geociências**, v. 33, n. 3, p.457- 471, 2014.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras - MG: Editora UFLA, 2013.

MELLO, C. R. et al. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v.202-203, p.88-102, 2013.

MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 4, pp. 537-545. 2007

MELLO, C. R. et al. Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. **Rev. Environmental Earth Science**, v. 73, p. 8683-8698, 2015.

MELO NETO. et al . Vulnerabilidade dos solos à erosão em bacia hidrográfica minerada no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2, 2017, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2017. v. 1.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling Software**, v. 18, n. 8-9, p. 761–799, 2003.

MERTEN, G.H. et al. Estimativa de fluxo de sedimentos em suspensão utilizando a curva-chave aplicada a vazões mensais e diárias. IN: 17, 2007, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, São Paulo. **Anais...**, São Paulo, 2007.

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 196-208, mar. 2008.

MOREIRA, F. H. D. S. **Interações entre escoamento superficial, hidrossedimentos e radionuclídeos (210pb, 226ra, 228ra, th e u) no Alto Ribeirão das Antas, Poços De Caldas-MG**. 2017. 138f Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL. Poços de Caldas, 2017.

MOTTA, P. E. F. et al. **Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório da Hidrelétrica de Itutinga/Camargos-MG**. Lavras: UFLA/CEMIG, 2001.

MITASOVA, H. ; MITAS, L. Modeling Soil Detachment with RUSLE 3D Using GIS. University of Illinois. **Urbana-Champaign**, 1999.

MOORE, I. D.; BURCH, G. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, n. 50, p. 1294-1298, 1986.

MORAES, F. T. **Zoneamento geomambiental do Planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica**. 2007. 173f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2007.

MORAES, I, C. **Avaliação dos modelos de previsão da erosão hídrica meups e wepp: contribuição em bacias hidrográficas**. 2016. 191 f. Tese (Doutorado Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2016.

NICKS, A. D.; LANE, L. J.; GANDER, G. A. Weather Generator. In: FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. **Water erosion prediction project (WEPP)**. West Lafayette: USDA/ARS,1995. (cap. 2, p.2.1-2.22).

NUNES, M.C.M. ; CASSOL, E.A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32 p. 2839-2845, 2008.

OLIVEIRA, A.M.M.; PINTO, S.A.F. ; LOMBARDI NETO, F. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. **Est. Geogr.**, v. 5, p. 63-86, 2007.

OLIVEIRA, V. A. et al. Soil erosion vulnerability in the Verde river basin, Southern Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec**, v. 38, n. 3, p. 262- 269. 2014.

PEREIRA, T, T, C et al. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí - Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, n. 4, p. 1283-1295. 2010.

PIRES, L. S. **Sistema de manejo de eucalipto e erosão hídrica em Latossolo Vermelho-Amarelo muita argilosa na região de Belo Oriente (MG)**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

PIRES, Lislane Sousa et al. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.** v. 41, n.4, p. 687-695, 2006.

PURCINO, M, D. **Espacialização dos parâmetros físico-hídricos do solo e associação com a vulnerabilidade à erosão hídrica em dois ambientes antropizados do Ribeirão do Cipó**. 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL, Poços de Caldas, 2017.

PRADHAN, B. et al. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 184, n. 2 p. 715-27, 2012.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica**. 2ed. Viçosa: Editora UFV, 2013.

RAWLS, W.J. et al. Infiltration. In: ASCE. **Hydrology Handbook**. 2ed. New York: ASCE, 1996. (Manuals and Report on Engineering Practice 28). p.75-124.

REICHERT, J.M. ; CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:389-396, 1992.

RENARD, K. G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1997. 384p.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v. 157, n. 1-4, p. 287-306, 1994.

REIS, C, G, D. **Modelagem dos parâmetros da curva de retenção de água no solo para a bacia hidrográfica do córrego gigante**. 2017. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017.

RODRIGUES, J. A. M. et al. Estimativa Da Vulnerabilidade Dos Solos À Erosão Hídrica Na Bacia Hidrográfica Do Rio Cervo – MG. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 3, p.531-542, 2017.

SCHICK, J. et al. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1906-1917, 2014.

SAVABI, M. R., WILLIAMS, J. R. Water balance and percolation.USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Laffayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. (Technical documentation, NSERL, Report) cap. 5, p. 5.1 – 5.14. .

SILVA, A. M. et al. Perdas por erosão e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo Roxo no sul de Minas Gerais Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2001.

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, jun. 2000.

SILVA, M. L. N. et al. Tolerância de perdas de solo por erosão hídrica no Vale do Rio Doce na região centro-leste do Estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, 2002, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: SBCS/UFMT, 2002.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Rev. Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia: UFG, v. 3, n. 34, p. 147-159, 2004.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, P., M, O., **Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, MG. Tese.** 2006. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras - Ufla, Lavras, 2006.

SILVA, A. M. et al. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de latossolos no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2125-2134, 2008.

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**, v. 33, p. 1811-1820. 2009.

SILVA, R. M. et al. Aplicação de Equações de Razão de Transferência de Sedimentos na Bacia do Rio Gameleira com Suporte de Sistemas de Informação Geográfica. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. **Anais...**Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

SILVA M.A. et al. Espacialização da erosividade da chuva no Vale do rio doce, região Centro-Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1029-1039, 2010.

SILVA, M. A. d. et al. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Roce, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 765-776, out./dez. 2011.

SILVA, L. A. **Deflúvio Superficial em Minas Gerais – caracterização e associação com fatores físicos e ambientais.** 2014. 121 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Ufla, Lavras, 2014.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, A. M. Predicting soil erosion and sediment yield in the Tapacurá catchment, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 8, n. 1, p. 75-82, 2014.

SILVA, D, S, S. **Modelos empíricos para estimativa de produção de sedimentos**. 2015.68f. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SKARBØVIK, E. et al. Impact of sampling frequency on mean concentrations and estimated loads of suspended sediment in a Norwegian River: implications for water management. **Science of the Total Environment**, v. 433. p. 462–471, 2012.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison, 2008.

SPAROVEK, G.; JONG VAN LIER, Q. Definition of tolerable soil conservation values. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 467-471, 1997.

STONE, J. L et al. **Hillslope surface hydrology. Water erosion prediction project – WEPP**. West Lafayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10). cap.4, p.4.1 – 4.20.

STOTT, D.E; J.B. ROGERS. **RESMAN: A residue management decision support program**. Public domain software. NSERL Publication, USDA – Agricultural Research Service. National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, 1990.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: is it possible? **Catena**, v. 64, p.162-173, 2005.

SYVITSKI, J.P.M.; PECKHAM, S.D.; THIERRY, R.; HILBERMAN,M. Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. **Sediment. Geol.** 162(1-2):5–24. 2003

TINÓS, T. M. et al. Aplicação e avaliação de metodologia de classificação automática de padrões de formas semelhantes do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 3, p.353-370, 2014.

TOY, T.J.; FOSTER, G.R.; RENARD, K.G. **Soil erosion: processes, prediction, measurement and control**. Nova York: John & Sons, 2002. 338p

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, v. 4, 2007.

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURAL – USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Laffayette, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

VAL. L. A. **Avaliação da erosividade das chuvas do município de Lavras (MG)**. 1985. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 1985.

VANMAERCKE, M. et al. Sediment yield in Europe: spatial patterns and scale dependency. **Geomorphology**, v. 130, p. 142–161, 2011.

VIOLA, M. R. et al. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 125-135, 2014.

VILLELA S.M., MATTOS A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.

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

WILLING, D. E. The Sediment Delivery Problem. **Journal of hydrology**, vol. 65, p. 209-237, 1983.

WALLING, D. E. Measuring sediment yield from river basins. In: LAL, R. Soil erosion research methods. Washington: **Soil and Water Conservation Society**, p. 39-82. 1994.

WALLING, D. E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. **Hydrobiologia**, v. 410, p. 223-240, 1999.

WALLING W.; D. FANG. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. **Global and Planetary Change**, v.39, n.1–2, p. 111-126, 2003.

WILLIAMS, J.R. Sediment-Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor. In: USDA **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources**. US Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Washington DC, 1975. p. 244-252.

WISCHMEIER, W. H. et al. 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 – guide to conservation planning**. Washington: ESDA, 58p, 1978.

ZHANG, H. et al. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. Computers. **Geosciences**, v. 52, p. 177-188, 2013.

ZHENG, M.; LIAO, Y.; HE, J. Sediment delivery ratio of single flood events and the influencing factors in a headwater basin of the Chinese Loess Plateau. **PLoS ONE**. v. 9, n. 11, p.1.1259, 2014.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Tabelas com resultados das simulações realizadas com utilização dos dados de campo, e com os dados gerados pelo modelo.

Tabela 25 - Dados obtidos para simulações das parcelas com os dados de campo para CX.

Uso	Classe Declividade (%)	Declividade média (%)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS* (t ano ⁻¹)	Df (mm)	
Solo Exposto	0 a 3	2.97	3.55	0.00	543.76	
Solo Exposto	3 a 8	6.10	4.52	0.01	510.50	
Solo Exposto	8 a 20	16.83	7.28	20.80	491.68	
Solo Exposto	20 a 45	28.27	9.96	84.39	485.18	
Solo Exposto	45 a 75	49.28	15.17	2.01	484.80	
C X	Mata nativa	0 a 3	1.40	0.15	0.03	549.44
	Mata nativa	3 a 8	5.82	0.28	0.11	484.39
	Mata Nativa	8 a 20	15.83	0.26	1.37	395.14
	Mata Nativa	20 a 45	31.16	0.25	5.68	364.96
	Mata nativa	45 a 75	56.52	0.24	1.76	349.17
Reflorestamento	0 a 3	2.57	0.25	0.00	530.43	
Reflorestamento	3 a 8	5.46	0.28	0.08	488.70	
Reflorestamento	8 a 20	16.30	0.26	1.17	395.67	
Reflorestamento	20 a 45	28.40	0.25	2.46	371.64	
Reflorestamento	45 a 75	56.00	0.25	0.17	353.88	
Campo Pasto	0 a 3	1.58	0.21	0.01	419.54	
Campo Pasto	3 a 8	5.77	0.25	0.11	367.95	
Campo/Pasto	8 a 20	16.36	0.24	2.81	330.75	
Campo/Pasto	20 a 45	29.23	0.24	10.98	316.93	
Campo Pasto	45 a 75	53.23	0.24	0.24	306.01	
Total				134.19		

Fonte: Do Autor.

Nota: *Perda de Solo ponderada de acordo com a ocorrência (em área) da combinação estipulada para uso, classe de declividade e solo. CX: Cambissolo Háplico.

Tabela 26 - Dados obtidos para simulações das parcelas com os dados de campo para LVA.

Uso	Classe Declividade (%)	Declividade média (%)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS* (t ano ⁻¹)	Df (mm)
Solo Exposto	0 a 3	2.26	2.78	0.39	559.91
Solo Exposto	3 a 8	5.79	3.68	5.96	511.86
Solo Exposto	8 a 20	13.98	5.42	59.48	489.70
Solo Exposto	20 a 45	26.11	7.72	26.62	483.59
Solo Exposto	45 a 75	48.57	12.00	0.38	473.56
L V A	Mata nativa	0 a 3	1.30	0.15	582.96
	Mata Nativa	3 a 8	5.87	0.60	393.42
	Mata Nativa	8 a 20	14.64	0.18	352.70
	Mata Nativa	20 a 45	28.89	0.17	313.11
	Mata nativa	45 a 75	54.22	0.24	352.08
Reflorestamento	0 a 3	1.99	0.22	0.29	561.14
Reflorestamento	3 a 8	5.74	0.18	1.52	404.31
Reflorestamento	8 a 20	13.84	0.19	4.12	365.80
Reflorestamento	20 a 45	26.26	0.17	1.84	322.87
Reflorestamento	45 a 75	53.82	0.25	0.09	355.06
Campo Pasto	0 a 3	1.80	0.18	0.38	443.53
Campo/Pasto	3 a 8	5.88	0.21	2.17	387.32
Campo/Pasto	8 a 20	14.38	0.22	10.43	314.74
Campo/Pasto	20 a 45	26.43	0.20	6.82	301.84
Campo Pasto	45 a 75	53.04	0.19	0.30	256.29
			Total	129.06	

Fonte: Do Autor.

Nota: *Perda de Solo ponderada de acordo com a ocorrência (em área) da combinação estipulada para uso, classe de declividade e solo. LVA: Latossolo Vermelho- Amarelo.

Tabela 27 - Dados obtidos nas simulações das parcelas com dados gerados pelo modelo para CX.

Uso	Classe Declividade (%)	Declividade média (%)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS* (t ano ⁻¹)	Df (mm)
Solo Exposto	0 a 3	2.97	4.64	0.01	715.01
Solo Exposto	3 a 8	6.10	6.02	0.01	718.90
Solo Exposto	8 a 20	16.83	8.94	25.53	733.54
Solo Exposto	20 a 45	28.27	15.31	129.69	730.08
Solo Exposto	45 a 75	49.28	51.21	6.79	725.21
	Mata nativa	0 a 3	1.40	0.18	649.20
	Mata nativa	3 a 8	5.82	0.13	648.58
	Mata Nativa	8 a 20	15.83	1.89	646.88
C	Mata Nativa	20 a 45	31.16	8.22	642.38
X	Mata nativa	45 a 75	56.52	0.35	636.27
Reflorestamento	0 a 3	2.57	0.29	0.01	647.99
Reflorestamento	3 a 8	5.46	0.35	0.09	647.56
Reflorestamento	8 a 20	16.30	0.36	1.61	648.17
Reflorestamento	20 a 45	28.40	0.36	3.51	641.56
Reflorestamento	45 a 75	56.00	0.36	0.25	634.67
Campo Pasto	0 a 3	1.58	0.24	0.02	499.56
Campo Pasto	3 a 8	5.77	0.31	0.14	499.29
Campo/Pasto	8 a 20	16.36	0.32	3.67	496.80
Campo/Pasto	20 a 45	29.23	0.32	14.47	492.58
Campo Pasto	45 a 75	53.23	0.31	0.31	486.09
				Total	198.97

Fonte: Do Autor.

Nota: *Perda de Solo ponderada de acordo com a ocorrência (em área) da combinação estipulada para uso, classe de declividade e solo. CX: Cambissolo Háplico.

Tabela 28 - Dados obtidos nas simulações das parcelas com dados gerados pelo modelo para o LVA.

Uso	Classe Declividade (%)	Declividade média (%)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS* (t ano ⁻¹)	Df (mm)	
L V A	Solo Exposto	0 a 3	2.26	4.14	0.58	759.43
	Solo Exposto	3 a 8	5.79	5.79	9.39	773.71
	Solo Exposto	8 a 20	13.98	7.90	86.64	788.33
	Solo Exposto	20 a 45	26.11	11.49	39.65	786.64
	Solo Exposto	45 a 75	48.57	18.36	0.58	752.16
	Mata nativa	0 a 3	1.30	0.20	0.18	722.08
	Mata Nativa	3 a 8	5.87	0.30	1.01	606.50
	Mata Nativa	8 a 20	14.64	0.31	1.64	605.07
	Mata Nativa	20 a 45	28.89	0.31	7.11	601.06
	Mata nativa	45 a 75	54.22	0.42	0.90	709.22
	Reflorestamento	0 a 3	1.99	0.31	0.41	719.23
	Reflorestamento	3 a 8	5.74	0.30	2.52	606.90
	Reflorestamento	8 a 20	13.84	0.31	4.32	605.80
	Reflorestamento	20 a 45	26.26	0.31	8.19	602.99
	Reflorestamento	45 a 75	53.82	0.42	0.15	706.91
	Campo Pasto	0 a 3	1.80	0.25	0.52	527.33
	Campo/Pasto	3 a 8	5.88	0.32	3.20	538.82
	Campo/Pasto	8 a 20	14.38	0.32	4.63	539.49
	Campo/Pasto	20 a 45	26.43	0.32	8.51	536.99
	Campo Pasto	45 a 75	53.04	0.31	0.49	515.08
Total				180.62		

Fonte: Do Autor.

Nota: *Perda de Solo ponderada de acordo com a ocorrência (em área) da combinação estipulada para uso, classe de declividade e solo. LVA: Latossolo Vermelho- Amarelo.