



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JOÃO PAULO BESTETE DE OLIVEIRA

**POTENCIAL IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS PERDAS DE
SOLO E ÁGUA NA MICROBACIA DO CÓRREGO JAQUEIRA, ALEGRE - ES**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
JULHO – 2010

JOÃO PAULO BESTTE DE OLIVEIRA

POTENCIAL IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA NA MICROBACIA DO CÓRREGO JAQUEIRA, ALEGRE - ES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração Ciências Florestais e Linha de Pesquisa Sensoriamento Remoto e Manejo de Bacias Hidrográficas.

Orientador: Dr. Roberto Avelino Cecílio
Co-orientador : Prof. Dr. Alexandre Cândido Xavier

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
JULHO - 2010

DISSERTAÇÃO Nº 0008

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

O48p Oliveira, João Paulo Bestete de, 1981-
Potencial impacto das mudanças climáticas nas perdas de solo e água na microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES / João Paulo Bestete de Oliveira. – 2010.

61 f. : il.

Orientador: Roberto Avelino Cecílio.

Co-orientadores: Fábio Ribeiro Pires e Alexandre Cândido Xavier.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Solos - Conservação. 2. Água – Conservação. 3. Mudanças climáticas. 4. Bacias hidrográficas – Alegre (ES). 5. Sistemas de informação geográfica. 6. Córrego Jaqueira (Alegre, ES). I. Cecílio, Roberto Avelino. II. Pires, Fábio Ribeiro. III. Xavier, Alexandre Cândido. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

Potencial Impacto das Mudanças Climáticas nas Perdas de Solo e Água na Microbacia do Córrego Jaqueira, Alegre-ES

João Paulo Bestete de Oliveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

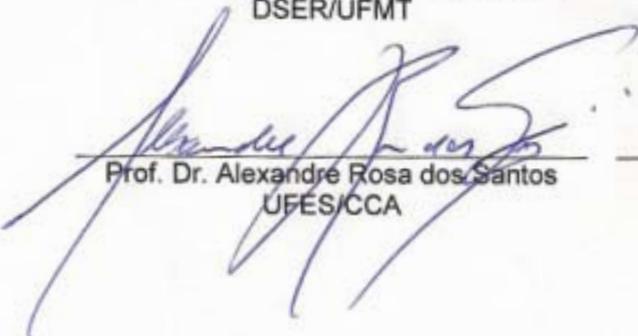
Aprovada em 22 Julho de 2010.



Prof. Dr. Ricardo Santos Silva Amorim
DSER/UFMT



Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires
UFES/CEUNES



Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos
UFES/CCA



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
UFES/CCA - (Orientador)

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais Valtair e Dejanira.

A minha noiva Andrea.

Aos meus irmãos Luciano, Cristiane, Priscila e Camila.

Aos meus cunhados Rodrigo, Bruno, Felipe e Janaína.

Aos meus sobrinhos Ludimila, Maria Clara, Gabriel, Victor e Murilo.

Ao meu tio Denir (ti Lelei)

Aos meus amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por mais essa oportunidade.

Aos meus pais, Valtair de Oliveira e Dejanira Bestete Oliveira, por minha formação nos princípios da verdade e honestidade.

À minha noiva, Andrea pelo amor incondicional, pelo carinho, pela compreensão, pelo estímulo e pelos incentivos, mesmo nos momentos mais difíceis, sem ela nenhum sonho seria possível ou valeria a pena.

Aos meus irmãos, Luciano, Cristiane, Priscila e Camila, meus cunhados Rodrigo, Janaína, Bruno e Felipe, meus sobrinhos Ludimila, Maria Clara, Gabriel, Victor e Murilo e, meu tio Denir (ti Lelei) pelo apoio, incentivo e momentos de alegrias.

Ao Newton Barboza Campos (“mano Newton”), pela concessão da área experimental – microbacia do córrego Jaqueira.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Departamento de Engenharia Florestal pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Roberto Avelino Cecílio, pela orientação valiosa, pelo incentivo, pela amizade e pela confiança e dedicação demonstrados na condução deste trabalho.

Ao professor Alexandre Rosa dos Santos, por incentivar-me a realizar esse curso.

Aos meus demais professores, pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do curso.

Ao secretário da Pós-Graduação Kleriston Navarro pelo grandioso suporte.

Às demais pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu especial agradecimento.

BIOGRAFIA

JOÃO PAULO BESTETE DE OLIVEIRA, filho de Valtair de Oliveira e Dejanira Bestete Oliveira, nasceu em 17 de setembro de 1981, em Alegre, ES.

Em fevereiro de 1997, iniciou o Curso Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Alegre, concluindo-o em dezembro de 1999.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal do Espírito Santo, concluindo-o em agosto de 2008.

Em agosto de 2008, iniciou o Curso de Mestrado em Ciências Florestais, área de Sensoriamento Remoto e Manejo de Bacias Hidrográficas, na Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, ES.

SUMÁRIO

	Página
DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
BIOGRAFIA.....	vi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O PROCESSO DE EROSIÃO DO SOLO.....	3
2.2. HISTÓRICO DA PREDIÇÃO DA EROSIÃO.....	5
2.2.1. Water Erosion Prediction Project – WEPP.....	7
2.2.1.1. Componente erosão do solo.....	9
2.2.1.2. Componente hidrológico.....	10
2.2.1.3. Componente de crescimento de planta e de decomposição de resíduo.....	12
2.2.1.4. Componente de balanço hídrico.....	12
2.2.1.5. Componente hidráulica do escoamento superficial.....	13
2.2.1.6. Componente do solo.....	13
2.2.1.7. Potencialidades e limitações do uso do WEPP.....	13
2.2.1.8. Interface com sistemas de informações geográficas (SIG) para o modelo Wepp.....	15
2.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS.....	15
2.3.1. Cenários de emissões.....	17
2.3.2. Impacto das mudanças climáticas sobre eventos extremos.....	19
2.3.3. Impactos das mudanças climáticas nas perdas de solo e a água... ..	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.2. ARQUIVOS DE ENTRADA DO WEPP.....	25
3.2.1. Arquivo de clima.....	26
3.2.2. Arquivo de solo.....	28
3.2.3. Arquivo de uso da terra.....	31
3.2.4. Arquivo de manejo de solo.....	31
3.2.5. Levantamento topográfico.....	32
3.3. CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS.....	33
3.4. APLICAÇÃO DO MODELO PARA PREDIÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA.....	39

3.4.1. GeoWEPP	39
3.4.2. TOPAZ	39
3.4.3. ArcGIS/ ArcInfo	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Continuidade de equilíbrio dinâmico de sedimentos.....	9
Equação 2 - Taxa de liberação de sedimentos entressulcos.....	9
Equação 3 - Taxa de liberação de sedimentos nos sulcos.....	10
Equação 4 - Deposição quando a carga de sedimentos a ser carreada é maior que a capacidade de transporte do escoamento.....	10
Equação 5 - Taxa de pico do escoamento superficial.....	11
Equação 6 - Balanço diário de água no solo.....	12
Equação 7 - Probabilidade de ocorrência de dias com chuva seguidos de dia com chuva.....	27
Equação 8 - Probabilidade de ocorrência de dias com chuva seguidos de dia sem chuva.....	27
Equação 9 - Intervalos de classe de duração temporal.....	28
Equação 10 - Distribuição acumulada do tempo para os picos.....	28
Equação 11 - Erodibilidade no sulco.....	29
Equação 12 - Tensão cisalhante crítica do solo.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação de chuvas do Brasil.....	27
Tabela 2 - Características físicas do solo à 15 cm de profundidade necessárias para aplicação do modelo WEPP.....	30
Tabela 3 - Parâmetros do solo necessários para aplicação do modelo WEPP.....	30
Tabela 4 – Alterações mensais esperadas da precipitação (mm) no município de Alegre - ES, em diferentes <i>time-slices</i> e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3.....	35
Tabela 5 - Alterações mensais esperadas da radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no município de Alegre - ES, em diferentes <i>time-slices</i> e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3.....	36
Tabela 6 - Alterações mensais esperadas da temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) no município de Alegre - ES, em diferentes <i>time-slices</i> e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3.....	37
Tabela 7 - Alterações mensais esperadas da temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) no município de Alegre - ES, em diferentes <i>time-slices</i> e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3.....	38
Tabela 8 - escoamento superficial e taxa de perda de solo atual na microbacia do córrego Jaqueira.....	43
Tabela 9 - escoamento superficial médio anual e taxa de perda de solo anuais sob diferentes <i>time-slices</i> e cenários de alterações climáticas para a microbacia do córrego Jaqueira.....	45
Tabela 10 - Perda de solo e escoamento superficial atual, sob diferentes <i>time-slices</i> e cenários de alterações climáticas por encosta, da microbacia do córrego Jaqueira.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista aérea da microbacia hidrográfica do córrego Jaqueira.....	23
Figura 2 - Vista da área de pastagem.....	23
Figura 3 - Vista da área de pastagem natural.....	24
Figura 4 - Vista da área de eucalipto.....	24
Figura 5 - Vista da área de regeneração secundária.....	25
Figura 6 - Vista da área de regeneração primária.....	25
Figura 7 - Uso da terra da microbacia do córrego Jaqueira.....	31
Figura 8 - Modelo digital de elevação da microbacia do córrego Jaqueira....	32
Figura 9 - Declividades da microbacia do córrego Jaqueira.....	33
Figura 10 - Localização do Estado do Espírito Santo (à esquerda) e do município de Alegre-ES (à direita) de acordo com a resolução espacial de 2,5 graus de latitude por 3,75 graus de longitude do modelo HadCM3.....	34
Figura 11 - Encostas geradas pelo TOPAZ da microbacia do córrego Jaqueira.....	40
Figura 12 - Perfil longitudinal da encosta 1.....	41
Figura 13 - Perfil longitudinal da encosta 2.....	41
Figura 14 - Perfil longitudinal da encosta 3.....	42
Figura 15 - Estimação da perda de solo atual na microbacia do córrego Jaqueira.....	44
Figura 16 - Estimação da perda de solo no <i>time-slice</i> 2020 sob o cenário A2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	50
Figura 17 - Estimação da perda de solo no <i>time-slice</i> 2020 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	50
Figura 18 - Estimação da perda de solo no <i>time-slice</i> 2050 sob o cenário A2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	51
Figura 19 - Estimação da perda de solo no <i>time-slice</i> 2050 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	51
Figura 20 - Estimação da perda de solo no <i>time-slice</i> 2080 sob o cenário	

A2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	52
Figura 21 - Estimação da perda de solo no time-slice 2080 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.....	52

RESUMO

OLIVEIRA, João Paulo Bestete de, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, julho de 2010. **Potencial impacto das mudanças climáticas nas perdas de solo e água na microbacia do córrego Jaqueira, Alegre - ES.** Orientador: Roberto Cecílio Avelino. Co-orientador: Alexandre Cândido Xavier.

O controle do processo erosivo requer o entendimento das interações complexas entre os processos químicos e físicos do solo, além dos hidrológicos e meteorológicos. Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com o objetivo de prever a magnitude das perdas de solo por erosão, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP). O potencial das mudanças climáticas globais projetadas em aumentar o risco de erosão do solo, com as conseqüências ambientais relacionadas, é claro, mas o real dano ainda não é conhecido e precisa ser avaliado. Objetivou-se com este trabalho avaliar o impacto das mudanças climáticas globais sobre as perdas potenciais de solo e água em microbacia hidrográfica no Espírito Santo. Para tanto, realizaram-se caracterizações climáticas e físicas da área da microbacia do córrego Jaqueira, localizada no município de Alegre-ES, bem como a criação dos arquivos de entrada do modelo WEPP (clima, solo, uso e manejo do solo e topografia). Posteriormente, foram simulados os cenários climáticos futuros através dos valores dos desvios esperados para os elementos climáticos (precipitação, radiação solar, temperaturas máximas e mínimas), de acordo com o modelo climático global HadCM3. Por fim, aplicou-se o modelo para a predição das perdas de solo e água através da integração dos softwares GeoWEPP, TOPAZ e ArcView, para a condição climática atual e referentes a diferentes *time-slices* (2020, 2050 e 2080) e cenários de emissões (A2 e B2). Os resultados obtidos permitiram concluir que: as perdas médias atuais simuladas na microbacia do córrego Jaqueira são de 52,9 mm ano⁻¹ para o escoamento superficial e de 17,5 t ha⁻¹ ano⁻¹; no cenário atual as áreas que apresentaram maiores perdas foram regeneração secundária e pastagem natural; a encosta 3, por possuir maior declividade média influencia a cobertura vegetal; há previsão, em 2020 A2, 2020 B2 e 2050 B2, de aumento do escoamento superficial e da taxa de perda de solo, quando esperado aumento da precipitação; há previsão, em 2050 A2, 2080 A2 e 2080 B2, de diminuição do escoamento superficial e da taxa de perda de solo, mesmo quando esperado aumento da precipitação.

PALAVRAS – CHAVE: Conservação do solo e água, mudanças climáticas, bacias hidrográficas, sistemas de informações geográficas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, João Paulo Bestete de, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, July of 2010. **Potential impact of climate change on soil loss and water in the watershed of the córrego Jaqueira, Alegre - ES.** Adviser: Roberto Cecílio Avelino. Co-advisor: Alexandre Cândido Xavier.

The control of erosion requires an understanding of the complex interactions between chemical, physical, hydrological and meteorological. Several mathematical models have been developed and improved in objective to predict the magnitude of soil loss by erosion, like the Water Erosion Prediction Project (WEPP). The potential of projected global climate changes to increase the risk of soil erosion, with related environmental consequences is clear, but the real damage is not yet known and needs to be evaluated. It was objectified with this work to evaluate the impact of climate change on soil loss and water catchment in the Espírito Santo. To reach the proposed objectives was held to characterize the watershed area of stream Jaqueira located in the Alegre-ES city, and the lifting of the input files of the WEPP model (climate, soil, land use and management and topography). Subsequently, we obtained the future climate scenarios through the deviations from expected values for the climatic elements (rainfall, solar radiation, maximum and minimum temperatures), according to the HadCM3 global climate model. Finally, we applied the model to predict soil loss and water through the integration of softwares GeoWEPP, TOPAZ and ArcView to current climatic conditions and relating to different time-slices (2020, 2050 and 2080) and emissions scenarios (A2 and B2). The obtained results allowed to conclude that: the current simulated average losses in the watershed of the stream Jaqueira are of $52.9 \text{ mm year}^{-1}$ for the runoff and $17.5 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$; in the current scenario, the areas with the largest losses were secondary regeneration and natural grassland; the hillslope 3, by has average slope, land cover influences; is forecast in 2020 A2, B2 2020 B2 and 2050, increase the runoff and the rate of soil loss, when is expected increase in precipitation, is predicted by 2050 A2, 2080 A2 and B2 in 2080, reducing runoff and soil loss rate, even when expected increase in precipitation.

KEYWORDS: Soil and water conservation, climate change, watersheds, geographic information system.

1. INTRODUÇÃO

A erosão consiste no processo natural de desprendimento, transporte e deposição das partículas do solo, sendo inerente à própria formação do solo. O controle do processo erosivo requer o entendimento das interações complexas entre os processos químicos e físicos, além dos hidrológicos e meteorológicos. A análise destas importantes interações dificilmente pode ser feita experimentalmente e, em função disso, a simulação computacional torna-se uma forma prática de investigar os impactos provenientes da adoção de diferentes práticas agrícolas (WALKER et al., 2000).

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, desde a década de 50, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão. Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, tais como a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation - USLE*) e a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE*), para modelos baseados em princípios físicos teóricos, como o Projeto de Predição da Erosão Hídrica (*Water Erosion Prediction Project - WEPP*).

O WEPP é um modelo computacional de simulação contínua que permite a estimativa da perda e da deposição de solo e não apenas da perda média (FLANAGAN e NEARING, 1995). Este modelo é baseado nos princípios físicos dos processos inerentes à erosão do solo (física do solo, crescimento de plantas, infiltração e hidráulica do escoamento superficial), apresentando várias vantagens sobre os modelos empíricos, pois considera os efeitos das mudanças de uso do solo e também modela a variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam os processos hidrológicos e erosivos que ocorrem em encostas.

O Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (*International Panel on Climate Change - IPCC*), concluiu em seu último relatório que as recentes mudanças do clima atribuídas ao aquecimento da terra têm afetado os sistemas físicos e biológicos, assim como os sistemas naturais e humanos (IPCC, 2007).

De acordo com IPCC (2007), no último século, a temperatura média da superfície aumentou, em média, 0,7°C e o nível médio do mar aumentou em

0,17 m. Tem-se observado, também, maior taxa de derretimento das camadas de gelo e aumento de precipitações e evaporação nos oceanos. Desde 1970, tem aumentado a frequência e intensidade de eventos extremos como secas, inundações e tempestades. De acordo com os cenários climáticos futuros, projetados pelo IPCC (2007), a temperatura média global deve se elevar entre 2,3°C e 4,5°C até o ano de 2100 (comparativamente ao período pré-industrial), não se descartando a possibilidade de que os aumentos sejam ainda maiores.

Uma análise climatológica mundial, feita pela Sociedade de Conservação do Solo e Água dos Estados Unidos (*Soil and Water Conservation Society – SWCS*) (SWCS, 2003) revelou tendência de aumento da precipitação total e das chuvas mais intensas. Todos os modelos de circulação global (GCM's) considerados nas simulações feitas pela SWCS (2003) projetaram que a temperatura média global, a precipitação e a intensidade dos eventos de chuva irão aumentar no futuro, com o aumento dos gases do efeito estufa (IPCC, 2001a). O potencial das mudanças climáticas globais projetadas em aumentar o risco de erosão do solo, com as consequências ambientais relacionadas é claro, mas o real dano ainda não é conhecido e precisa ser avaliado (SWCS, 2003).

Parte da preocupação com as mudanças climáticas é de que ela ultrapasse os limites de resistência dos sistemas naturais. Segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas (*United Nations Environment Programme - UNEP*), grandes áreas de terras cultivadas podem se tornar improdutivas, ou pelo menos economicamente inviáveis, se a erosão não se mantiver em níveis toleráveis (HIGGITT, 1991).

Diante dessas considerações, o presente estudo objetivou avaliar o potencial impacto das mudanças climáticas nas perdas de solo e água na microbacia do córrego Jaqueira, Alegre-ES, sob as seguintes hipóteses: (i) a mudança de práticas de conservação do solo e da água se justifica sob as mudanças do clima e, (ii) quais práticas que devem ser tomadas para proteger adequadamente o solo e os recursos hídricos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O PROCESSO DE EROSÃO DO SOLO

A erosão consiste em um processo natural inerente à própria formação do solo. Entretanto, a ação do homem, por meio da utilização de práticas que destroem o equilíbrio das condições naturais, provoca o surgimento da erosão acelerada. A erosão acelerada é classificada, quanto ao agente causador, em eólica ou hídrica. No primeiro tipo, o agente responsável pelo desprendimento e transporte das partículas do solo é o vento e, no segundo tipo, a água. No Brasil, indiscutivelmente, a erosão hídrica é a mais importante, motivo pelo qual a presente abordagem será direcionada a essa forma de erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

O processo de erosão hídrica pode ser descrito em três estágios: desprendimento, transporte e deposição das partículas e, ou agregados do solo. O desprendimento é definido como a liberação de partículas dos agregados presentes na superfície do solo, sendo originalmente considerado como resultado exclusivo do impacto das gotas da chuva (HUDSON, 1975). No entanto, atualmente também é reconhecida a importância do escoamento superficial como agente erosivo. O desprendimento das partículas é causado pela energia de impacto das gotas da chuva sobre a superfície do solo e pela tensão cisalhante do escoamento superficial, quando esta excede as forças coesivas do solo, comumente chamada de tensão crítica de cisalhamento (LOCH e SILBURN, 1996).

Os sedimentos desprendidos são geralmente carreados por salpicamento ou pelo escoamento superficial, e estes movimentos definem o processo de transporte. Durante o processo de transporte alguns desses sedimentos podem ser depositados, dependendo de fatores como a alteração da geometria da superfície, da lâmina de escoamento e da declividade da superfície do solo, dentre outros. O domínio da energia de impacto das gotas de chuva ou do escoamento superficial no desprendimento e transporte de sedimentos depende do tipo de erosão que ocorre (entressulcos, em sulco ou em voçoroca).

Os sedimentos em suspensão transportados pelo escoamento podem ser depositados na superfície do solo quando a velocidade do escoamento superficial é reduzida, devido à rugosidade da superfície do solo, aos caules de plantas, aos resíduos de culturas, ao decréscimo da declividade da encosta ou à menor frequência do impacto das gotas da chuva. O processo de deposição é altamente seletivo, sendo dependente da profundidade do escoamento superficial e da turbulência do escoamento promovida pelo impacto das gotas da chuva (AGASSI, 1996). A velocidade de sedimentação de um agregado ou partícula primária é função do seu tamanho, forma e densidade. Para um dado tamanho de sedimento, a taxa de deposição é inversamente proporcional à velocidade do escoamento e diretamente proporcional à concentração de sedimentos no escoamento superficial e à sua densidade (HAIRSINE e ROSE, 1991).

Os principais tipos de erosão são: a) erosão entressulcos, b) erosão em sulcos e c) erosão em voçorocas. A erosão entressulcos é, às vezes, referida como erosão laminar, consistindo no desprendimento e remoção de partículas da superfície do solo pelo escoamento superficial e, ou, impacto das gotas da chuva, sendo caracterizada por ocorrer uniformemente distribuída ao longo de uma encosta (HAIRSINE e ROSE, 1992).

A erosão em sulcos resulta da concentração do escoamento superficial em caminhos preferenciais, quando são formados pequenos canais. Esses canais são geralmente característicos de erosão de pequena intensidade, sendo facilmente desfeitos pelas práticas de cultivo (LOCH e SILBURN, 1996). Segundo Foster (1982), a erosão em sulcos é caracterizada quando a profundidade do sulco formado não ultrapassa 300 mm. A formação do sulco é controlada pelas forças coesivas do solo e pelas forças cisalhantes do escoamento superficial exercidas sobre solo. O escoamento no sulco atua como um agente de transporte dos sedimentos desprendidos no sulco e daqueles advindos das áreas entressulcos, entretanto, se a tensão de cisalhamento do escoamento no sulco for muito elevada, o escoamento pode também desprender quantidades expressivas de partículas de solo (NEARING et al., 1994). Visando a simplificação, esses dois processos de erosão são freqüentemente considerados conjuntamente na modelagem da erosão.

Erosão em voçorocas, ao contrário da erosão em sulcos, forma canais de escoamento concentrado que são muito profundos para serem desfeitos pelas práticas de cultivo (LOCH e SILBURN, 1996). O escoamento em voçorocas difere do escoamento nas áreas entressulcos e nos sulcos pelo fato de que o impacto das gotas da chuva não é um importante fator em termos de turbulência do escoamento ou no desprendimento de partículas de solo (MERRITT et al., 2003).

Esses tipos de erosão não ocorrem necessariamente de forma isolada, sendo influenciados por fatores relacionados com a encosta (uso e manejo do solo, cultura, entre outros), bem como pelas características das precipitações. Segundo Loch e Silburn (1996), para o desenvolvimento da erosão em sulcos e em voçorocas é necessário que ocorra a concentração do escoamento e que a tensão de cisalhamento do escoamento exceda a tensão crítica do solo. O processo de erosão dominante apresenta a seguinte ordem de sucessão: salpico – erosão entressulcos – erosão em sulco – erosão em voçoroca. A maioria dos modelos tende a prever a erosão para um desses tipos de erosão ou, no máximo, para dois tipos.

2.2. HISTÓRICO DA PREDIÇÃO DA EROSÃO

Os estudos relacionados à erosão iniciaram-se entre 1890 e 1947 e, limitavam-se ao entendimento e à descrição qualitativa dos principais fatores que afetavam o processo erosivo. Exemplos desse período são o trabalho descritivo de Cook (1936) e os trabalhos sobre erosão por salpico de LAWS (1940) e ELLISON (1947), citados por Amorim (2003).

Cook (1936), citado por Amorim (2003), já havia reconhecido, naquela época, a complexidade do fenômeno erosivo, inclusive a dependência de escala dos processos hidrológico e sedimentológico dentro de uma bacia hidrográfica. Além disso, este autor foi o pioneiro na definição dos principais fatores que afetam o processo erosivo, tais como erodibilidade do solo, erosividade da chuva e da enxurrada e proteção da cobertura vegetal. Ellison e Ellison (1947) citados por Amorim (2003) foram os primeiros a separar o termo “erosividade” em termos de capacidade de desprendimento e de transporte, propondo, inclusive, funções para cada um deles.

Trabalhos experimentais desenvolvidos no Meio-Oeste dos EUA, durante o período de 1940 a 1954, resultaram na obtenção de equações de perda de solo que incluíam os efeitos do comprimento e da declividade da rampa, das características do solo, das práticas conservacionistas e das condições de uso e manejo do solo. Em 1946, um comitê dos EUA reuniu-se com a finalidade de revisar os fatores da última equação gerada e os dados existentes no país e, após incluir o fator chuva, deu origem a uma nova equação de perda de solo, conhecida como equação de MUSGRAVE (1947). Anos mais tarde (1954-1965), num esforço de agências de pesquisa e extensão dos EUA, para revisão das equações, foi proposto um novo modelo empírico denominado Equação Universal de Perdas de Solo – *Universal Soil Loss Equation - USLE* (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Essa equação, de base empírica, não leva em consideração, de forma individualizada, os processos físicos envolvidos na erosão do solo, como o desprendimento e transporte de partículas de solo. Na USLE são apenas discriminadas as significâncias dos diferentes fatores que regem o processo erosivo, dentre os quais estão incluídos a precipitação, o comprimento da encosta, a declividade da encosta, a erodibilidade do solo, o cultivo (uso do solo) e as práticas agrícolas.

Posteriormente à publicação do Manual de Agricultura 537 - *Agriculture Handbook 537* (WISCHMEIER E SMITH, 1978), novas pesquisas e experiências continuaram sendo realizadas no intuito de melhorar as estimativas das perdas de solo pela utilização da USLE e, após uma grande revisão destas pesquisas, foi desenvolvido o novo modelo de predição da erosão denominado Equação Universal de Perdas de Solo Revisada - *Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE* (RENARD e FERREIRA, 1993). Na RUSLE manteve-se a mesma estrutura da equação da USLE, no entanto, as formas de determinação dos fatores mudaram expressivamente. Além disto, devido à complexidade das equações usadas para quantificar os fatores da equação principal, foi desenvolvido um programa computacional para facilitar a estimativa da perda de solo.

Apesar da existência de um consenso geral entre os pesquisadores de que a USLE e a RUSLE forneçam boa estimativa da erosão para um período de tempo pré-estabelecido, elas não são capazes de satisfazer os crescentes

desafios impostos pelos problemas de erosão (WILLIAMS, 1975; FOSTER, 1982). Williams (1975), por exemplo, verificou que, utilizando-se a USLE, não se consegue uma estimativa da perda de solo em fases mais avançadas da erosão por sulcos e Foster (1982) relatou que não é possível obter informação das variabilidades temporal e espacial da erosão durante uma chuva. Porém, isso não quer dizer que a USLE, a RUSLE, ou outros modelos empíricos, não tenham valor. Pelo contrário, muitos projetos práticos são, e ainda serão, por muito tempo, baseados nesses modelos empíricos, até que o processo físico da erosão seja bem entendido.

Diante das limitações dos modelos de base empírica, buscou-se um modelo alternativo para estimar as perdas de solo baseado nos fundamentos dos processos de erosão e hidrológicos que regem o desprendimento, o transporte e a deposição das partículas de solo. Essa modelagem foi iniciada na metade da década de 1980, quando o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) iniciou o Projeto de Predição de Erosão Hídrica (*Water Erosion Prediction Project – WEPP*), visando desenvolver uma nova geração de modelos para predição da erosão hídrica.

Apesar de haver interesse crescente nos processos físicos envolvidos na erosão do solo, é importante ressaltar que o nível de conhecimento atual ainda é deficiente, fazendo com que as relações empíricas ainda sejam as mais usadas. Muitos dos melhores modelos de predição da erosão, como ANSWERS (BEASLEY e HUGGINS, 1981), KYERMO (HIRSCHI e BARFIEL, 1988) e WEPP (USDA, 1995), somente apresentam a interação ou relação entre os componentes individuais do processo de erosão baseados em princípios físicos. As equações usadas para quantificar alguns componentes desses modelos, como desprendimento e capacidade de transporte do solo, são ainda obtidas de forma empírica.

2.2.1. Water Erosion Prediction Project – WEPP

De acordo com Laflen et al. (1991), a necessidade do desenvolvimento de nova tecnologia para a estimativa das perdas de solo por erosão surgiu para suplantiar o grande número de limitações apresentadas pelos modelos USLE e RUSLE, principalmente referentes à impossibilidade de aplicação dos modelos

de forma satisfatória em situações fora daquelas nas quais foram desenvolvidos.

Na metade da década de 1980, o USDA iniciou o Water Erosion Prediction Project – WEPP, visando desenvolver uma nova geração de tecnologias para predição da erosão hídrica. O WEPP é um pacote tecnológico para estimativas das perdas de solo baseado nos princípios físicos do processo de erosão, desenvolvido nos Estados Unidos numa iniciativa interinstitucional, envolvendo o Agricultural Research Service, o Soil Conservation Service, o Forest Service in the Department of Agriculture e o Bureau of Land Management in the US Department of the Interior (LAFLEN et al., 1991; USDA, 1995). Tal pacote teve como objetivo elaborar uma tecnologia para 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.

O WEPP consiste em um modelo dinâmico de simulação que incorpora conceitos de erosão entressulcos e nos sulcos. Com sua utilização, podem-se simular os processos que ocorrem em uma determinada área em função do solo, cobertura vegetal, restos culturais e umidade do solo. Para cada dia, as características do solo e da cobertura vegetal são atualizadas. Quando ocorre uma chuva, baseando-se nas características do terreno, determina-se se haverá produção de escoamento superficial. Se houver, o modelo estima o desprendimento, o transporte e a deposição de partículas ao longo da encosta, porém não contempla a erosão em grandes voçorocas e cursos d'água perenes (LANE et al., 1992).

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.

Para as três versões, o WEPP é dividido em diversos componentes que consistem na parametrização dos processos que regulam o fenômeno erosivo, descritos resumidamente a seguir.

2.2.1.1. Componente erosão do solo

No componente erosão do solo do WEPP, ocorre a quantificação dos processos de desprendimento, transporte e deposição de partículas. Para essa quantificação é utilizada a equação da continuidade de equilíbrio dinâmico de sedimentos (Equação 1) para descrever o movimento das partículas em uma vertente, considerando-se condições de regime permanente (FLANAGAN et al. 1995).

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_r \quad (1)$$

em que,

- G = carga de sedimentos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$;
- x = distância percorrida pelo escoamento superficial, m;
- D_i = taxa de liberação de sedimentos nas áreas entressulcos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$; e
- D_r = taxa de liberação de sedimentos em sulcos, $\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$.

O sedimento advindo da erosão entressulcos (D_i) é considerado dependente de x e é sempre positivo. No caso da erosão em sulcos (D_r), pode ser positivo se houver desprendimento e negativo se houver deposição. A taxa de liberação de sedimentos em áreas entressulcos (D_i) é calculada pela Equação 2, proposta por FLANAGAN et al. (1995).

$$D_i = C_i K_i S_f I_p^2 G_e \quad (2)$$

em que,

- C_i = parâmetro que considera o efeito da cobertura vegetal na erosão entressulcos, adimensional;
- K_i = parâmetro que caracteriza a erodibilidade do solo entressulcos, $\text{kg m}^{-4} \text{s}$;
- S_f = fator de ajuste relativo à declividade, adimensional;
- I_p = intensidade de precipitação, m s^{-1} ; e
- G_e = parâmetro que considera o efeito da cobertura do solo na erosão entressulcos, adimensional.

A taxa de liberação de sedimentos nos sulcos (D_r) é calculada 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. O valor de D_r é obtido com base na Equação 3, apresentada por FLANAGAN et al. (1995):

$$D_r = K_r (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad (3)$$

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, $kg s^{-1} m^{-1}$.

K_i , K_r e τ_c são parâmetros de entrada exigidos pelo WEPP, obtidos com base em atributos do solo como granulometria e conteúdo de matéria orgânica.

Quando a carga de sedimentos a ser carregada é maior que a capacidade de transporte do escoamento ocorre a deposição, a qual é quantificada utilizando-se a Equação 4:

$$D_r = \frac{\beta V_f}{q} (T_c - G) \quad (4)$$

em que,

- β = coeficiente de turbulência induzida pelo impacto das gotas da chuva (No modelo WEPP assume β igual a 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 ($m^3 m^{-1} s^{-1}$).

2.2.1.2. Componente hidrológico

O processo de erosão é resultado direto das forças e energias envolvidas nos processos hidrológicos. 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 WEPP é composto de três outros componentes, sendo eles: clima, inverno e hidrologia de superfície e subsuperfície.

Para aplicação do componente clima do WEPP é necessário o uso de dados climáticos diários, os quais normalmente não são facilmente disponíveis.

Em função disto, no WEPP utiliza-se o programa CLIGEN (gerador climático estocástico) para geração dos dados climáticos necessários. Para executar o programa CLIGEN 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. Esses parâmetros de entrada do CLIGEN são utilizados para estimar, diariamente, a duração e a quantidade precipitada, o tempo de pico em relação à duração da precipitação, a intensidade de pico, as temperaturas mínima e máxima, a temperatura do ponto de orvalho, a direção e a velocidade do vento.

O componente de hidrologia de superfície e subsuperfície possui uma seqüência 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. A taxa de pico do escoamento superficial é determinada utilizando-se a Equação 5, de ondas cinemáticas (STONE et al., 1995):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = i_i - T_i \quad (5)$$

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, $mm h^{-1}$.

O componente de hidrologia de inverno engloba o congelamento do solo, a acumulação e o derretimento de neve. Como para as condições brasileiras não se tem nenhum destes três fatores, os mesmos não serão levados em consideração no presente trabalho.

2.2.1.3. Componente de crescimento de planta e de decomposição de resíduos

As condições de cobertura vegetal e de resíduos culturais abaixo e acima da superfície do solo são “vitais” para a estimativa do desprendimento e transporte de partículas do solo. O WEPP estima, diariamente, o crescimento de plantas de maneira similar ao modelo EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator), acrescentado neste cálculo a acumulação e a decomposição dos 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.

2.2.1.4. Componente de balanço hídrico

O balanço de água no solo é crucial para a estimativa da infiltração, escoamento superficial e tensão cisalhante do escoamento superficial. Este componente utiliza informações dos componentes de clima, crescimento de planta e infiltração para estimativa da evapotranspiração potencial e evaporação da água do solo. A partir destas informações, no componente de balanço hídrico do WEPP é realizado o balanço diário de água no solo, utilizando-se a Equação 6 (SAVABI e WILLIAMS, 1995):

$$\theta = \theta_{in} + (P - I) \pm S - Q - ET - D - Q_d \quad (6)$$

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 sub-superficial, m.

2.2.1.5. Componente hidráulica do escoamento superficial

Neste componente é calculada a tensão de cisalhamento do escoamento superficial. Uma parte da energia da tensão de cisalhamento do escoamento age no solo podendo causar o desprendimento de partículas e a outra parte atua nos resíduos expostos na superfície, não sendo ativa no desprendimento de partículas. A porção da tensão de cisalhamento que age no solo e pode causar erosão é proporcional à taxa do coeficiente de atrito para o solo em relação ao coeficiente total de atrito (solo mais cobertura) (GILLEY e WELTZ, 1995).

De acordo com Laflen et al. (1991), um problema particular da aplicação deste componente é a representação de diferentes tipos de solo e faixas de cobertura do solo ao longo da encosta e seus efeitos. Os parâmetros relativos a resíduos das culturas assumem grande importância neste componente, influenciando diretamente no coeficiente de rugosidade, diminuindo, desta forma, o número de Reynolds, promovendo redução da energia do escoamento superficial e conseqüentemente da taxa de desprendimento no sulco e da capacidade de transporte do escoamento.

2.2.1.6. Componente do solo

As propriedades do solo influenciam nos processos envolvidos na erosão hídrica do solo, tais como: infiltração, escoamento superficial, desprendimento e transporte de sedimentos. Neste componente são consideradas 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 (LAFLEN et al., 1991).

2.2.1.7. Potencialidades e limitações do uso do WEPP

Lane et al. (1992) mostra diversas aplicações que podem ser dadas ao WEPP, além daquelas oferecidas pela USLE:

- localização do desprendimento de sedimentos nas encostas, tanto para eventos de precipitação isolados quanto para médias anuais;
- avaliação dos diversos sistemas de produção e práticas agrícolas;
- estudo do efeito da rugosidade do terreno na distribuição de sedimentos; e

Para Laflen & Flanagan, citados por Ranieri (2000), através do uso do WEPP é possível responder várias questões:

- qual o melhor manejo da terra para o controle eficiente da erosão;
- em que local da encosta pode-se localizar estruturas que constituam uma prática conservacionista permanente para determinadas condições de clima, solo e topografia; e
- qual seria o impacto da conservação do solo fora da propriedade agrícola, isto é, qual o impacto ambiental (como a perda de solo do sistema para cursos d'água e reservatórios).

Ranieri (2000) inclui outras importantes contribuições e avanços do WEPP em relação à USLE, como a inclusão da versão aplicável a bacias hidrográficas e a inserção do cálculo da erosão entressulcos em sua rotina. A mesma autora aplicou o modelo WEPP a uma bacia hidrográfica localizada em Piracicaba (SP), obtendo bons resultados na estimativa da erosão em comparação com a USLE. Assim, considerou o modelo como uma ferramenta promissora para a utilização em escala de bacia.

Cecílio et al. (2009), aplicando o modelo WEPP a uma bacia hidrográfica no município de Viçosa (MG), mostraram que ele simulou bem as perdas por escoamento superficial quando utilizou-se valor de condutividade hidráulica igual à taxa de infiltração estável de água no solo (Tie). Todavia, os autores obtiveram melhores resultados de perda de solo com a utilização da RUSLE. Pois, embora os resultados do WEPP também tenham sido bons, este teve tendência de apresentar estimativas maiores que a RUSLE. Os mesmos autores mostraram alguns problemas associados ao cálculo da condutividade hidráulica do solo com base na textura do mesmo, pois as diferenças físicas existentes entre os solos brasileiros e americanos são muito grandes para se

utilizar, de forma pouco criteriosa, todas as equações do WEPP. Alguns solos tropicais, como os Latossolos com estrutura granular (pó-de-café), apesar de muito argilosos, possuem elevada condutividade hidráulica, ao contrário de solos argilosos de clima temperado, cujo valor de condutividade hidráulica é bastante reduzido. Os autores salientam que isso não quer dizer que o WEPP não é recomendado para as “condições de Brasil” (ou condições diferentes daquelas dos Estados Unidos), apenas deve-se ter cautela na aplicação do software.

2.2.1.8. Interface com sistemas de informações geográficas (SIG) para o modelo Wepp

A interface Geo-espacial para o WEPP (GeoWEPP) utiliza informações geo-referenciadas digital, tais como os modelos digitais de elevação (MDE) e mapas topográficos para retirar e preparar parâmetros de entrada do modelo válidos e padrões para iniciar um plano de conservação do solo e água em locais específicos para uma microbacia, de acordo com o tipo de solo e uso da terra.

2.3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

A atmosfera terrestre é composta de uma mistura de partículas sólidas, gases e massas líquidas. Os principais gases constituintes são o nitrogênio (78%) e o oxigênio (21%), existindo ainda outros gases em menores quantidades. Outro componente importante é o vapor d'água, que existe em quantidades variáveis, com concentrações de massa variando entre 0% e 4% do volume atmosférico.

A radiação eletromagnética de ondas curtas provenientes do sol aquece a superfície terrestre que, por sua vez, emite radiação de ondas longas, que é em grande parte, absorvida pelos componentes atmosféricos, causando o aquecimento do planeta. Os principais elementos responsáveis por dificultar a saída da radiação de ondas longas para o espaço são o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o dióxido de carbono (CO₂) que, associados ao vapor

d'água, causam o efeito estufa, que é um processo natural sem o qual a existência de vida no planeta seria impossibilitada, pois a temperatura da terra ficaria em torno de -17°C (CERRI et al., 2007).

Embora haja variação natural do clima, de ano para ano, há fortes evidências de que as atividades antrópicas estão aumentando excessivamente as concentrações desses gases, aumentando a absorvância total da atmosfera de radiação infravermelha (de ondas longas), causando a elevação da temperatura. Segundo Marengo (2006) as concentrações atmosféricas dos gases do efeito estufa, especialmente o CO_2 , vêm aumentando continuamente desde a Revolução Industrial, devido ao crescente uso de energia baseada na queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás) e às mudanças no padrão de uso do solo, como na agricultura, urbanização e desmatamento (BRASIL, 2004), gerando elevação da temperatura global.

Criado pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization - WMO*) e pelo UNEP em 1988, em resposta às alterações climáticas globais, o IPCC é uma entidade formada por cientistas de todo o mundo, que estuda e divulga informações técnicas e sócio-econômicas e os impactos relevantes dos riscos à humanidade, com a finalidade de criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais.

Segundo IPCC (2007), no século XX houve um aumento de 0,2 a 0,3% na precipitação da região tropical compreendida entre 10° de latitude norte e 10° de latitude sul. Quanto à temperatura média global, o aumento foi de $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, sendo mais pronunciado na década de 90. Ainda de acordo com o IPCC, qualquer variação da temperatura atmosférica, mesmo fracionária, pode desencadear eventos climáticos desastrosos e até mesmo tornar partes do planeta inabitáveis para o homem. Há evidências de que eventos extremos, como ondas de calor e de frio, secas, chuvas intensas e enchentes, furacões, ciclones e tempestades, têm afetado diferentes partes do planeta e produzido enormes perdas econômicas e de vidas (IPCC, 2001a). Algumas consequências significativas do aquecimento global já foram observadas, como o aumento da temperatura global da superfície, a diminuição da cobertura de neve e gelo e o aumento do nível médio do mar (IPCC, 2001b).

A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de valores pré-industriais de 280 ppm para 379 ppm em 2005. Entre os anos de 1996 e 2001, a taxa média de aumento das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono foi de 1,74 ppm por ano e, entre os anos de 2002 e 2006, subiu para 2,09 ppm, atingindo a concentração de 384 ppm neste último ano (NOAA, 2006). De acordo com Prentice (2001), as previsões indicam concentrações de CO₂ próximas a 720 ppm na metade do século XXI. Segundo Brasil (2004) as emissões de CO₂ resultam de diversas atividades. Nos países desenvolvidos, a principal fonte de emissão é o uso energético de combustíveis fósseis. Outras fontes de emissão importantes nesses países são os processos industriais de produção de cimento, cal, barrilha, amônia e alumínio, bem como a incineração de lixo. Diferentemente dos países industrializados, no Brasil, a maior parcela das emissões líquidas estimadas de CO₂ é proveniente da mudança no uso da terra, em particular da conversão de florestas para uso agropecuário. Em função da elevada participação de energia renovável na matriz energética brasileira, pela geração de eletricidade a partir de hidrelétricas, pelo uso de álcool no transporte e bagaço de cana-de-açúcar e carvão vegetal na indústria, a parcela das emissões de CO₂ pelo uso de combustíveis fósseis no Brasil é relativamente pequena. Além disso, deve-se observar que o consumo energético brasileiro é ainda modesto, quando comparado ao de países industrializados.

2.3.1. Cenários de emissões

Os cenários de emissões representam visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de gases de efeito estufa e aerossóis, baseados em combinação coerente e internamente consistente sobre demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações (IPCC 2007). Os termos que se seguem são relevantes para melhor entendimento da estrutura e uso destes cenários:

- Cenário A1

Descreve um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida. Também considera a rápida introdução de tecnologias mais eficientes de comunicação. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita. A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1FI), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou um equilíbrio entre os combustíveis fósseis e outras fontes de energia (A1B) (este cenário pode ser considerado como intermediário entre os cenários A2 e B2).

- Cenário A2

Descreve um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região, sendo que o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos.

- Cenário B1

Descreve um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, como no contexto A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a

sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas adicionais relacionadas com o clima.

- Cenário B2

Descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos B1 e A1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional.

2.3.2. Impacto das mudanças climáticas sobre eventos extremos

Os eventos climáticos extremos estão associados a comportamentos que excedem os valores da média de variabilidade (valores críticos) dos elementos climáticos e são caracterizados pela magnitude, frequência, intensidade e duração do evento. Eventos extremos contemplam desde os episódios que acontecem em um reduzido período de tempo como furacões e ciclones, por exemplo, àqueles que se apresentam de forma acumulativa, como é o caso das secas (IPCC, 2001b).

Nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, assim como na Amazônia tem-se observado um aumento expressivo na precipitação (MARENGO et al., 2007). Segundo Groisman et al. (2005) nas regiões Subtropical, Sul e Nordeste do Brasil há tendências positivas de aumentos sistemáticos de chuva e de extremos de chuva. Os autores consideraram que desde 1940 a região Sudeste tem mostrado aumentos sistemáticos na frequência de chuvas intensas, de até quase 58% em 100 anos. Investigando extremos de chuva no Sudeste da América do Sul no período de 1960-2000, Haylock et al. (2006) encontraram tendências ao aumento no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e no Norte e Centro da Argentina. Notaram, ainda, que a região Sudeste da América do Sul houve aumento na intensidade e frequência de dias com chuva intensa,

o que concorda com os trabalhos de Groissman et al. (2005) para a mesma região.

As projeções climáticas para eventos extremos futuros, segundo o Quarto Relatório de Avaliação (*Fourth Assessment Report - AR4*) do IPCC (Meehl et al., 2007) sugerem, para boa parte do Brasil, aumentos na frequência de chuvas extremas em todo o país, especialmente no oeste da Amazônia, e nas regiões Sul e Sudeste. Para o período de 2080-2099, em relação ao presente (1980-1999), no cenário A1B, os eventos extremos de chuva intensa mostram um aumento na frequência e na contribuição de dias muito chuvosos no oeste da Amazônia, enquanto no leste da Amazônia mostram uma redução. Na região Nordeste a tendência é de aumento na frequência de dias secos consecutivos, o que também se observa para o norte da região Sudeste. Destaca-se que essas duas regiões fazem parte do Polígono das Secas, que constitui um território reconhecido pela legislação como sujeito a períodos críticos de prolongadas estiagens e situa-se, majoritariamente, na região Nordeste, compreendendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o extremo norte de Minas Gerais e do Espírito Santo.

Recentes estudos de Marengo et al. (2007) sugerem que os possíveis cenários de aumento dos totais de chuva no Sul do Brasil, projetados até finais do século XXI, poderiam se dar na forma de eventos extremos cada vez mais intensos e frequentes. O oeste da Amazônia poderia experimentar um aumento na frequência de extremos de chuva até 2100, podendo gerar problemas de erosão e enchentes nessa região. Porém, a falta de informações hidrológicas confiáveis não permite validar as tendências simuladas para o presente.

2.3.3. Impactos das mudanças climáticas nas perdas de solo e a água

É consenso da comunidade científica que as mudanças climáticas estão ocorrendo, tanto em termos de temperatura, quanto de precipitação. Por exemplo, o ano de 1998 foi provavelmente o mais quente dos últimos 1.000 anos no hemisfério norte (IPCC, 2001a); o ano 2001 foi o segundo mais quente já registrado (NCDC, 2002), e globalmente 9 dos 10 anos mais quentes desde 1860 têm ocorrido desde 1990 (WMO, 2001). A temperatura do ar afeta

indiretamente a erosão do solo de várias maneiras. Temperaturas maiores podem aumentar as taxas de produção de biomassa. Em outros casos, podem limitar a produção por estresse a temperaturas excessivas (PRUSKI e NEARING, 2002a, b). A temperatura também influencia os níveis de atividade microbiana e, conseqüentemente, as taxas de decomposição de resíduos. Temperatura também pode influenciar as taxas de evapotranspiração e a umidade do solo, que por sua vez podem influenciar a infiltração e a quantidade e taxa de escoamento (PRUSKI e NEARING, 2002b)

Karl e Knight (1998) constataram que de 1910-1996, a precipitação total sobre os Estados Unidos aumentou, por conseqüência do incremento de 10% nos eventos de precipitação (precipitação mais intensa). Segundo SWCS (2003) o aumento da erosão do solo e do escoamento superficial no futuro está relacionado com o aumento da precipitação. A pesquisa apontou que os impactos potenciais foram suficientemente graves para justificar maior atenção por parte dos conservacionistas na mudança de políticas no sentido de reduzir as perdas.

Considerando as mudanças climáticas esperadas durante o século XXI, Pruski e Nearing (2002a) estudaram as variações potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo, utilizando o HadCM3, que constitui a terceira geração dos Modelos Climáticos Globais produzida pelo Hadley Center, Inglaterra. Detectaram que a alteração na quantidade e intensidade de precipitação teve grande efeito sobre a erosão do solo e geração de escoamento superficial. Especificamente, a mudança de 1% na precipitação resultou, em média, alteração de 1,7% na perda de solo e de 2% no escoamento. Amorim *et. al* (2008) realizaram estudo das variáveis potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo, considerando as mudanças climáticas esperadas no século XXI em diferentes localidades do Brasil, em que observaram que há previsão de aumento das perdas de solo e/ou de água mesmo quando é esperada redução da precipitação média anual para algumas condições de uso e manejo de solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A aplicação do modelo WEPP depende da obtenção de parâmetros ou dados relativos às características do local a ser estudado. Para tanto, realizou-se a caracterização da área de estudo, bem como o levantamento dos arquivos de entrada do WEPP (clima, solo, uso e manejo do solo e topografia). Posteriormente, foram obtidos os cenários climáticos futuros através dos valores dos desvios esperados para os elementos climáticos (precipitação, radiação solar, temperaturas máximas e mínimas). Por fim, a aplicação do modelo para a predição das perdas de solo e água se deu através da integração dos softwares GeoWEPP, TOPAZ e ArcGIS.

3.1. CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DA ÁREA DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica do córrego Jaqueira pertence à bacia hidrográfica do rio Itapemirim, e está localizada nas proximidades do perímetro urbano da cidade de Alegre (ES), com as seguintes coordenadas geográficas: latitude máxima igual a $-20^{\circ}45'16,2''$ e mínima igual a $-20^{\circ}45'36,72''$; longitude máxima igual a $-41^{\circ}31'25,32''$ e mínima igual a $-41^{\circ}31'44,76''$, possui área de 22,6 ha (Figura 1). O clima da região se enquadra no tipo CWa (Clima de inverno seco e verão chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen (SIQUEIRA et al., 2004).

A ocupação agrícola da microbacia iniciou-se na década 60 com a implantação da cafeicultura em substituição à mata nativa. A partir da década de 80 a cafeicultura cedeu lugar às pastagens. Atualmente, a microbacia está totalmente destinada à conservação ambiental, exceto pelo plantio de eucalipto.

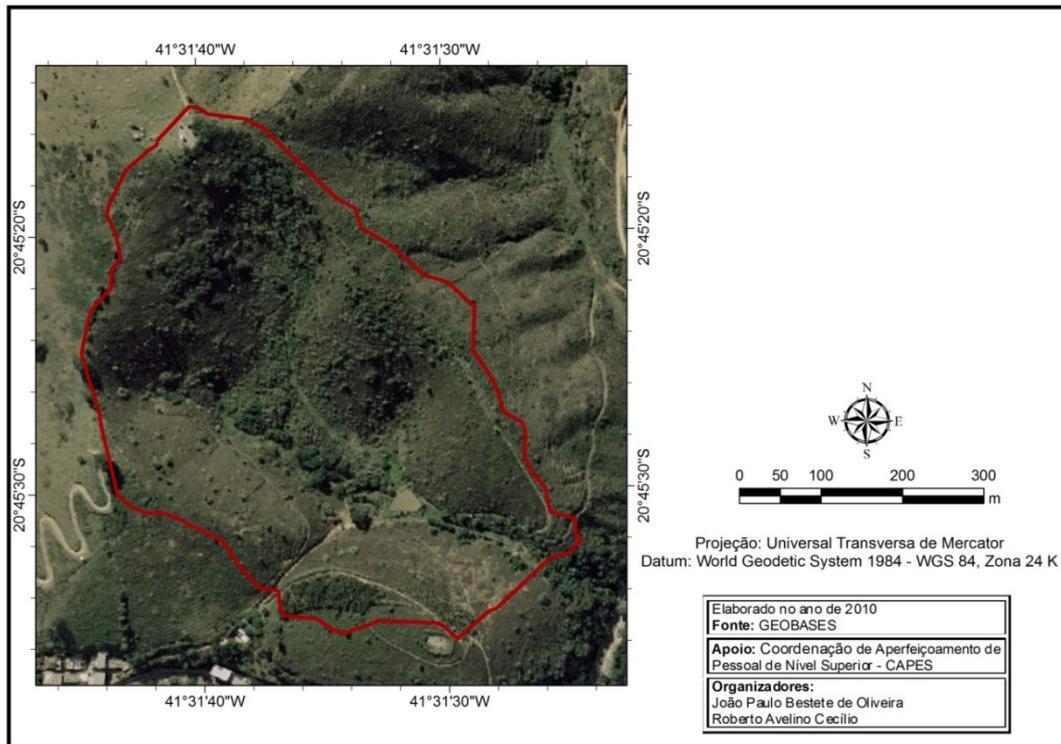


Figura 1 - Vista aérea da microbacia hidrográfica do córrego Jaqueira (Fonte: ESPÍRITO SANTO, 2008).

Foram diagnosticadas cinco diferentes tipos de cobertura do solo, sendo os limites descritos a seguir:

- Pastagem (*Brachiaria decumbens*): sem pastoreio, com declividade média de 57%, representa 42% da área total da microbacia (Figura 2).

Figura 2 -
área de
(Fonte:
2010).



Vista da
pastagem
SANTOS,

- natural
minutiora P.
formações

Pastagem
(*Melinis*
Beauv.):
arbustivas

esparsas, sem pastoreio, com declividade média de 50%, representa 24,9% da área total da microbacia (Figura 3).



Figura 3 - Vista da área de pastagem natural (Fonte: SANTOS, 2010).

- Eucalipto: espaçamento 3 x 2 metros, com aproximadamente seis anos de idade, declividade média de 44%, representa 9,4% da área total da microbacia (Figura 4).



Figura 4 - Vista da área de eucalipto (Fonte: SANTOS, 2010).

- Regeneração secundária: ocupada por cultivo florestal com nível secundário de regeneração; possui declividade média de 55,5%, representa 10,8% da área total da microbacia (Figura 5).



Figura 5 - Vista da área de regeneração secundária (Fonte: SANTOS, 2010).

- Regeneração primária: ocupada por floresta com nível primário de regeneração, basicamente com uma única espécie; declividade média de 42%, representa 12,9% da área total da microbacia (Figura 6).



Figura 6 - Vista da área de regeneração primária (Fonte: SANTOS, 2010).

3.2. ARQUIVOS DE ENTRADA DO WEPP

Para aplicação do WEPP é necessária à elaboração de arquivos de clima, solo, manejo e uso da terra e topografia, os quais são baseados em registros de dados locais. Todos esses arquivos foram colocados no formato específico do software WEPP for Windows versão 2010.

3.2.1. Arquivo de clima

O arquivo de dados climáticos diários para entrada no modelo WEPP foi gerado por intermédio do software CLIGEN, versão 4.3 (NICKS et al., 1995; FLANAGAN e NEARING, 1995), baseado no dados climáticos medidos em estação climática localizada na microbacia em estudo, no período de 2007 a 2009. Os seguintes parâmetros estatísticos foram obtidos:

- Média mensal e desvio padrão e 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 mensal da intensidade de precipitação máxima em 30 minutos;
- distribuição estatística do tempo decorrido do início do evento ao pico de intensidade máxima;
- média e desvio padrão das temperaturas máximas e mínimas mensais;
- média mensal da temperatura do ponto de orvalho;
- média e desvio padrão da radiação solar mensal; e
- direção de vento, média, desvio padrão e coeficiente de assimetria da velocidade do vento para os 16 pontos cardeais por mês.

As probabilidades de ocorrência de dias com chuva seguidos de dia com chuva e de dias com chuva seguidos de dia sem chuva para cada mês foram estimadas a partir do número de dias chuvosos (NW) e sem chuva (ND) do mês, do número de dias chuvosos após dias sem chuva (NWD) e do número de dias chuvosos após dia com chuva (NWW), utilizando-se as Equações 7 e 8 propostas por NICKS et al. (1995).

$$P(W / W) = \frac{NWW}{NW} \quad (7)$$

$$P(W / D) = \frac{NWD}{ND} \quad (8)$$

em que,

- P(W/W) = probabilidade mensal da ocorrência de dia com chuva após dias com chuva, adimensional;
 NWW = número de dias chuvosos após dia com chuva, dias;
 NW = número de dias chuvosos, dias;
 P(W/D) = probabilidade mensal da ocorrência de dia com chuva após dias sem chuva, adimensional;
 NWD = número de dias chuvosos após dia sem chuva, dias; e
 ND = número de dias sem chuva, dias.

As médias de intensidade de precipitação máxima em 30 minutos foram obtidas pela desagregação de totais de chuva, máxima de 24 horas de duração, através dos coeficientes de desagregação do Brasil (Tabela 1) calculados por DAEE/CETESB (1980).

Tabela 1 - Coeficientes de desagregação de chuvas do Brasil

Relação de durações	Relação de chuvas
5 min / 30 min	0,34
10 min / 30 min	0,54
15 min / 30 min	0,70
20 min / 30 min	0,81
25 min / 30 min	0,91
30 min / 1 h	0,74
1 h / 24 h	0,42
6 h / 24 h	0,72
8 h / 24 h	0,78
10 h / 24 h	0,82
12 h / 24 h	0,85

Os tempos de pico de intensidade de precipitação foram obtidos através do cálculo da distribuição anual acumulada do tempo para os picos dos dados da estação. O tempo de pico de cada evento foi calculado a partir do início da precipitação até o intervalo em que se atingisse o pico de intensidade. Todos os períodos sem precipitação (valores zero) foram removidos, resultando apenas intervalos com precipitação. Em seguida, o tempo de pico

de cada evento foi atribuído a um dos doze intervalos de classe de duração temporal de 0 a 1, conforme a Equação 9 (NICKS et al., 1995).

$$k = \frac{Dp}{(0,08333 \cdot De)} \quad (9)$$

em que,

- k = intervalo da classe, 1, 2 ..., 12;
- Dp = tempo para que ocorra o pico de intensidade de precipitação, h; e
- De = duração efetiva da precipitação, h.

A distribuição acumulada do tempo para os picos de todos os eventos ao longo do ano foi, então, construída somando-se a fração do número de eventos em cada intervalo de classe, conforme a Equação 10 (NICKS et al., 1995)..

$$A_k = \frac{N_k}{N} \quad (10)$$

em que,

- A_k = frequência acumulada para o intervalo $k = 1, 2 \dots, 12$;
- N_k = número de eventos com tempo de pico no intervalo; e
- N = número total de eventos.

3.2.2. Arquivo de solo

O solo predominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo as informações necessárias para construção do arquivo de solo utilizado no WEPP referentes a conteúdo de areia, silte, argila, rocha, matéria orgânica, classe textural e CTC do solo, baseadas em dados obtidos por Guariz (2008) e Santos (2010) apresentadas nas Tabelas 2 e 3. A taxa de infiltração estável (Tie) foi utilizada para estimação da condutividade hidráulica do solo (CECÍLIO, 2005). A Tie foi obtida pelo método de infiltrômetro de anéis concêntricos, sendo utilizado um terço do valor encontrado (Tie/3), por recomendação de Pruski et al. (1997), Costa et al. (1999), Brandão et al. (2006) e Santos (2010),

que evidenciaram os valores reais de T_{ie} entre um terço e um quarto do valor encontrado pelo infiltrômetro de anéis.

Outros parâmetros, ainda referentes ao arquivo de solo, foram obtidos com base na literatura, tais como, a erodibilidade entressulcos (NUNES e CASSOL, 2008). A erodibilidade no sulco e tensão cisalhante crítica do solo, apresentados na Tabela 2, foram obtidas baseando-se nas características físicas do solo, pelas Equações 11 e 12 propostas por LUCA JÚNIOR e MARTINS FILHO (2001).

$$K_r = 0,000051 \cdot VTP + 0,000183 \cdot U_i \quad (11)$$

em que,

- K_r = erodibilidade no sulco, $\text{Kg s} \cdot \text{m}^{-2}$;
- VTP = volume total de poros, %; e
- U_i = umidade inicial do solo, %.

$$\tau_c = 0,023651 \cdot DS + 1,392509 \cdot RP \quad (12)$$

em que,

- τ_c = tensão de cisalhamento crítica, Pa;
- DS = densidade do solo, Kg dm^{-3} ; e
- RP = resistência à penetração, MPa.

Tabela 2 - Características físicas do solo à 15 cm de profundidade necessárias para aplicação do modelo WEPP

Cobertura do solo	Areia	Argila	M.O.	Densidade do solo	Volume total de poros	Resistência à penetração
	dag kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	Cmol _c kg ⁻¹	g cm ⁻³	%	Mpa
Pastagem	59,7	31,2	1,5	1,4	46,0	11,6
Pastagem natural	49,7	42,8	1,2	1,3	55,5	7,9
Eucalipto	56,1	35,5	1,2	1,3	50,5	8,3
Regeneração secundária	50,2	38,5	1,6	1,4	52,6	3,0
Regeneração primária	64,4	22,2	1,3	1,4	41,0	4,3

Tabela 3 - Parâmetros do solo necessários para aplicação do modelo WEPP

Cobertura do solo	Erodibilidade entressulco	Erodibilidade no sulco	Condutividade hidráulica (Tie/3)	Tensão cisalhante crítica do solo	Umidade inicial do solo
	Kg s m ⁻²	Kg s m ⁻¹	mm h ⁻¹	Pa	%
Pastagem	1,48x10 ⁶	0,0077	16,7	16,2	29,3
Pastagem natural	1,48x10 ⁶	0,0082	54,5	11,0	29,2
Eucalipto	1,48x10 ⁶	0,0078	61,4	11,6	28,6
Regeneração secundária	1,48x10 ⁶	0,0084	39,7	4,2	31,3
Regeneração primária	1,48x10 ⁶	0,0069	146,4	6,0	26,3

3.2.3. Arquivo de uso da terra

O arquivo de uso do solo foi obtido através da técnica de digitalização em tela, em ambiente SIG, de aerofotos ortoretificadas disponibilizadas pelo Instituto Capixaba de Meio Ambiente (IEMA) e através de levantamento planialtimétrico da microbacia e adjacências por meio do GPS Geodésico estático modelo GTR-A (TechGeo®) (Figura 7).

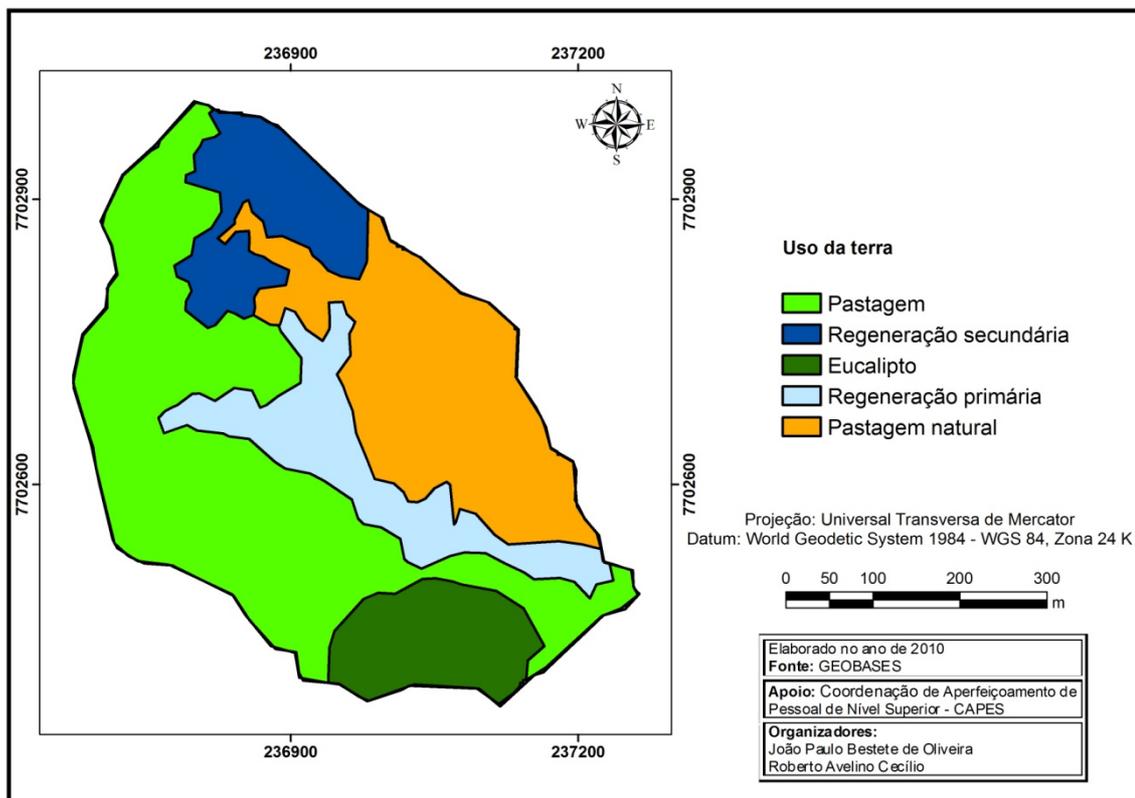


Figura 7 - Uso da terra da microbacia do córrego Jaqueira.

3.2.4. Arquivo de manejo de solo

O arquivo manejo do solo com as informações referentes ao crescimento de plantas, condições iniciais, decomposição de resíduos e práticas de manejo do solo foi obtido com base nas condições locais e através do banco de dados do WEPP, de maneira que melhor representasse as práticas de cultivo e manejo adotadas na microbacia. A prática que melhor representou as condições de manejo, em todos os sítios, foi o pousio.

3.2.5. Levantamento topográfico

Foi realizado levantamento planialtimétrico da microbacia e adjacências por meio do GPS Geodésico estático modelo GTR-A (TechGeo®), tendo sido coletados aproximadamente 2500 pontos. De posse destes pontos, e por meio do *software* ArcInfo® 9.3, realizou-se a interpolação dos valores altimétricos para a obtenção do modelo digital de elevação (MDE), sendo utilizados pixels com dimensões de 3x3 m, a partir da execução do comando TOPORASTER. Em seguida o comando *Fill*, no módulo *Hydrology*, foi executado para eliminar depressões geradas na interpolação, resultando modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEHC), apresentado na Figura 8, que posteriormente foi utilizado para obtenção do mapa das declividades (Figura 9).

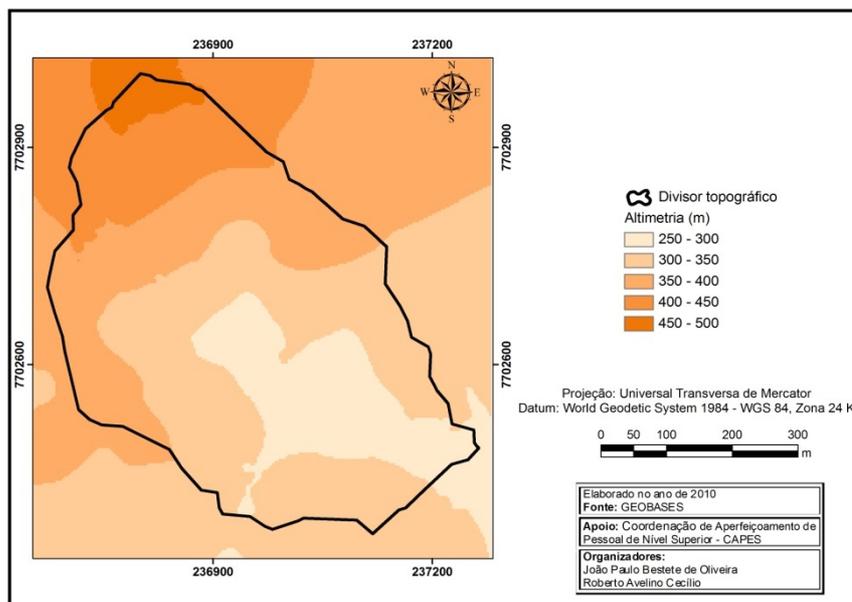


Figura 8 - Modelo digital de elevação da microbacia do córrego Jaqueira.

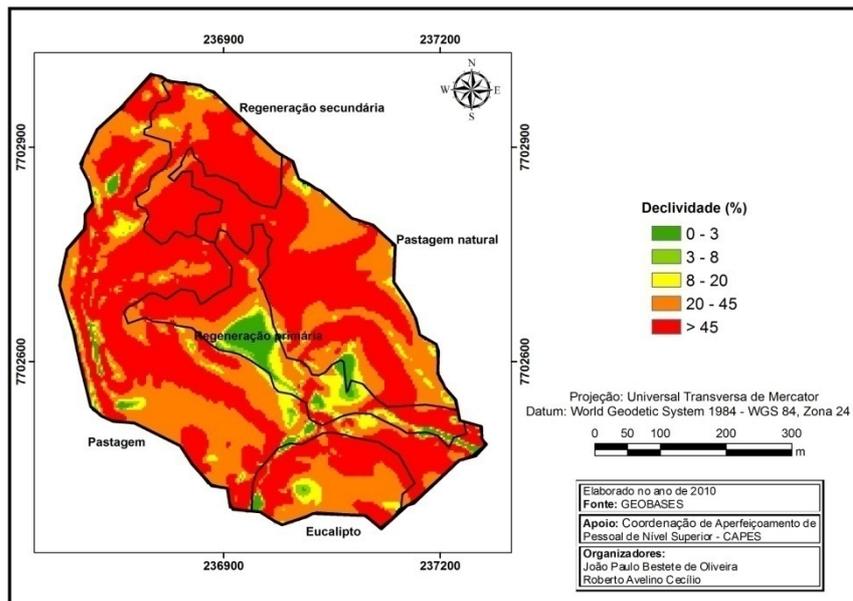


Figura 9 - Declividades da microbacia do córrego Jaqueira.

3.3. CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Na simulação da erosão do solo, os anos 2007-2009 foram considerados para as condições atuais, enquanto os anos de 2010-2099, utilizados para mudanças climáticas futuras, analisados em três *time-slices* (fatias de tempo) centrados em 2020, 2050 e 2080, a partir do modelo climático global HadCM3, desenvolvido pelo Meteorological Office Hadley Centre's, Reino Unido. O HadCM3 possui resolução de 2,5 graus de latitude por 3,75 graus de longitude oeste (Figura 10), produzindo uma rede global de 96 x 73 células.

Os valores dos desvios esperados de precipitação diária, radiação solar temperaturas máxima e mínima para cada mês do período de 2010 – 2099 (Tabelas 4, 5, 6 e 7 respectivamente) obtidos através do HadCM3 estão disponíveis no site http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=tar_gcm. Com estes valores foram obtidos os valores futuros mensais desses elementos do clima. Para os demais parâmetros climáticos necessários no WEPP, o modelo não faz previsões, portanto, assumiu-se não haver alterações devido às mudanças climáticas. Os cenários de emissões simulados foram baseados nas projeções do Quarto Relatório de Avaliação (SAR) do IPCC.

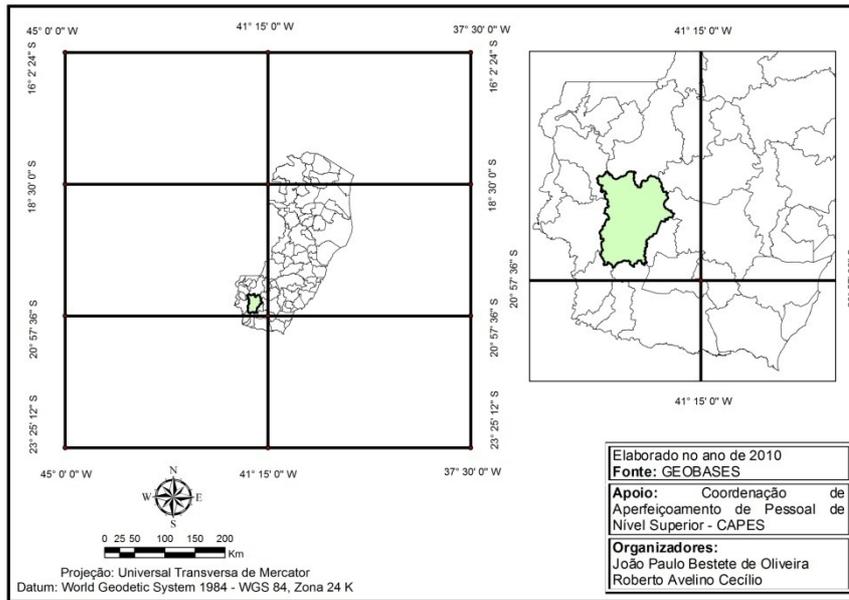


Figura 10 - Localização do Estado do Espírito Santo (à esquerda) e do município de Alegre-ES (à direita) de acordo com a resolução espacial de 2,5 graus de latitude por 3,75 graus de longitude do modelo HadCM3.

Tabela 4 - Alterações mensais esperadas da precipitação (mm) no município de Alegre - ES, em diferentes *time-slices* e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3

Mês	Média mensal atual	Time-slice											
		2020				2050				2080			
		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2	
Jan	242,0	57,0	(299,0)	37,2	(279,2)	50,5	(292,5)	-14,3	(227,7)	76,0	(318,0)	69,4	(311,4)
Fev	128,8	-43,1	(85,7)	-21,8	(107,0)	-3,1	(125,7)	-18,2	(110,6)	38,9	(167,7)	26,9	(155,7)
Mar	213,6	13,0	(226,6)	-7,8	(205,9)	8,1	(221,7)	12,1	(225,7)	37,5	(251,1)	-25,7	(187,9)
Abr	216,4	-3,3	(213,1)	-9,0	(207,4)	-1,8	(214,6)	-4,2	(212,2)	4,5	(220,9)	-10,5	(205,9)
Mai	11,4	0,0	(11,4)	0,0	(11,4)	-1,9	(9,5)	-2,5	(8,9)	-5,9	(5,5)	-2,2	(9,2)
Jun	20,6	1,8	(22,4)	-1,8	(18,8)	3,9	(24,5)	-3,6	(17,0)	-8,4	(12,2)	-3,6	(17,0)
Jul	7,0	0,0	(7,0)	-4,7	(2,3)	-2,2	(4,8)	-2,5	(4,5)	-5,6	(1,4)	-5,3	(1,7)
Ago	38,8	-6,8	(32,0)	-14,3	(24,5)	-5,3	(33,5)	-11,5	(27,3)	-14,6	(24,2)	-14,3	(24,5)
Set	85,8	12,9	(98,7)	10,2	(96,0)	-0,9	(84,9)	-17,7	(68,1)	-0,9	(84,9)	5,7	(91,5)
Out	175,0	18,9	(193,9)	13,9	(188,9)	36,6	(211,6)	3,4	(178,4)	12,1	(187,1)	8,4	(183,4)
Nov	62,4	88,8	(151,2)	54,3	(116,7)	70,8	(133,2)	140,4	(202,8)	75,9	(138,3)	90,0	(152,4)
Dez	208,2	-2,2	(206,0)	34,4	(242,6)	56,1	(264,3)	24,2	(232,4)	83,4	(291,6)	52,4	(260,6)
ANUAL	1410,0	137,1	(1547,1)	90,8	(1500,8)	210,9	(1620,9)	105,7	(1515,7)	292,9	(1702,9)	191,3	(1601,3)

Obs.: Os valores entre parênteses representam as médias mensais esperadas.

Tabela 5 - Alterações mensais esperadas da radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no município de Alegre - ES, em diferentes *time-slices* e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3

Mês	Média mensal atual	Time-slice											
		2020				2050				2080			
		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2	
Jan	23,0	-0,4	(22,6)	-0,8	(22,2)	-0,7	(22,3)	1,0	(24,0)	-0,4	(22,6)	-0,9	(22,1)
Fev	27,2	0,8	(28,0)	-0,6	(26,6)	0,3	(27,5)	-0,1	(27,1)	0,2	(27,4)	-0,2	(27,0)
Mar	22,7	0,0	(22,7)	-0,1	(22,6)	-0,3	(22,4)	-0,4	(22,3)	-0,8	(21,9)	0,4	(23,1)
Abr	17,1	0,2	(17,3)	0,5	(17,6)	0,4	(17,5)	0,8	(17,9)	0,6	(17,7)	1,5	(18,6)
Mai	19,1	-0,5	(18,6)	0,7	(19,8)	0,4	(19,5)	1,2	(20,3)	2,9	(22,0)	1,9	(21,0)
Jun	14,4	-0,3	(14,1)	0,4	(14,8)	0,5	(14,9)	1,1	(15,5)	3,6	(18,0)	1,6	(16,0)
Jul	12,8	-0,1	(12,7)	1,7	(14,5)	0,3	(13,1)	0,9	(13,7)	3,8	(16,6)	2,4	(15,2)
Ago	16,5	-0,7	(15,8)	1,0	(17,5)	-0,2	(16,3)	1,5	(18,0)	3,4	(19,9)	2,3	(18,8)
Set	22,1	-1,2	(20,9)	-0,3	(21,8)	0,7	(22,8)	1,5	(23,6)	1,6	(23,7)	0,6	(22,7)
Out	17,9	0,4	(18,3)	-0,5	(17,4)	0,5	(18,4)	1,2	(19,1)	1,5	(19,4)	0,8	(18,7)
Nov	25,0	-2,2	(22,8)	-1,3	(23,7)	-0,6	(24,4)	-2,5	(22,5)	0,2	(25,2)	-0,2	(24,8)
Dez	23,8	-0,1	(23,7)	-1,3	(22,5)	-0,9	(22,9)	-0,2	(23,6)	-0,9	(22,9)	-0,7	(23,1)
ANUAL	20,1	-0,3	(19,8)	-0,1	(20,0)	0,0	(20,1)	0,5	(20,6)	1,3	(21,4)	0,8	(20,9)

Obs.: Os valores entre parênteses representam as médias mensais esperadas.

Tabela 6 - Alterações mensais esperadas da temperatura máxima (°C) no município de Alegre - ES, em diferentes *time-slices* e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3

Mês	Média mensal atual	Time-slice											
		2020				2050				2080			
		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2	
Jan	26,3	0,7	(27,0)	0,4	(26,7)	1,5	(27,8)	1,5	(27,8)	3,0	(29,3)	1,8	(28,1)
Fev	26,9	0,7	(27,6)	0,3	(27,2)	1,9	(28,8)	1,4	(28,3)	3,2	(30,1)	2,1	(28,9)
Mar	26,7	0,8	(27,5)	0,7	(27,3)	1,8	(28,5)	1,4	(28,1)	3,1	(29,7)	2,2	(28,8)
Abr	24,0	0,8	(24,8)	0,7	24,7	1,9	(25,9)	1,9	(25,9)	3,4	(27,4)	3,0	(27,0)
Mai	22,5	0,7	(23,2)	1,5	(24,0)	2,4	(24,9)	2,7	(25,1)	5,7	(28,2)	4,3	(26,8)
Jun	20,6	0,4	(21,0)	1,5	(22,1)	2,8	(23,4)	2,8	(23,4)	7,3	(27,9)	4,6	(25,3)
Jul	24,4	0,9	(25,3)	2,3	(26,7)	2,4	(26,8)	2,5	(26,8)	7,9	(32,3)	5,3	(29,7)
Ago	22,2	0,3	(22,5)	1,5	(23,8)	2,2	(24,5)	2,9	(25,2)	7,7	(29,9)	4,7	(26,9)
Set	25,0	0,4	(25,5)	1,0	(26,0)	3,2	(28,2)	3,5	(28,5)	6,2	(31,2)	4,3	(29,4)
Out	24,7	1,7	(26,4)	1,1	(25,9)	3,2	(27,9)	3,8	(28,5)	6,0	(30,7)	3,9	(28,6)
Nov	27,5	0,6	(28,1)	0,6	(28,1)	2,5	(30,0)	1,1	(28,6)	5,0	(32,5)	3,7	(31,2)
Dez	26,8	0,4	(27,2)	0,2	(27,0)	1,4	(28,2)	1,2	(28,0)	3,1	(29,9)	1,9	(28,7)
ANUAL	24,8	0,7	(25,5)	1,0	(25,8)	2,3	(27,1)	2,2	(27,0)	5,1	(29,9)	3,5	(28,3)

Obs.: Os valores entre parênteses representam as médias mensais esperadas.

Tabela 7 - Alterações mensais esperadas da temperatura mínima (°C) no município de Alegre - ES, em diferentes *time-slices* e cenários de mudanças climáticas, de acordo com o modelo HadCM3

Mês	Média mensal atual	Time-slice											
		2020				2050				2080			
		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2		Cenário A2		Cenário B2	
Jan	25,4	0,8	(26,1)	0,6	(26,0)	1,7	(27,1)	1,2	(26,6)	3,0	(28,4)	2,1	(27,4)
Fev	25,7	0,5	(26,2)	0,6	(26,3)	1,8	(27,5)	1,4	(27,1)	3,1	(28,8)	2,1	(27,9)
Mar	25,6	0,7	(26,3)	0,8	(26,4)	2,0	(27,6)	1,7	(27,3)	3,5	(29,1)	2,1	(27,7)
Abr	23,2	0,9	(24,1)	0,5	(23,6)	2,3	(25,5)	1,6	(24,7)	3,7	(26,9)	2,6	(25,8)
Mai	21,5	1,1	(22,6)	1,3	(22,8)	2,7	(24,2)	2,3	(23,7)	4,5	(26,0)	3,2	(24,7)
Jun	19,7	0,5	(20,2)	1,1	(20,8)	2,5	(22,2)	2,0	(21,6)	4,6	(24,3)	3,3	(23,0)
Jul	23,0	0,9	(23,8)	0,7	(23,7)	2,3	(25,2)	1,9	(24,9)	4,9	(27,9)	3,1	(26,1)
Ago	20,9	0,7	(21,6)	0,7	(21,6)	2,5	(23,3)	2,0	(22,8)	5,0	(25,9)	3,0	(23,8)
Set	23,6	1,3	(24,9)	0,9	(24,5)	2,8	(26,5)	2,2	(25,9)	4,8	(28,5)	3,5	(27,2)
Out	23,7	1,5	(25,2)	1,3	(25,0)	2,9	(26,6)	2,6	(26,3)	4,7	(28,4)	3,4	(27,1)
Nov	26,1	1,5	(27,6)	1,2	(27,3)	2,7	(28,8)	2,3	(28,4)	4,6	(30,7)	3,6	(29,7)
Dez	25,6	0,3	(25,9)	0,5	(26,1)	1,5	(27,1)	1,3	(26,8)	3,1	(28,7)	2,0	(27,5)
ANUAL	23,7	0,9	(24,5)	0,9	(24,5)	2,3	(26,0)	1,9	(25,5)	4,1	(27,8)	2,8	(26,5)

Obs.: Os valores entre parênteses representam as médias mensais esperadas.

3.4. APLICAÇÃO DO MODELO PARA PREDIÇÃO DAS PERDAS DE SOLO E ÁGUA

3.4.1. GeoWEPP

Para aplicação do modelo WEPP utilizou-se o *software* GeoWEPP, versão 2005.1, modelo de predição geo-espacial da erosão desenvolvido pelo Agriculture Research Service, Purdue University e o National Soil Erosion Research Laboratory (USDA), para integrar características avançadas do SIG (Sistemas de Informações Geográficas) com o WEPP, possibilitando o processamento e geração de dados digitais, tais como o modelo digital de elevação do terreno (MDE), orto-fotos, levantamentos de solos, mapas de uso do solo e dados de agricultura de precisão. Além disso, os dados de entrada necessários como informações de clima, declividade, tipos de solo, uso e ocupação do solo são integrados na base espacial do WEPP e as saídas produzidas por funções SIG do GeoWEPP.

Para a predição da produção de sedimentos e de escoamento superficial em escala de bacias hidrográficas, o GeoWEPP integra o modelo WEPP e o software TOPAZ (TOPography PArameteriZation) ao software ArcGIS 9.3®. Os arquivos de entrada necessários (clima, declividade, solo, uso e manejo do solo) são gerados no WEPP e os dados topográficos parametrizados pelo TOPAZ baseados em MDE. Por fim, a bacia é gerada por funções SIG no ArcView.

3.4.2. TOPAZ

No GeoWEPP, os perfis das encostas são gerados através do TOPAZ, que parametriza os dados de topografia, baseados no MDE (Figura 8). Cada encosta tem dois parâmetros associados: solo e manejo/uso do solo/cobertura vegetal. Quando o GeoWEPP prepara o encostas para as simulações no WEPP, é atribuído um solo e um uso do solo, a cada encosta, baseando-se no tipo solo/uso do solo predominantes na encosta. O TOPAZ determina as redes de canais baseando-se nas direções do escoamento superficial, considerando oito células adjacentes de cada célula raster (pixel). As redes de canais podem

ser ajustadas alterando os valores da média do comprimento do canal de origem (MSCL) e Área de origem crítica (CSA). O MSCL define o menor comprimento de canal e a CSA, a área de drenagem mínima. Após definir a rede de canais, o TOPAZ gera as encostas da bacia (Figura 11).

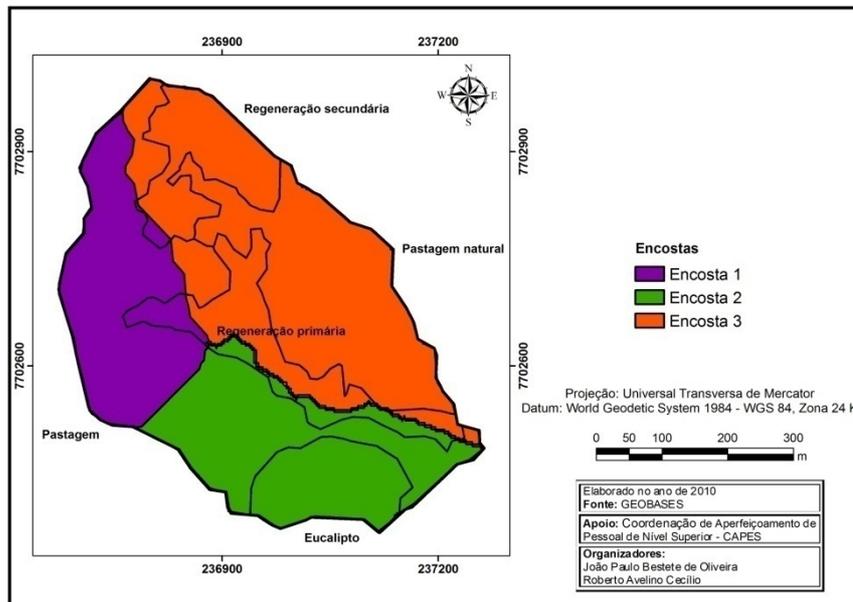


Figura 11 - Encostas geradas pelo TOPAZ da microbacia do córrego Jaqueira.

A encosta 1 é ocupada por pastagem (4,7 ha), regeneração primária (0,4 ha) e regeneração secundária (0,9 ha) e apresenta comprimento de rampa igual a 245,2 m e declividade média de 34,4 %, possuindo perfil mais desuniforme entre as três encostas (Figura 12). A encosta 2 é ocupada por pastagem (3,7 ha), eucalipto (2,1 ha) e regeneração primária (0,7 ha) e apresenta comprimento de rampa igual a 132 m e declividade média de 27,1 % (Figura 13). A encosta 3 é ocupada por pastagem (1,2 ha), regeneração secundária (2,3 ha), regeneração primária (1,9 ha) e pastagem natural (5,6 ha) e apresenta comprimento de rampa igual a 224,1 m e declividade média de 55,9 %, possuindo o perfil mais uniforme entre as três encostas (Figura 14).

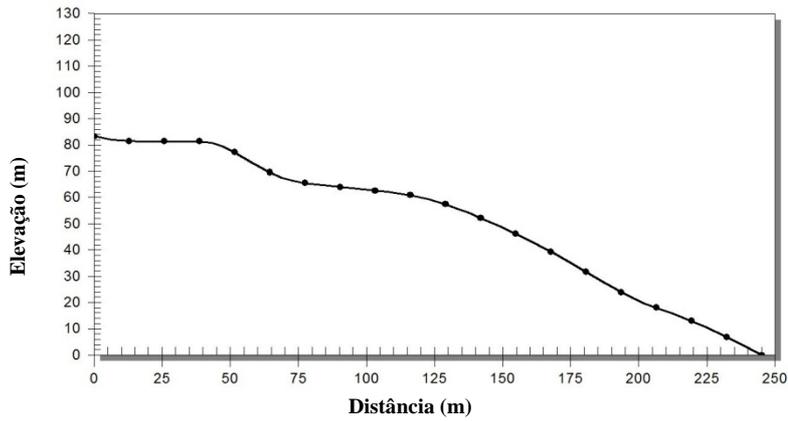


Figura 12 - Perfil longitudinal da encosta 1.

Distância (m)	Declividade (%)
0	29,9
12,9	0,1
25,8	0,1
38,7	0,1
51,6	65,0
64,5	53,0
77,4	10,1
90,3	12,7
103,2	9,2
116,1	17,5
129,0	36,0
141,9	45,6
154,8	47,8
167,7	57,0
180,6	63,9
193,5	55,7
206,4	35,0
219,4	42,7
232,3	52,8
245,2	53,1

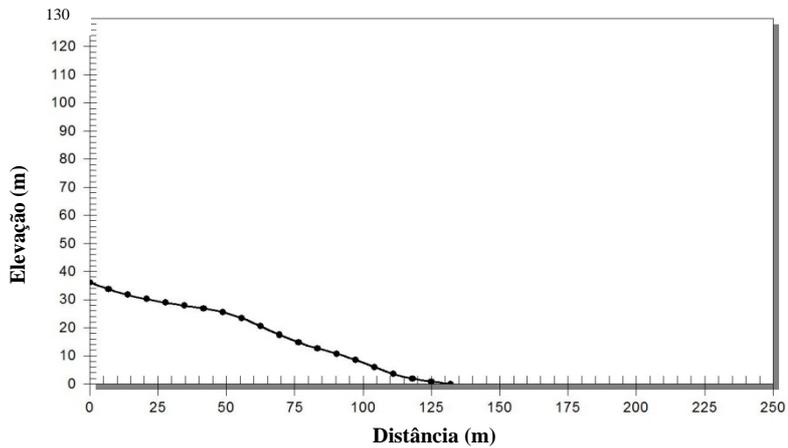


Figura 13 - Perfil longitudinal da encosta 2.

Distância (m)	Declividade (%)
0	35,0
6,9	32,8
13,9	25,7
20,8	18,9
27,8	17,2
34,7	13,9
41,7	14,0
48,6	24,6
55,6	36,0
62,5	46,8
69,5	42,7
76,4	33,9
83,4	28,7
90,3	25,6
97,3	36,4
104,2	38,6
111,2	31,9
118,1	15,9
125,1	13,5
132,0	10,7

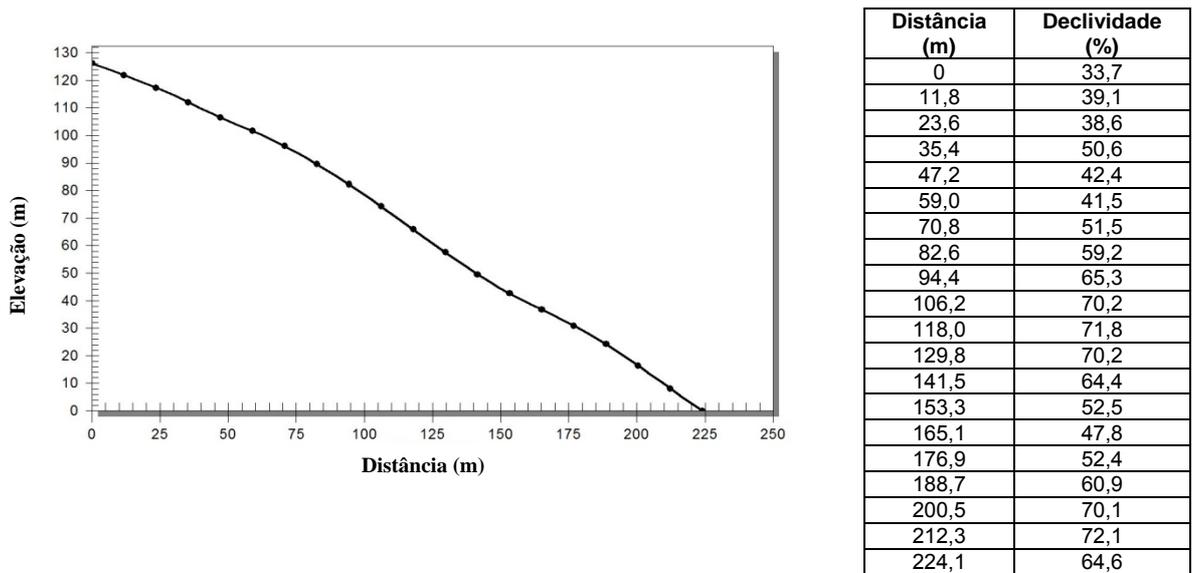


Figura 14 - Perfil longitudinal da encosta 3.

3.4.3. ArcGIS/ ArcInfo

O GeoWEPP tem a característica de ser executado no ArcInfo. A bacia delimitada é obtida em *grid layers*, representando a perda de solo em porcentagem de perda de solo tolerável (TSL), que nesse estudo foi de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de acordo com os dados apresentados por Bertoni e Lombardi Neto (1999) para áreas de preservação ambiental. Nas *grid layers*, as áreas que geram valores de perda de solo maiores ou menores que a TSL são destaque. Os dados de perdas de solo e escoamento superficial para cada *pixel* podem ser produzidos em arquivos de texto ou em *grid*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de perda de solo e o escoamento superficial na microbacia hidrográfica do córrego Jaqueira, na condição climática atual estão apresentados na Tabela 8. Observa-se o escoamento superficial médio e total em torno de 52,9 e 131,3 mm ano⁻¹, respectivamente e taxa de perda de solo de 17,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, sob condição de precipitação média anual de 1410,0 mm (Tabela 4)

Tabela 8 - Escoamento superficial e taxa de perda de solo atual na microbacia do córrego Jaqueira

Encosta	Área	Escoamento superficial	Taxa de perda de solo
	ha	mm ano ⁻¹	t ha ⁻¹ ano ⁻¹
Encosta 1	5,1	12,5	10,7
Encosta 2	6,5	39,2	0,4
Encosta 3	11,0	79,7	30,6
Média	22,6	52,9	17,5

Na encosta 1, em uma área de 5,1 ha, o escoamento superficial de 12,5 mm ano⁻¹ produzido, resulta em taxa de perda de solo de 10,7 t ha⁻¹ ano⁻¹. Na encosta 2, em uma área de 6,5 ha, o escoamento superficial de 39,2 mm ano⁻¹ produzido resulta em taxa de perda de solo de 0,4 t ha⁻¹ ano⁻¹. Na encosta 3, em uma área de 11 ha, o escoamento superficial de 79,7 mm ano⁻¹ produzido, resulta taxa de perda de solo de 30,6 t ha⁻¹ ano⁻¹.

A encosta 2, apesar ser mais uniforme que a encosta 1 (Figuras 12 e 13), apresentou maior escoamento superficial e menor taxa de perda de solo, pois possui comprimento de rampa igual a 132 m e declividade média de 27,1 %, enquanto que a encosta 1, possui comprimento de rampa igual a 245,2 m e declividade média de 34,4 %. O fato da encosta 3 possuir o perfil mais uniforme e a maior declividade entre as três encostas (Figura 14) explicam as maiores perdas de água e solo nesta encosta (Tabela 8), pois o volume e a velocidade do escoamento estão diretamente relacionados ao comprimento de rampa e ao grau de declividade do terreno.

O mapa referente à estimação da perda de solo atual na microbacia do córrego Jaqueira está representado na Figura 15.

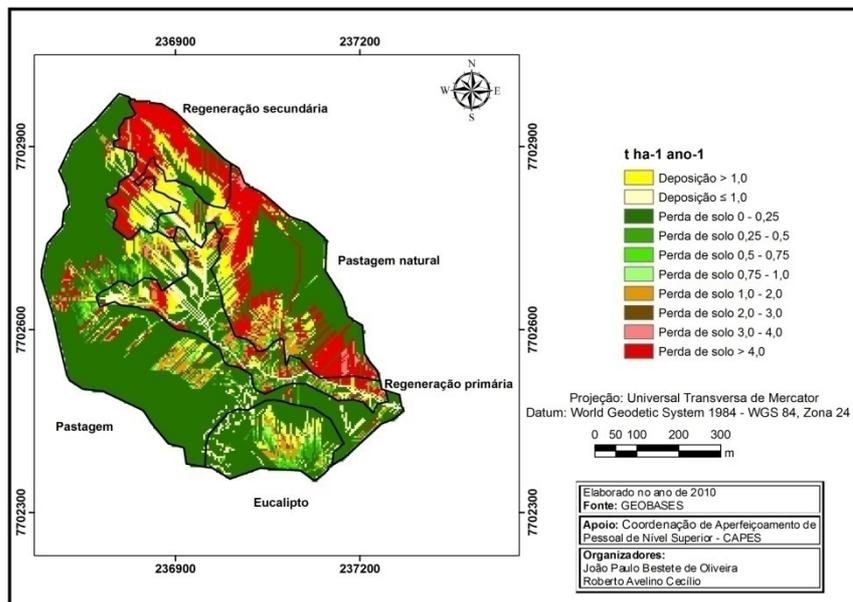


Figura 15 - Estimação da perda de solo atual na microbacia do córrego Jaqueira.

Observa-se que as áreas sob regeneração secundária e pastagem natural são as principais responsáveis pelas perdas de solo da microbacia, apresentando taxas de perdas muitas vezes maiores que $4,0\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, pelo fato dessas áreas situarem na encosta 3, que possui o perfil mais uniforme e a maior declividade entre as três encostas (Figura 14). As áreas de pastagem, eucalipto e regeneração primária, de maneira geral, apresentam perdas abaixo de $1,0\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, embora tenham apresentado, em alguns locais, perdas superiores.

As perdas evidenciadas na área sob pastagem natural podem ser comparadas com as obtidas por Bono et. al (1996), que avaliaram perdas em Latossolo, sob pastagem nativa (*Brachiaria brizantha*), observando que as perdas de solo variaram entre $6,8$ e $18\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$. As perdas nas áreas sob pastagem, eucalipto e regeneração primária corroboram os resultados obtidos por Pires et. al (2006), que observaram, em Latossolo Vermelho-Amarelo, taxas de perda de solo de $0,21\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ em pastagem plantada (*Brachiaria* sp.), $0,26\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ em eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e, $0,14\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ em regeneração natural, respectivamente.

O escoamento superficial médio anual e as taxas de perda de solo nas condições climáticas futuras, referentes a cada *time-slice* (2020, 2050 e 2080) e cenários de alterações climáticas (A2 e B2) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Escoamento superficial médio anual e taxa de perda de solo anuais sob diferentes *time-slices* e cenários de alterações climáticas para a microbacia do córrego Jaqueira

<i>Time-slice</i>	Escoamento superficial			Taxa de perda de solo		
	mm ano ⁻¹			t ha ⁻¹ ano ⁻¹		
	Atual	Cenário A2	Cenário B2	Atual	Cenário A2	Cenário B2
Atual	52,9	-	-	17,5	-	-
2020	-	56,1	55,3	-	18,3	19,3
2050	-	51,4	244,8	-	16,5	41,1
2080	-	51,0	43,0	-	15,7	15,9

No cenário A2, na década de 2020, em que há tendência de que ocorra aumento de 10% da precipitação média anual, influenciado, principalmente, pelos aumentos dos meses de janeiro e novembro (Tabela 4), resultará aumento de 6,0% no escoamento superficial e de 4,6% na taxa de perda de solo. Em 2050, apesar da tendência de aumento de 15% da precipitação anual, influenciado principalmente, pelos meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro, haverá diminuição de 2,8% no escoamento superficial e de 5,7% na taxa de perda de solo. Em 2080, apesar de haver tendência de aumento de 21% da precipitação anual nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, haverá diminuição de 3,6% no escoamento e de 10,3% na taxa de perda de solo.

No cenário B2, na década de 2020, em que há tendência de ocorrer aumento de 6% da precipitação anual, influenciado principalmente, pelos aumentos dos meses de janeiro, novembro e dezembro (Tabela 4), resultará aumento de 4,5% no escoamento superficial e de 10,3% na taxa de perda de solo. Em 2050, observa-se tendência de aumento de 8% da precipitação anual, todavia, devido ao expressivo aumento da precipitação no mês de novembro, existe tendência de aumento de 362,7% no escoamento superficial e de 134,9% na taxa de perda de solo. Em 2080, apesar de haver tendência de aumento de 14% da precipitação anual nos meses de janeiro, fevereiro,

novembro e dezembro, haverá diminuição de 18,7% no escoamento e de 9,1% na taxa de perda de solo.

A tendência geral, exceto na década de 2050, cenário B2, é de aumento das perdas em 2020 e redução a partir de 2050.

Os aumentos do escoamento superficial e das taxas de perdas de solo (Tabela 9) provocados pelo aumento da precipitação (Tabela 4), observados em 2020 A2, 2020 B2 e 2050 B2, podem ser explicados pelo fato da chuva constituir o principal agente responsável para a ocorrência da erosão hídrica, seja pelo impacto direto das gotas sobre a superfície do solo ou pela capacidade de produzir escoamento superficial. Convém ressaltar que não apenas a precipitação média anual é importante para a ocorrência de perdas de água e solo, mas sua distribuição sazonal, isto é, ao longo dos meses é também fundamental, o que pode ser evidenciado na simulação feita para a década de 2050, cenário B2, em que o extremo incremento da precipitação mensal de novembro, aumentou demasiadamente as taxas de perda de solo e o escoamento superficial. Além da lâmina precipitada, o conhecimento da distribuição do tamanho de gotas, sua velocidade de queda e energia cinética, são de grande importância para a estimativa das perdas de solo e água, pois são responsáveis pela fragmentação dos agregados do solo em partículas coloidais, que podem promover o entupimento dos macroporos responsáveis pela drenagem de água, logo após o início da precipitação, selando a superfície do solo e impedindo a rápida infiltração da água; além disso, influencia também a intensidade, duração e a frequência das chuvas, no processo erosivo. Todavia, tais características não foram consideradas no presente estudo, uma vez que não são previstas nos modelos climáticos adotados pelo IPCC.

Analisando por uma tendência lógica, os aumentos da precipitação deveriam aumentar o escoamento superficial e das taxas de perdas de solo em todas as décadas e cenários climáticos, porém, em 2050 A2, 2080 A2 e 2080 B2, isso não ocorreu. As diminuições do escoamento superficial e das taxas perdas de solo nestes cenários futuros (Tabela 9), mesmo quando esperados aumentos na precipitação, são provavelmente provocados pelo aumento da produção de biomassa decorrente do aumento da temperatura do ar (Tabelas 6 e 7). Temperaturas elevadas fazem com que haja acumulação mais rápida dos

graus-dia necessários para que a cultura atinja a maturidade, aumentando-se as taxas de produção de biomassa, protegendo melhor o solo. Em 2020 não observou-se redução das perdas, provavelmente, porque os incrementos das temperaturas ainda sejam pequenos para promoverem aumento de biomassa tão expressivo que resultasse em redução das perdas de solo e água.

Nesse estudo observou-se, no cenário A2, que o aumento da precipitação em 1% em 2020 resultou em aumento de 0,6% nas perdas de água e 0,46% nas perdas de solo; o aumento em 1% em 2050 resultou em redução de 0,18% nas perdas de água e 0,38% nas perdas de solo, e o aumento em 1% em 2080 resultou em redução de 0,17% nas perdas de água e 0,49% nas perdas de solo. No cenário B2 observou-se que, o aumento da precipitação em 1% em 2020 resultou em aumento de 0,75% nas perdas de água e 1,7% nas perdas de solo; o aumento em 1% em 2050 resultou em aumento de 45,3% nas perdas de água e 16,8% nas perdas de solo, e o aumento em 1% em 2080 resultou em redução de 1,3% nas perdas de água e 0,65% nas perdas de solo. Todos os aumentos de precipitação e variação de perdas de solo e água, exceto em 2050 B2, foram inferiores aos encontrados por Pruski e Nearing (2002a), que estudaram as variações potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo, em oito localidades nos Estados Unidos, utilizando o HadCM3, considerando as mudanças climáticas esperadas durante o século XXI, descobriram que a alteração na quantidade e intensidade de precipitação teve grande efeito sobre a erosão do solo e geração de escoamento superficial. Especificamente, o aumento de 1% na precipitação resultou, em média, no aumento de 1,7% na perda de solo e de 2% no escoamento. Já Amorim *et. al* (2008), em estudo das variáveis potenciais no escoamento superficial e nas perdas de solo, considerando as mudanças climáticas esperadas no século XXI em diferentes localidades do Brasil, observaram que precipitação variou de -8,6 a 8,7%, resultando variações nas perdas de solo da ordem de -65,7 a 154,3% e nas perdas de água de -24,6 a 25,9%. Estes autores observaram que, em Latossolo, nas localidades de Campinas - SP, cultivando soja, milho e algodão sob plantio direto, Pindorama – SP, cultivando soja sob plantio direto, e Santa Maria – RS, cultivando algodão sob plantio convencional, com o aumento da precipitação, houve aumento das perdas de água e solo, fato que também pode ser observado nas condições

deste trabalho em 2020 A2, 2020 B2 e 2050 B2. Observaram ainda, nas localidades de Dourados – MS, cultivando-se soja, milho e algodão sob plantio direto e, Pindorama – SP, cultivando milho e algodão sob plantio convencional, que apesar do aumento de precipitação, houve a diminuição das perdas água e solo, fato que pode ser observado nas condições desse trabalho em 2050 A2, 2080 A2 e 2080 B2.

A taxa de perda de solo e o escoamento superficial na microbacia hidrográfica do córrego Jaqueira, nas condições climáticas futuras estão apresentados na Tabela 10. Observa-se o escoamento superficial médio e total em torno de 52,9 e 131,3 mm ano⁻¹, respectivamente e taxa de perda de solo de 17,5 t ha⁻¹ ano⁻¹, sob condição de precipitação média anual de 1410,0 mm (Tabela 4)

Tabela 10 - Perda de solo e escoamento superficial atual, sob diferentes *time-slices* e cenários de alterações climáticas por encosta, da microbacia do córrego Jaqueira

Encosta	Área	Escoamento	Perda de
	ha	superficial mm ano ⁻¹	solo t ha ⁻¹ ano ⁻¹
Atual			
Encosta 1	5,1	12,5	10,7
Encosta 2	6,5	39,2	0,4
Encosta 3	11,0	79,7	30,6
Média	22,6	52,9	17,5
2020 A2			
Encosta 1	5,1	13,2	11,7
Encosta 2	6,5	43,5	0,5
Encosta 3	11,0	83,5	31,8
Média	22,6	56,1	18,3
2020 B2			
Encosta 1	5,1	13,4	12,0
Encosta 2	6,5	42,9	0,5
Encosta 3	11,0	82,1	33,7
Média	22,6	55,3	19,3

Continua...

Tabela 10, Continuação.

2050 A2			
Encosta 1	5,1	12,8	9,4
Encosta 2	6,5	38,3	1,1
Encosta 3	11,0	77,1	28,7
Média	22,6	51,4	16,5
2050 B2			
Encosta 1	5,1	86,0	43,7
Encosta 2	6,5	247,6	3,1
Encosta 3	11,0	316,7	62,2
Média	22,6	244,8	41,1
2080 A2			
Encosta 1	5,1	12,9	8,7
Encosta 2	6,5	40,6	1,0
Encosta 3	11,0	74,7	27,6
Média	22,6	51,0	15,9
2080 B2			
Encosta 1	5,1	11,2	9,7
Encosta 2	6,5	32,3	0,3
Encosta 3	11,0	64,1	27,8
Média	22,6	43,0	15,9

Como anteriormente exposto no cenário atual, observa-se que a tendência geral é de maiores valores de escoamento superficial e taxas de perda de solo na encosta 3. A encosta 1, embora tenha tendência de produzir menores lâminas de escoamento superficial, apresenta maiores valores estimados para as taxas de perda de solo, comparativamente à encosta 2. A única exceção feita à estas tendências gerais ocorre na simulação relativa à década de 2050, cenário B2, em que a encosta 2 apresenta estimativa maior para escoamento superficial e menor para taxa de perda de solo em relação às encostas 1 e 3.

Os mapas referentes à estimação da taxa de perda de solo de cada *time-slice* (2020, 2050 e 2080) e cenários de alterações climáticas (A2 e B2) estão apresentados nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20 e 21.

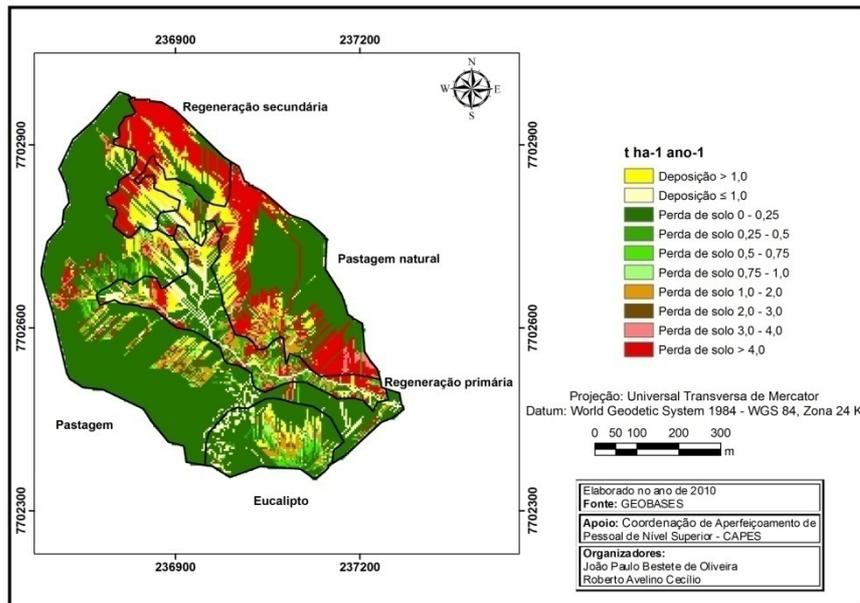


Figura 16 - Estimação da perda de solo no *time-slice* 2020 sob o cenário A2 na microbacia do córrego Jaqueira.

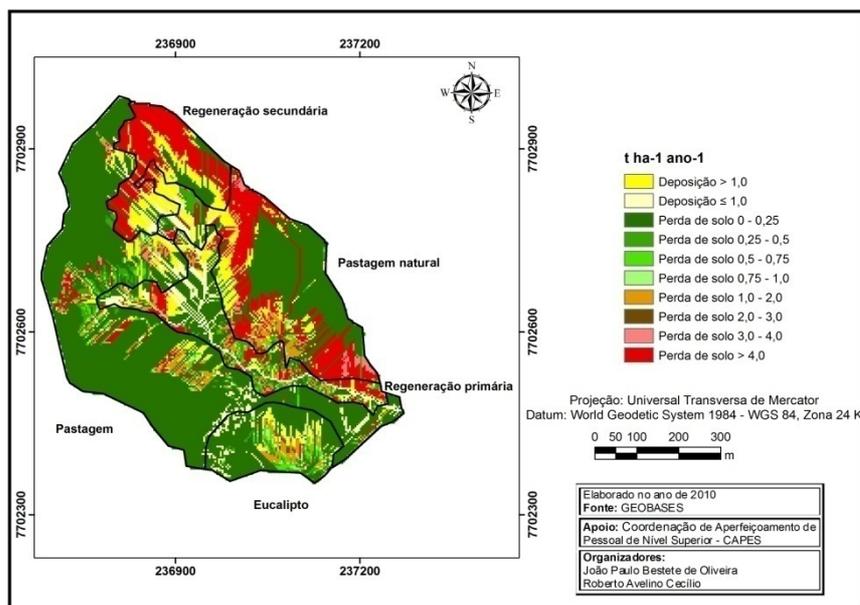


Figura 17 - Estimação da perda de solo no *time-slice* 2020 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.

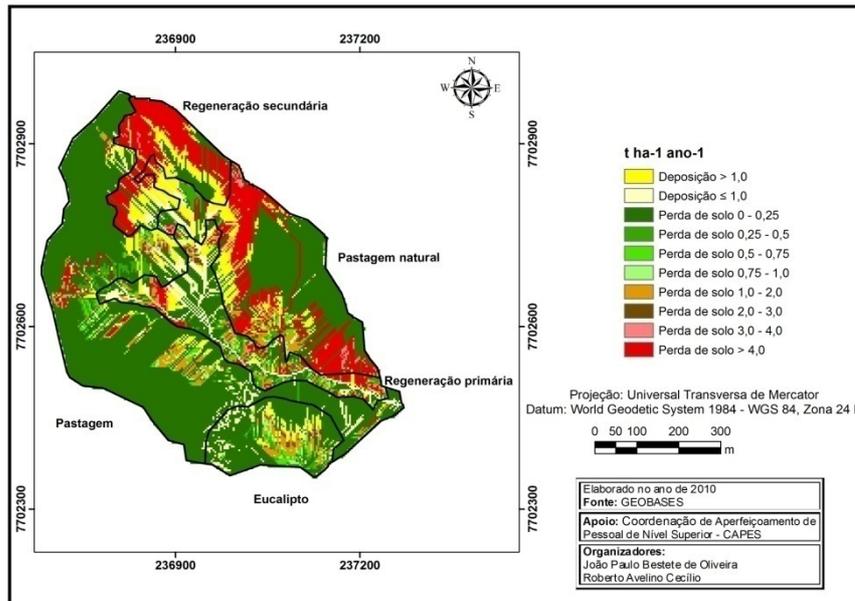


Figura 18 - Estimação da perda de solo no time-slice 2050 sob o cenário A2 na microbacia do córrego Jaqueira.

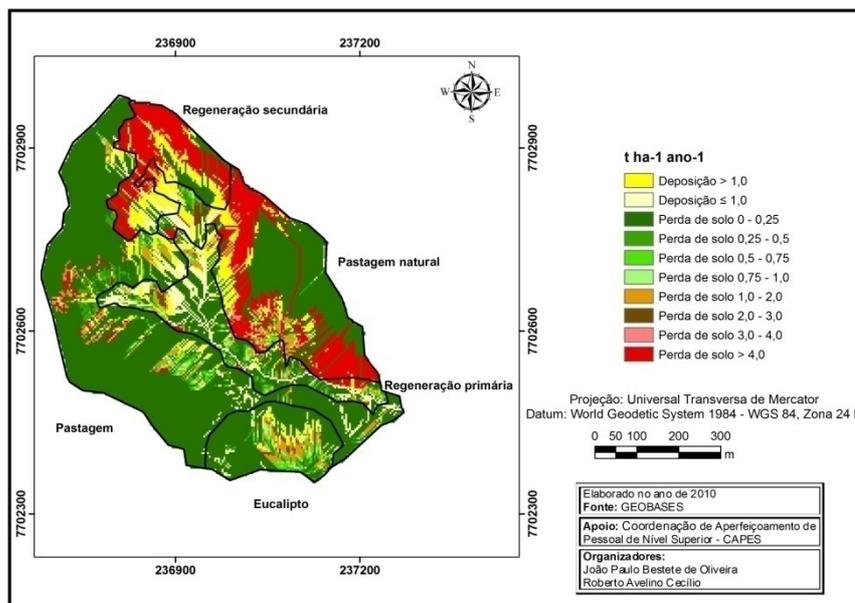


Figura 19 - Estimação da perda de solo no time-slice 2050 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.

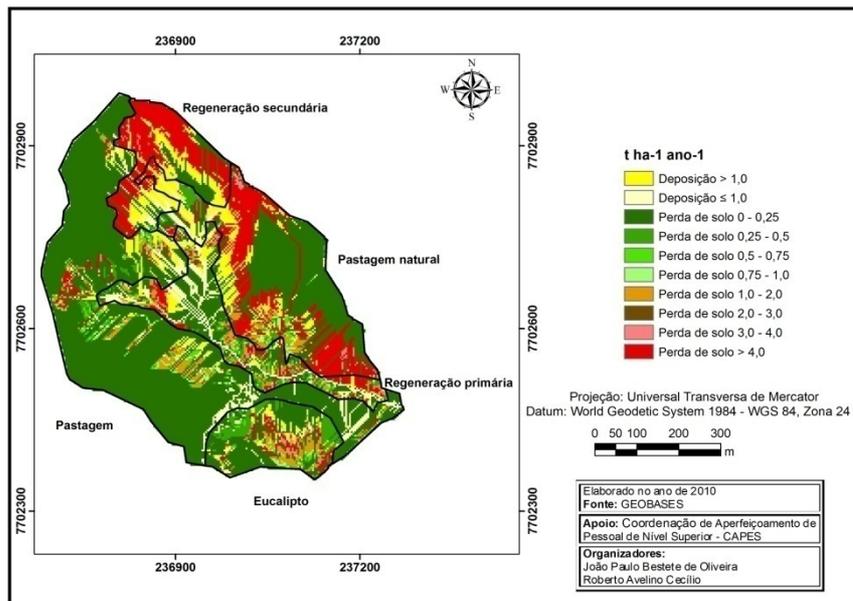


Figura 20 - Estimativa da perda de solo no time-slice 2080 sob o cenário A2 na microbacia do córrego Jaqueira.

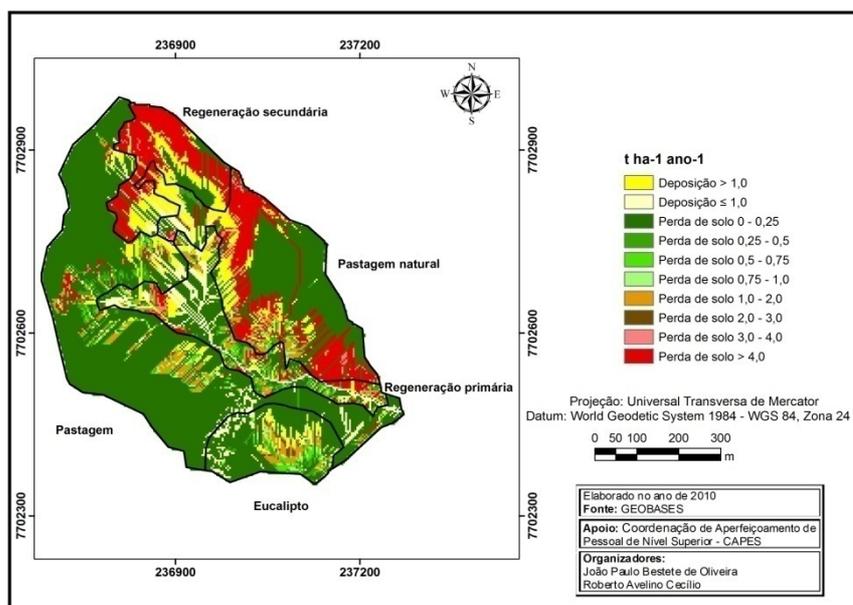


Figura 21 - Estimativa da perda de solo no time-slice 2080 sob o cenário B2 na microbacia do córrego Jaqueira.

Observa-se que a tendência geral é de maiores taxas de perda de solo nas áreas de regeneração secundária e pastagem natural, apresentando taxas de perdas muitas vezes maiores que $4,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, pelo fato dessas áreas situarem na encosta 3, que possui o perfil mais uniforme e a maior declividade entre as três encostas (Figura 14), em todas as décadas e cenários, exceto, na década de 2050, cenário B2, em que as áreas de pastagem e regeneração

primária também contribuem no aumento da taxa de perda de solo. As áreas de pastagem, eucalipto e regeneração primária, de maneira geral, apresentam perdas abaixo de $1,0 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, embora tenham apresentado, em alguns locais, perdas superiores.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- As perdas médias atuais simuladas na microbacia do córrego Jaqueira são de 52,9 mm ano⁻¹ para o escoamento superficial e de 17,5 t ha⁻¹ ano⁻¹.
- No cenário atual as áreas que apresentaram maiores perdas foram regeneração secundária e pastagem natural.
- A encosta 3, por possuir maior declividade média influencia a cobertura vegetal, ou seja, qualquer outra cobertura que estivesse sobre essa encosta resultaria em maior perda de solo e água.
- Há previsão, em 2020 A2, 2020 B2 e 2050 B2, de aumento do escoamento superficial e da taxa de perda de solo, quando é esperado aumento da precipitação.
- Há previsão, em 2050 A2, 2080 A2 e 2080 B2, de diminuição do escoamento superficial e da taxa de perda de solo, mesmo quando esperado aumento da precipitação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M. (ed.). **Soil erosion, conservation and rehabilitation**. New York: Marcel Dekker, 1996, 402 p.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da ; PRUSKI, F. F. Projeções futuras para as perdas de água e solo devido às mudanças climáticas esperadas para o século XXI. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água - **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, 2008.

AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para condições edafoclimáticas brasileiras**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 123p Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 2003.

BEASLEY, D. B., HUGGINS, L. F. **Answers: user's manual**. Chicago: United States Environmental Protection Agency, 1981. 51p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Editora Ícone, 1999. 352 p.

BONO, J. A. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; SILVA, M. L. N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. **Pasturas Tropicais**, Cali. v.18, n.2, p.2-8, 1996.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 120 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. **Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima**, 2004. 74 p. (Comunicação Nacional).

CECÍLIO, R. A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. 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**, v.4, p.39 - 45, 2009.

CECÍLIO, R. A. **Modelagem da infiltração da água no solo fundamentada na equação de Green-Ampt-Mein-Larson**. 2005. 151p. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigations options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

COSTA, É. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A. ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

DAEE-CETESB. Departamento de Água e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana**: Manual de projeto. São Paulo: DAEE-CETESB, 1980. 466p

FLANAGAN, D. C., ASCOGH II, J. C., NICKS, A. D., NEARING, M. A., LAFLEN, J. M. Overview of the WEPP erosion prediction model. In: USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Laffayette: : USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 1, p. 1.1 – 1.12. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

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

FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T., JOHNSON, H. P., BRAKENSIEK, D. L. (eds.). **Hydrologic modelling of small watersheds**. Michigan: ASAE, 1982. p. 296-380. (ASAE Monograph, 5).

ESPÍRITO SANTO - Instituto Estadual de Meio Ambiente – IEMA. **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES)-Ortofotomosaico 2007/2008**. 2008. <Disponível em: <http://200.140.47.75/geobasesonline/mapa.html>>. (Acessado em: 09 de março de 2010).

GILLEY, J. E., WETLZ, M. A. Hydraulics of Overland Flow. In: FLANAGAN, D. C., NEARING, M. A. (eds.). USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Laffayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 10, p 10.1 – 10.7. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

GROISSMAN, P.; KNIGHT, P.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEK, V. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, n. 18, p. 1326–1350, 2005.

GUARIZ, H. R. **Morfometria e Atributos Físicos do Solo da Microbacia do córrego Jaqueira – Alegre, ES**. 2008. 128p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal,

Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2008.

HAIRSINE, P. B., ROSE, C. W. Modelling Water erosion due to overland flow using physical principles: 12. Rill flow. **Water Resources Research**, n.28, v. 1, p. 245– 250, 1992.

HAIRSINE, P. B., ROSE, C. W. Rainfall detachment and deposition: sediment transport in the absence of flow-driven processes. **Soil Science Society of America Journal**, n. 55, v. 2, p. 320 – 324, 1991.

HAYLOCK, M. R. PE.; TERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; BERLATO, M.A, BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, V. J.; GRIMM, A. M.; KAROLY, D.; MARENGO, J. A.; MARINO, M. B; MONCUNILL, D. F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J. L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, n. 19, p. 1490–1512, 2006.

HIGGITT, D.L. Soil erosion and soil problems. **Progress in Physical Geography**, v.1, n.15, p.91-100, 1991.

HIRSCHI, M.C.; B.J. BARFIELD. **KYERMO - A physically based research erosion model**. Part I: Model development. *Trans. ASAE* 31:804–813, 1988.

HUDSON, N. W. The factors determining the extent of soil erosion. In: Greeland, R. (ed.). **Soil Conservation and Management in the Humid Tropics**. John Wiley and Sons, 1975.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2001: the scientific basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001a.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ENHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR M.; MILLER, H.L. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007. p. 2-18.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Technical Summary. In: MCCARTHY, J.; CANZIANI, O.; LEARY, N.; DOKKEN, D.; WHITE, K. **Climate Change 2001: Impact, adaptation, and Vulnerability**, A Report of Working

Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2001b.

KARL, T.R., KNIGHT, R.W. Secular trend of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, n. 79, p. 231– 242, 1998.

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.

LANE, L. J., RENARD, K. G., FOSTER, G. R., LAFLEN, J. M. Development and application of modern soil erosion prediction technology. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, n. 6, p. 893 – 912, 1992.

LOCH, R. J., SILBURN, D. M., Constraints to sustainability – soil erosion. In: CLARKE, I., WYLIE, P. B. (eds.) **Sustainable crop production in the subtropics: an Australian Perspective**. QDPI, 1996.

LUCA JUNIOR, P. R. ; MARTINS FILHO, M. V. Erodibilidade em sulcos e tensão cisalhante em um latossolo compactado e/ou consolidado. In: XX CIC - Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 2008, São José dos Campos - SP. **XX CIC - Congresso de Iniciação Científica da Unesp**. São José dos Campos, 2008.

MARENGO J. A. ; ALVES, LINCOLN M ; VALVERDE, M ; ROCHA, Rosemary ; LABORBE, R . **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**, 2007 (Relatório Técnico).

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 212 p. (Série biodiversidade 26).

MEEHL, G.A., T F. STOCKER, W.D. COLLINS, P. FRIEDLINGSTEIN, A.T. GAYE, J M. GREGORY, A. KITOH, R. KNUTTI, J M. MURPHY, A. NODA, S.C B. RAPER, I.G. WATTERSON, A.J. WEAVER & Z-C. ZHAO. Global Climate Projections. pp. 247-845. In: S. SOLOMON, D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR & H.L. MILLER (eds.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 996 p. 2007.

MERRITT, W. S., LETCHER, R. A., JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, (in review), 2003.

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

NCDC (National Climatic Data Center), **Climate of 2001-Annual Review**. National Oceanic and Atmospheric Administration, Asheville, North Carolina, USA, 2002. <Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2001/ann/ann.html> > (Acessado em 17 junho de 2010).

NEARING, M.A.; LANE, L.J.; ALBERTS, E.E.; LAFLEN, J.M. Prediction technology for soil erosion by water: status and research needs. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, p.1702-1711, 1990.

NEARING, M. A., LANE, I. J., LOPES, V. I. Modelling soil erosion. In Lal, R. (ed.), **Soil erosion: Research Methods**. p. 127 – 156, 1994

NICKS, A. D., LANE, L. J.; GANDER, G. A. Weather generator. In: USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Lafayette, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). **Global View CO₂**, 2006. <Disponível em: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/co2/co2_intro.html >. (Acessado em 17 de outubro de 2010).

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.

PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.4, p.687-695, 2006.

PRENTICE, I. C. **The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide**. In: CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS (ED. IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 489-496.

PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L. T. Infiltração da água num Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 77-84, 1997.

PRUSKI, F.F., NEARING, M.A. Climate-induced changes in erosion during the 21st century for eight U.S. locations. **Water Resources Research**, v. 38, n. 12, 2002b.

PRUSKI, F.F., NEARING, M.A. Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: a computer simulation study. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, n. 1, p. 7 – 16, 2002a.

RANIERI, S. B. L. **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP**. Piracicaba, 2000, 95 p. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RENARD, K. G.; FERREIRA, V. A. RUSLE model description and database sensitivity. **Journal Environment quality**, v. 22, p. 458-466, 1993.

SANTOS, L. N. S. **Avaliação do Hidrobacia Aplicado em Microbacia Hidrográfica sob Ocupação Conservacionista no Espírito Santo**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2010.

SAVABI, M. R., WILLIAMS, J. R. Water balance and percolation. In: USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Lafayette: : USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap. 5, p. 5.1 – 5.14. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

SIQUEIRA, J. D. P.; LISBOA, R. S.; FERREIRA, A. M.; SOUZA, M. F. R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M. M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Edição especial, nov/2004, p. 3-67.

SMITH, R.E.; GOODRICH, D.C.; QUINTON, J.N. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the KINEROS 2 and EUROSEM models. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.50, n.5, p.517-520, 1995.

STONE, J. L., LANE, L. J., SHIRLEY, E. D., HERNANDEZ, M. Hillslope surface hydrology. In: USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West Lafayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Cap.4, p.4.1 - 4.20 (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

SWCS (Soil and Water Conservation Society). **Conservation implications of climate change**: soil erosion and runoff from cropland. A Report from the Soil and Water Conservation Society. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 24 p., 2003. <Disponível em:

http://www.swcs.org/documents/filelibrary/advocacy_publications_before_2005/Climate_changefinal_112904154622.pdf> (Acessado em 17 de junho de 2010).

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

WALKER, S.E., MITCHELL, M.C., HIRSCHI, M.C., JOHNSEN, K.E. Sensitivity analysis of the root zone water quality model. **Transactions of the ASAE**. v.43, n.4, p.841-846, 2000.

WEHAB (Water, Energy, Helth, Agricultural and Biodiversity). **A Framework for Action on Agriculture**. Grupo de Trabalho da ONU. Johannesburgo, durante a Cúpula Mundial do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <http://www.un.org/jsummit/html/documents/summit_docs/wehab_papers/wehab_agriculture.pdf > (Acessado em 17 de junho de 2010).

WILLIAMS, J.R. Sediment yield predictin with universal equatin using runoff energy factor. In: USDA-ARS (ed.). **Present and prospective technology for prediction sediment yields and sources**, Washington, Handbook S-40, 1975. p.244-252.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosin losses – a guide to conservation planning**. Washington, DC., USDA, 1978, 58p. (Handbook, 537).

WMO (World Meteorological Organization). **WMO statement on the status of the global climate in 2001**.WMO: Geneva, Switzerland, 2001. <Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/statement/documents/wmo940e.pdf>> (Acesso em 17 de junho de 2010).

Correções

Não pode ter dois ou mais Co-orientadores;

Os su-ítem do conteúdo deve ser alinhado à esquerda

Que Alexandre está na Comissão Examinadora?

A figura deve ser centralizada na página

O título de figuras quando menor do que a largura da página, deve ser centralizado e a 1 espaço simples da borda inferior da figura; quando igual ou maior, deve ser justificado às margens e a segunda frase alinhada à primeira letra do título. Deve estar a 1 espaço simples da borda inferior da figura.

Todos os títulos de tabelas e figuras devem estar no espaçamento simples e deixar um espaço entre o título e o objeto.

Tabela 10 : Colocar numa só página. Casos impossíveis, dividir e no final da página anterior deve constar Continua... e no início, canto esquerdo da página seguinte deve constar Tabela 10, Continuação.

Assim:

Tabela 10 - Perda de solo e escoamento superficial atual, sob diferentes *time-slices* e cenários de alterações climáticas por encosta, da microbacia do córrego Jaqueira

Encosta	Área	Escoamento superficial	Perda de solo
	ha	mm ano ⁻¹	t ha ⁻¹ ano ⁻¹
Atual			
Encosta 1	5,1	12,5	10,7
Encosta 2	6,5	39,2	0,4
Encosta 3	11,0	79,7	30,6
Média	22,6	52,9	17,5
2020 A2			
Encosta 1	5,1	13,2	11,7
Encosta 2	6,5	43,5	0,5

Continua...

Tabela 10, Continuação.

Encosta 3	11,0	82,1	33,7
Média	22,6	55,3	19,3