

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção
Agrícola Familiar



Dissertação

**Otimização da alocação de áreas florestadas visando a
conservação do solo e da água em propriedades familiares**

Daiane Hellnvig Zarnott

Pelotas, 2012

Daiane Hellnvig Zarnott

**Otimização da alocação de áreas florestadas visando a
conservação do solo e da água em propriedades familiares**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Timm - UFPel

Coorientadores: Prof. Dr. Vitor Emanuel Quevedo Tavares -
UFPel

Pesquisador Dr. José Maria Filippini Alba -
Embrapa Clima Temperado

Pelotas, 2012

Banca examinadora

Prof. Dr. Luís Carlos Timm

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig

Prof. Dr. Fioravante Jaekel dos Santos

Dedico:

À minha mãe Ilga, meu pai Donaldo (*in memoriam*), minha irmã Lisiane, meus avós
Wonny, Ione e Amando e ao meu noivo Rafael.

Tudo neste mundo tem o seu tempo; cada coisa tem sua ocasião. Ec. 3. 1

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos que já me concedeu.

Aos Professores Drs. Luís Carlos Timm e Vitor Emanuel Quevedo Tavares, pela orientação e coorientação do trabalho.

Ao Pesquisador Dr. José Maria Filippini Alba pela coorientação, amizade e simplicidade durante os anos que se passaram.

À minha mãe, irmã e avós por estarem sempre ao meu lado, torcendo por mim.

Ao meu noivo Rafael pelo incentivo, paciência e amor.

À Universidade Federal de Pelotas, através do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

À Embrapa Clima Temperado pelo uso da infraestrutura na condução dos trabalhos.

Ao professor Marcelo Peske Hartwig pela ajuda, apoio e conselhos.

Ao professore Fioravente Jaekel dos Santos pela grande colaboração na condução dos trabalhos.

Ao professor Samuel Beskow pelo auxílio.

À CAPES, pelo suporte através da concessão de bolsa para a execução deste projeto.

Ao Laboratório de Planejamento ambiental da Embrapa Clima Temperado, e aos seus bolsistas e estagiários: Luciana, Lúcia, Mauro, Henrique, Lucas e Guilherme.

À analista Fábria Amorim e ao pesquisador Ênio Sozinski da Embrapa Clima Temperado, pelos conselhos e sugestões.

Aos ex-colegas de laboratório Henrique e João por todo apoio e amizade durante os anos de convivência.

As colegas de PPG Talita, Manoela, Marta e Viviane pela ajuda, parceria e amizade.

Aos bolsistas Bernardo Noremberg e Guilherme Bartels pela ajuda na execução dos trabalhos.

A todos os que de alguma forma me incentivaram e torceram por mim.

Obrigada!

RESUMO

ZARNOTT, D. H. **Otimização da alocação de áreas florestadas visando a conservação do solo e da água em propriedades familiares.** 2012, 61f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

A crescente preocupação com os problemas ambientais vêm se tornando cada vez mais presentes no cotidiano da população mundial. O uso intensivo dos solos principalmente pela agricultura e a exploração dos recursos hídricos para os mais diversos fins, tem gerado impactos ambientais, que resultam em perdas econômicas para a sociedade. No meio rural, muitos desses impactos estão relacionados com produção e transporte de sedimentos, mostrando a importância de se identificar as principais áreas de ocorrências desses processos nas bacias hidrográficas. A utilização de ferramentas para a predição de perdas de solo é de grande valor para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma região. O presente trabalho teve como objetivos identificar as áreas com maior potencial de perdas de solo em uma bacia hidrográfica rural, com predominante ocorrência de propriedades com produção de base familiar, elaborar um mapa de produção de sedimentos e simular a alocação de cobertura florestal (preferencialmente mata nativa), visando reduzir os potenciais de perdas de solo, por meio de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. O trabalho foi conduzido na bacia de contribuição da Estação de Tratamento de Água Sinnott (Pelotas, RS), que possui uma área de, aproximadamente, 69.600 hectares. Para identificar os locais com maiores potenciais de perdas de solo foi aplicada a MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada), considerando o cenário de uso atual do solo. Posteriormente foram realizadas duas simulações, considerando diferentes cenários de cobertura florestal: simulação 1, com áreas florestadas cobrindo 30 metros ao redor dos cursos d'água; e, simulação 2, com áreas florestadas cobrindo terrenos com declividades superiores a 20%. Os resultados obtidos indicam que os maiores potenciais de perdas de solo ocorreram onde se encontravam as áreas com maior ação antrópica e com maiores declividades. Quando simulados os cenários relativos às áreas florestadas, a simulação 2 foi a que apresentou maior redução dos potenciais de perdas de solo, indicando que a proteção contra erosão hídrica na bacia estudada apresentaria melhores resultados quando as áreas florestadas fossem alocadas em regiões com maiores declividades. A utilização do modelo MUSLE, de simulação de perdas de solo, em conjunto com ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, se mostrou viável para a delimitação das áreas com maior risco de erosão.

Palavras-chave: Perdas de solo. Meio ambiente. MUSLE.

ABSTRACT

ZARNOTT, D. H. **Optimizing the allocation of forested areas to promote the conservation of soil and water on family farms.** 2012, 61f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

A growing concern over environmental problems is becoming increasingly present in everyday population. The intensive use of land mainly for agriculture and the exploitation of water resources for various purposes, are producing environmental impacts which result in economic losses to society. In rural areas, many of these impacts are related to production and transportation of sediments, showing the importance of identifying the main areas of occurrence of these processes in watersheds. The use of tools for the prediction of soil loss is of great value for planning and management of water resources in a region. This study aimed to identify the areas with the greatest potential for soil loss in a rural watershed with predominant occurrence of properties with family-based production, draw a map of sediment yield and simulate the allocation of forest cover (preferably native forest), to reduce the soil loss potential through geoprocessing tools and remote sensing. The work was conducted in the watershed of the Sinnott Water Treatment Plant (Pelotas, Brazil), which has an area of approximately 69,600 hectares. To identify locations with higher soil loss potential it was applied the MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation), considering the scenario of current soil use. Afterward two simulations were performed, considering different scenarios of forest cover: simulation 1, with forested areas covering 30 meters surrounding the watercourses, and simulation 2, with forested areas covering land with slopes greater than 20%. The results indicate that the greatest soil loss potential occurred where there were areas with higher human action and higher slopes. For the simulated scenarios relating to forested areas, the simulation 2 showed the greatest reduction of soil loss potential, indicating that protection against water erosion in the study area would present better results when forested areas were allocated to regions with higher slopes. The use of the MUSLE model, together with GIS tools and remote sensing for the simulation of soil loss, has proved to be feasible for the delimitation of areas with high erosion risk.

Key-words: Soil loss. Environment. MUSLE

Lista de Figuras

Figura 1	Localização da área de estudo.....	24
Figura 2	Mapa de solos da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	26
Figura 3	Mapa da rede hidrográfica da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	27
Figura 4	Fluxograma representando as etapas para a estimativa das perdas de solo pela aplicação da MUSLE.....	34
Figura 5	Mapa de declividade (%) da área da bacia de captação da ETA Sinnott (Pelotas-RS).....	37
Figura 6	Ilustração do tipo de uso do solo classificado como de “uso misto” em uma propriedade familiar localizada dentro da área de contribuição da ETA Sinnott.....	38
Figura 7	Ilustração do tipo de uso do solo classificado como de “uso misto” em uma propriedade familiar localizada dentro da área de captação da ETA Sinnott.....	39
Figura 8	Ilustração dos tipos de usos do solo classificados como de “Campo” (A) e “Mata” (B) localizados dentro da área de contribuição da ETA Sinnott.....	39
Figura 9	Classificação do uso atual do solo (Cenário 1) na área da bacia de captação da ETA Sinnott (Pelotas-RS).....	40
Figura 10	Mapa ilustrando o Cenário 2 em que é simulada a preservação da APP em toda a extensão dos cursos d’água da rede hidrográfica da área de contribuição da ETA Sinnott.....	41
Figura 11	Mapa ilustrando o Cenário 3 em que é simulada a presença de áreas florestadas nas áreas com declividades superiores a 20% na bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	42
Figura 12	Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para as condições de uso atual do solo, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	44
Figura 13	Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 2, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	46
Figura 14	Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 3, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	48
Figura 15	Mapa fator LS para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	58

Figura 16	Mapa fator K para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	59
Figura 17	Mapa fator C para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	60
Figura 18	Mapa fator P para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	61

Lista de Tabelas

Tabela 1	Valores de CN em função do uso do solo e do seu grupo hidrológico.....	31
Tabela 2	Valores do fator K para os tipos de solos encontrados na bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	33
Tabela 3	Valores fator P em função das práticas conservacionistas do solo encontrados na bacia da ETA Sinnot.....	33
Tabela 4	Valores fator C em função do uso do solo e da cobertura vegetal identificadas na bacia de captação da ETA Sinno.....	33
Tabela 5	Classes de relevo e respectivas faixas de declividades na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.....	36
Tabela 6	Tipos de usos do solo e respectivas áreas ocupadas na bacia de contribuição da estação de tratamento de água Sinnott (Pelotas-RS).....	38

Sumário

1. Introdução	14
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo Geral.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. Hipótese	17
4. Revisão de Literatura	18
4.1 Erosão e produção de sedimentos	18
4.2 Bacia hidrográfica como área de estudo.....	20
4.3 Geoprocessamento e sensoriamento remoto	20
4.4 A agricultura familiar e a preservação do meio ambiente	21
4.5 Modelos matemáticos direcionados para o gerenciamento de recursos naturais	22
5. Metodologia.....	24
5.1 Dados relacionados à área de estudo	24
5.1.1 Localização	24
5.1.2 Precipitação	25
5.1.3 Solos	25
5.1.4 Rede Hidrográfica	27
5.2 Georreferenciamento	28
5.3 Geração de planos de informação (PI)	28
5.4 Delimitação de Áreas de Preservação Permanente	29
5.5 Estimativa dos potenciais de perdas de solo	29
5.6 Determinação do aporte de sedimentos	33
5.7 Geração de cenários de simulação	34
6. Resultados e Discussão	36
6.1 Mapa de declividades	36
6.2 Classificação uso atual do solo e cobertura vegetal	38
6.3 Cenários das Simulações	41
6.3.1 Cenário 2.....	41
6.3.2 Cenário 3.....	42

6.4 Estimativas das perdas de solo aplicando o modelo MUSLE	43
6.4.1 Cenário 1.....	43
6.4.2 Cenário 2.....	45
6.4.3 Cenário 3.....	47
7. Conclusões.....	49
8. Considerações Finais.....	50
9. Referências	51
10. Apêndices.....	57

1. Introdução

O uso intensivo dos solos, principalmente para agricultura, aliado à crescente exploração dos recursos hídricos, para os mais diversos fins, tem gerado impactos ambientais, que resultam em perdas econômicas para a sociedade. No meio rural, muitos desses impactos estão relacionados com a produção e transporte de sedimentos, processo relacionado à erosão dos solos, ressaltando a importância de se identificar as principais áreas de ocorrências desses processos nas bacias hidrográficas.

Os problemas ambientais surgiram no mundo a partir do uso e apropriação dos recursos naturais pelo homem. Com a necessidade de utilizar esses recursos pra subsistência e evolução das sociedades, os impactos no ambiente foram intensificados.

Durante a Revolução Industrial, século XIX, iniciou-se um modelo socioeconômico, vigente na atualidade, no qual a natureza deve ser transformada para gerar lucro direto e imediato, de maneira a suprir as necessidades humanas. Neste sistema de valores, a importância da natureza como componente essencial para a vida, seus serviços e benefícios não são cogitados (FAVERO; NUCCI; BIASI, 2004).

A agricultura, embora sendo uma atividade responsável pela produção de alimentos para a humanidade, é muitas vezes a causadora da degradação do ambiente rural, pois o manejo impróprio do solo e o uso inadequado de agroquímicos nos cultivos ocasionam diversos impactos, como a perda e a contaminação dos solos e dos cursos d'água.

Dentre os fatores ligados à degradação ambiental em áreas rurais, estão as mudanças de uso da terra, sem o devido planejamento e acima da capacidade de suporte do solo. Tais alterações são também as principais responsáveis pelo aumento dos processos erosivos verificados nas áreas agrícolas e urbanas (OLIVEIRA et al., 2007).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) salientam que a erosão do solo constitui a principal causa da degradação acelerada das terras. Bueno e Stein (2004) menciona que os processos naturais, em conjunto com o desequilíbrio estabelecido pela ação do homem, determinam a intensidade dos processos erosivos.

Para o controle da erosão, a quantificação da perda de solo pelo processo de erosão é de grande valia não apenas para a identificação de áreas críticas, mas também para o planejamento conservacionista regional (SILVA, 2004).

O aporte de sedimentos é consequência de processos erosivos e o aumento na sua produção tem sido um dos problemas encontrados nas bacias hidrográficas, afetando a qualidade da água, devido ao aumento da turbidez e da carga de agrotóxicos. A distribuição temporal da disponibilidade quantitativa de água também tem sido afetada, pois o assoreamento resultante reduz a capacidade de armazenamento dos corpos hídricos.

Dentre os modelos MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada), prevê o aporte de sedimentos de pequenas e médias bacias hidrográficas, sendo este o fator que o diferencia da Equação Universal de Perda de Solo (WILLIAMS, 1975). Neste sentido VALLE JUNIOR (2008) menciona que os modelos matemáticos de predição de erosão podem ser utilizados para o planejamento agrícola.

Uma das estratégias do atual Código Florestal Brasileiro, Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, para normatizar o uso, preservação e conservação das florestas e outras formas de vegetação, são as Áreas de Preservação Permanente (APPs), definidas como: “Área coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 1965)”.

A cobertura vegetal tem influência direta no processo de erosão, na circulação e qualidade das águas e na proteção de mananciais. Desta forma o regime hídrico é afetado pela dinâmica e manejo da vegetação (ALMEIDA, 2007).

Com a preservação das matas ciliares pode-se controlar a erosão nas margens dos cursos d'água, evitando o assoreamento dos mananciais; minimizar os efeitos de enchentes; manter a quantidade e a qualidade das águas; filtrar os possíveis resíduos de produtos químicos, como agrotóxicos e fertilizantes; assim como, auxiliar na proteção da fauna local (AVELINO, 2007).

As florestas são consideradas de grande importância ambiental principalmente pelo fato de protegerem os recursos hídricos, interceptando a precipitação, reduzindo o risco de erosão e aumentando a capacidade de infiltração da água no solo. Alguns pesquisadores afirmam que a floresta nativa, entre os ecossistemas vegetais, atua no ciclo hidrológico de maneira mais significativa, pois proporciona melhores condições de infiltração da água da chuva (OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

As preocupações atuais com relação à agricultura brasileira, evidenciada em crises econômicas, sociais ou ambientais, demonstram uma insustentabilidade dos modelos existentes e a necessidade de se repensar a construção de alternativas. A agricultura familiar traz consigo, a visão sobre preservação dos recursos naturais numa perspectiva, não da próxima colheita, mas da próxima ou das próximas gerações, além da versatilidade para manejar os recursos agrícolas disponíveis (SANTOS, 2006).

Verona (2008, p. 37) relata a importância da agricultura familiar na preservação do meio ambiente:

A agricultura familiar apresenta papel fundamental quando abordado o assunto sustentabilidade, destacando-se como produtora de alimentos para a sociedade, como prestadora de serviços ambientais e estreitamente relacionada a situações sociais e econômicas dos países.

A caracterização e espacialização dos riscos à erosão dos solos, devido à ação hídrica na sua superfície, podem ser conduzidas por meio de tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (GOODCHILD; HAINING; WISE, 1992).

O presente trabalho teve como objetivos identificar as áreas com maior potencial de perdas de solo em uma bacia hidrográfica rural, com predominante ocorrência de propriedades com sistema de produção de base familiar, elaborar um mapa de produção de sedimentos e simular alterações na alocação de cobertura florestal (preferencialmente mata nativa), visando estimar os efeitos destas alterações sobre os potenciais de perdas de solo.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi identificar as áreas com maior potencial de perdas de solos verificando assim os locais mais apropriados para a alocação de cobertura florestal buscando a conservação do solo e água em propriedades familiares de uma bacia hidrográfica rural.

2.2 Objetivos Específicos

- Delimitação da vegetação nativa existente;
- Delimitação dos corpos hídricos existentes;
- Mapear as APPs;
- Identificar os locais com maior fragilidade em termos de potencial de perdas de solo;
- Simular o efeito de duas alternativas de coberturas florestais nas estimativas de perdas de solo.

3. Hipótese

A associação de ferramentas de geoprocessamento e de equações de perdas de solo podem ser uma ferramenta útil no planejamento conservacionista da propriedade rural.

4. Revisão de Literatura

4.1 Erosão e produção de sedimentos

A erosão constitui-se de um conjunto de processos no qual o material terroso ou rochoso é desgastado, desagregado e/ou removido de algum lugar da superfície da Terra, conseqüentemente, alterando-a lenta e continuamente (HARTWIG, 2009). A erosão provoca diversos impactos ambientais que atingem a população urbana e rural, tais como: perda da biodiversidade, comprometimento da qualidade da água, redução da produtividade agrícola, assoreamento de rios, redução da capacidade de drenagem, inundações, entre outros (MATA et al., 2007)

Dentre as várias formas de erosão existentes na natureza, a que merece maior importância e estudo é a provocada pela ação da água das chuvas, denominada erosão hídrica, que ocorre nas bacias hidrográficas, diminuindo a capacidade produtiva do solo em função da produção e movimentação de sedimentos nestas bacias (BRANCO, 1998).

O solo perdido por erosão hídrica é geralmente o mais fértil, contendo os nutrientes para as plantas, húmus e algum fertilizante que o agricultor tenha aplicado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

A erosão causa, quase sempre, uma série de problemas ambientais, em nível local ou em grandes áreas. Por exemplo, o material que é erodido de uma bacia hidrográfica pode causar o assoreamento dos rios e reservatórios. Além disso, as partículas transportadas pela água, em uma área agrícola, podem estar impregnadas de defensivos agrícolas e contaminar as águas dos corpos hídricos (GUERRA; CUNHA, 2001).

De acordo com Reis e Miorin (2006) existe o consenso de que o esgotamento do solo é um dos principais condicionantes que induziu a descapitalização das unidades de produção no contexto agrícola. Isto ocorreu devido ao uso intensivo e incorreto de tecnologias de manejo do solo, acarretando a compactação e/ou acelerando o processo de erosão do solo, diminuindo a

produtividade e prejudicando os ecossistemas, além de afetar negativamente as condições financeiras dos agricultores.

Em um estudo sobre indicadores de qualidade do solo, Casalinho et al. (2011) verificaram que a erosão foi um dos indicadores de qualidade do solo mais citados por agricultores de fumo orgânico, produtores de arroz, produtores agroecologistas e por produtores de milho e gado leiteiro. Segundo os agricultores familiares este indicador é de fácil visualização, pois ocorre a exposição da camada subsuperficial do solo, que era caracterizada pelo alto teor de argila e pela coloração amarelada ou pela exposição da rocha, o que dificultava as atividades agrícolas.

O conhecimento da produção de sedimentos em bacias hidrográficas é extremamente importante no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Tais informações são fundamentais no dimensionamento e operação de obras hidráulicas, interferindo decisivamente nos custos de implantação e manutenção de tais sistemas (BELLINASSO; PAIVA, 2007).

Hartwig (2009) cita que os fatores que podem influenciar a porcentagem de sedimentos transportados desde a origem até um lugar específico são a natureza do solo, a cobertura vegetal ou tipo de cultura de exploração, declividade do terreno, clima (intensidade, duração e frequência da chuva e temperatura), tipo de prática conservacionista, granulometria, textura e quantidade de material com potencial à erosão.

Segundo Branco (1998), os sedimentos ocasionam a diminuição da capacidade de armazenamento de reservatórios e açudes, provocando entupimentos em canais de irrigação e drenagem e assoreamento de canais de navegação, favorecendo a poluição física e química da água, prejudicando a sua qualidade para o consumo humano, uso industrial e agrícola, aumentando os custos para seu tratamento e causando danos à vida aquática. O autor ainda destaca que a deposição desses sedimentos na calha dos rios eleva seu leito trazendo por consequência a elevação dos níveis d'água.

A determinação ou a quantificação de sedimentos transportados nas bacias hidrográficas é uma das formas de acompanhamento de sua evolução voltada ao monitoramento de sua degradação, para a adoção de técnicas que favoreçam a contenção dessa degradação, sem causar perturbações ao meio (HARTWIG, 2009).

4.2 Bacia hidrográfica como área de estudo

A bacia hidrográfica corresponde a uma determinada área da superfície terrestre, na qual, seus limites são criados pelo próprio escoamento das águas sobre a superfície, ao longo do tempo. Isso significa que a bacia é o resultado da interação da água e de outros recursos naturais. Desta forma, o estudo das características físicas da bacia hidrográfica pode fornecer dados importantes para a prevenção e avaliação de riscos ambientais em determinadas porções do território (HARTWIG, 2009).

Do ponto de vista qualitativo, a proteção dos solos e dos recursos hídricos depende fundamentalmente de medidas disciplinadoras do uso do solo na bacia. A qualidade final da água no rio reflete necessariamente as atividades que são desenvolvidas em toda a bacia, e com cada um dos usos do seu espaço físico produzindo um efeito específico e característico (VALLE JUNIOR, 2008).

As bacias hidrográficas são sistemas dinâmicos e vulneráveis, que podem sofrer transformações especialmente quando expostas ao impacto humano, porque o sistema como um todo precisa se adaptar às transformações ocorridas (SIMMS; WOODROFFE; JONES, 2003).

A bacia hidrográfica é considerada como a unidade física ideal para a gestão dos recursos naturais, para o planejamento da produção agrícola e de agroindústrias e, ainda, para o planejamento da recuperação de áreas degradadas. A bacia hidrográfica é a unidade básica de conservação de solo e água e é onde pode ser percebido o resultado do equilíbrio, ou do desequilíbrio, na interação entre seus recursos naturais. (ROCHA; SILVA, 2005).

A atividade humana em uma bacia hidrográfica pode interferir para o aumento de sedimentos na calha fluvial, fazendo com que os cursos d'água percam profundidade e, em compensação, alarguem o canal pela erosão das margens. Sendo assim, a erosão é o principal fator de perdas de solo de uma bacia hidrográfica (MEGIATO, 2011).

4.3 Geoprocessamento e sensoriamento remoto

As geotecnologias são um conjunto de procedimentos, aplicativos e equipamentos que envolvem sistemas de posicionamento global (GPS), banco de dados, sistemas de informação geográfica (SIG) e sensoriamento remoto. (FILIPPINI ALBA; BERNY; COSTA., 2009).

O sensoriamento remoto trata de medições à distância, sem contato físico entre o alvo e o sensor, envolvendo o estudo da interação da radiação eletromagnética com os objetos terrestres, enquanto que o geoprocessamento pode ser definido como o processamento e modelagem de dados geográficos (FILIPPINI ALBA; BERNY; COSTA, 2009).

A análise do uso e cobertura do solo, por meio de dados de sensoriamento remoto, é importante para o planejamento e o gerenciamento da ocupação ordenada e racional do meio físico, além de permitir avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação natural. Neste sentido, o sensoriamento remoto é uma ferramenta de grande valia para auxiliar o homem na caracterização do meio físico, biótico e de espaços submetidos a ações antrópicas (RODRIGUES, 2000).

Uma importante ferramenta para o planejamento ambiental é considerada a tecnologia SIG (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006). Hartwig (2009) destaca que um dos maiores benefícios de se trabalhar com um SIG é a possibilidade de realizar análises espaciais para se obter informações através da utilização de modelos, para a representação da realidade.

Desta maneira tecnologias de sensoriamento remoto e SIG podem ser aplicadas para a caracterização e espacialização dos riscos à erosão dos solos, devido à ação hídrica de superfície (GOODCHILD; HAINING; WISE, 1992).

Num país como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um grande potencial, principalmente se estiver baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CÂMARA, DAVIS, MONTEIRO, 2001).

4.4 A agricultura familiar e a preservação do meio ambiente

Considera-se agricultor familiar aquele que pratica atividades no meio rural e que utiliza predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento, dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006).

Na agricultura familiar, os agricultores são os responsáveis pela terra, vivem em suas propriedades rurais e se esforçam para preservar o meio ambiente para as

próximas gerações. Desta forma, eles são mais propensos a usar técnicas agrícolas sustentáveis para proteger os recursos naturais e a saúde humana.

A agricultura familiar é reconhecidamente de extrema importância no Brasil, pelo número de estabelecimentos, por sua participação na economia e pelo modelo diferenciado de alta qualidade da produção agrícola (VERONA, 2008).

De acordo com o Censo Agropecuário 2006, a agricultura familiar, apesar de cultivar uma área menor com lavouras e pastagens, é responsável por boa parte da segurança alimentar do País e importante fornecedora de alimentos para o mercado interno (IBGE, 2006).

Neste censo, as propriedades familiares representavam 84,4% dos estabelecimentos brasileiros. Os agricultores familiares ocupavam uma área de 80,2 milhões de hectares, ou seja, 24,3% da área que era ocupada pelos estabelecimentos agropecuários brasileiros.

Em um relatório sobre o desenvolvimento mundial, o World Bank (2008), ressalta que a agricultura contribui para o desenvolvimento como atividade econômica de subsistência e ainda, como provedora de serviços ambientais, tornando o setor um instrumento para o desenvolvimento.

4.5 Modelos matemáticos direcionados para o gerenciamento de recursos naturais

A necessidade de um planejamento adequado do uso do solo e dos recursos hídricos tem sido fator estimulante no desenvolvimento de modelos matemáticos que reproduzam o comportamento de rios ou bacias hidrográficas (BRANCO, 1998).

Os modelos são desenvolvidos para descrever alguma característica ou evento do mundo real, por exemplo, a erosão e transporte de sedimentos, baseados na perda de solo durante os processos hídricos ocorrentes na superfície do solo, em função dos fatores climáticos da região (HARTWIG, 2009).

No desenvolvimento de estratégias para uso e manejo dos recursos naturais, tem-se na modelagem da erosão como uma importante ferramenta de planejamento objetivando a conservação do meio ambiente. Seu custo é relativamente baixo, apresentando grande versatilidade para a simulação de diversos cenários de uso e manejo do solo (CRUZ, 2003).

Dentre os modelos matemáticos, Silva e Santos (2008) destacam os hidrossedimentológicos, que vêm sendo incorporadas ao Sistema de Informações

Geográficas (SIG), para representar espacialmente os resultados da modelagem, especialmente na produção de mapas temáticos e para auxiliar as análises espaciais, por meio da integração de dados pontuais, mapas e imagens orbitais ajudando, assim, no processo de análise geoespacial. Porém, todo modelo por mais complexo que seja, é uma simplificação, uma simulação da realidade, devendo, portanto, ser aplicado dentro das condições e limites estabelecidos para seu uso racional (BRANCO, 1998).

A utilização de modelos de simulação de perdas de solo acopladas em um SIG é de grande valia para o planejamento agrícola e ambiental de uma bacia, pois possibilita delimitar as áreas com maior risco de erosão e, portanto, mais suscetíveis à degradação do solo. A partir da identificação dessas áreas, é possível planejar a implantação de práticas de conservação e manejo do solo, para que essas sejam mais eficientes no controle da erosão hídrica (MINELLA; MERTEN, 2012).

5. Metodologia

5.1 Dados relacionados à área de estudo

5.1.1 Localização

O Arroio Pelotas deságua no Canal de São Gonçalo, a 4 quilômetros do porto de Pelotas, sendo que a capacidade de recalque de água é de 36 milhões de litros diários (SANEP, 2012). As águas do Arroio Pelotas e de seu afluente Arroio Quilombo vão para a Estação de Tratamento de Água Sinnott, a qual abastece alguns bairros da cidade de Pelotas, RS. A bacia de contribuição dessa estação de tratamento encontra-se na porção superior da bacia do Arroio Pelotas, à montante da Estação Pluviométrica da Agencia Nacional de águas (ANA), com área de aproximadamente 69.600 hectares e foi definida como área de pesquisa (Fig. 1). Esta bacia possui porções de sua área nos municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Arroio do Padre e se encontra a cerca de 12 km do centro da cidade de Pelotas.

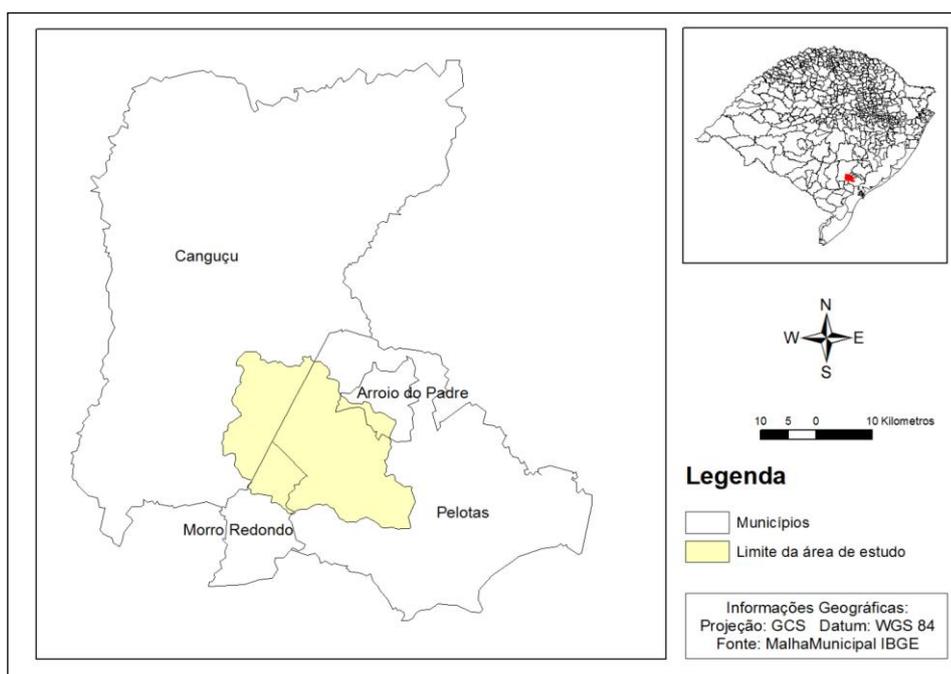


Figura 1 - Localização da área de estudo.

5.1.2 Precipitação

Foram utilizados dados de precipitação de uma série histórica de 10 anos, provenientes de uma Estação Fluviométrica (Código 88850000), que é de responsabilidade da Agência Nacional de águas (ANA, 2011) e atualmente é operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Para o cálculo da intensidade máxima de precipitação se utilizou um evento de 30 minutos e com tempo de recorrência de 5 anos, seguindo trabalhos de Hartwig (2009), Barreto Neto, Zamprogno e Reis (2009).

Foi utilizada a distribuição de Gumbel (TUCCI, 1993), para a realização dos cálculos. A precipitação encontrada foi 173,61mm de chuva.

5.1.3 Solos

Segundo a classificação de Flores, Filippini Alba e Wrege (2009), os tipos de solos encontrados na bacia de contribuição da ETA Sinnott, são Argissolos, Cambissolos, Gleissolos, Neossolos e Planossolos.

Com a base de dados e o limite da área pesquisada construiu-se o mapa de solos da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

Os Argissolos são predominantes na área de estudo (Fig. 2), estes são solos constituídos por material mineral, apresentando, imediatamente abaixo do horizonte A, um horizonte B textural ou E (EMBRAPA, 2006). Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, marcados pela presença de minerais herdados do material de origem. Os Gleissolos são solos hidromórficos constituídos de materiais minerais, sendo mal drenados. Os Neossolos são solos rasos, que são muito susceptíveis à erosão. Os Planossolos são solos que variam de moderadamente profundos a profundos, com textura variando de argilosa a muito argilosa. (GENOVEZ; SATORI; LOMBARDI NETO, 2005).

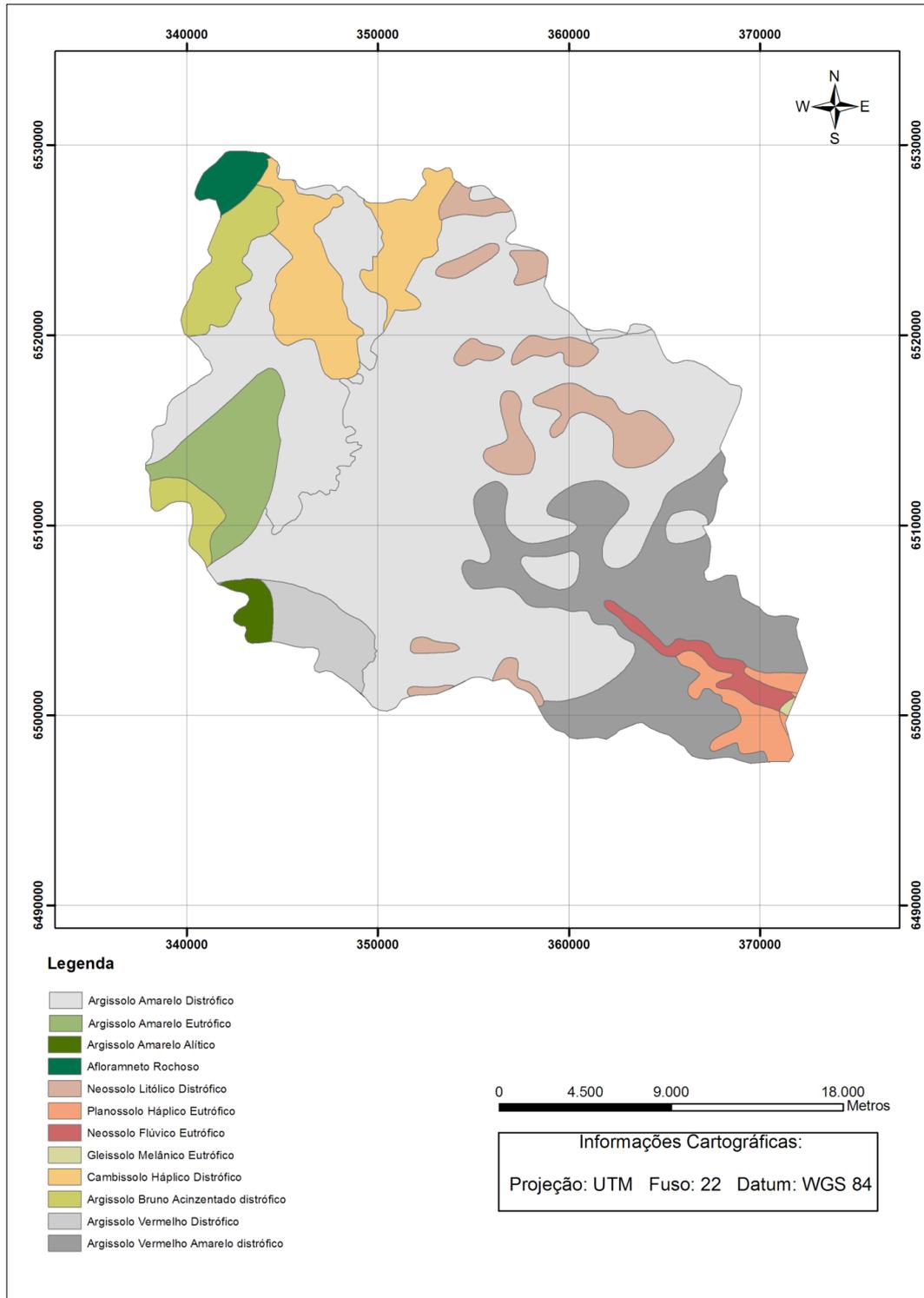


Figura 2 - Mapa de solos da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

5.1.4 Rede Hidrográfica

Através da base cartográfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010), foi gerado o mapa da rede hidrográfica da área de estudo já delimitada (Fig. 3).

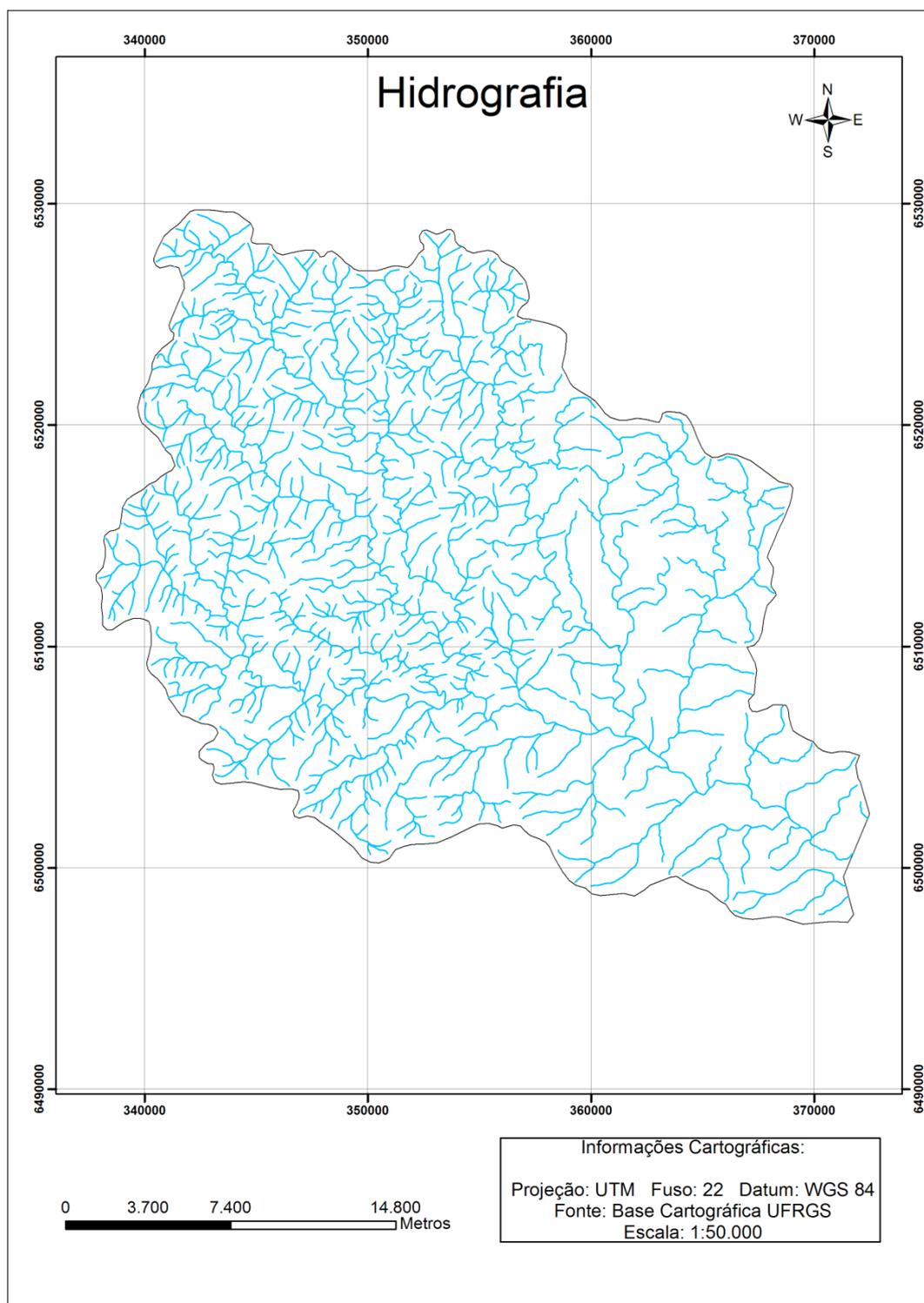


Figura 3 - Mapa da rede hidrográfica da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

5.2 Georreferenciamento

Foi utilizada uma imagem orbital do satélite Landsat 5, captada em 5 de maio de 2011, com pixel de 30 metros (INPE, 2011).

A imagem foi retificada a partir das cartas topográficas da base cartográfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010), e georreferenciada com base no sistema de coordenadas UTM (Universal Mercator Transvector), fuso 22s, datum WGS 84.

O processo de georreferenciamento foi realizado por meio do programa ERDAS IMAGINE (LEICA, 2003), identificando os pontos de fácil visualização nas cartas topográficas e na imagem utilizada, atribuindo-lhes assim a mesma coordenada geográfica.

5.3 Geração de planos de informação (PI)

Foram construídos vários planos de informação (PIs) da área em estudo considerando a delimitação da bacia do Arroio Pelotas (MEGIATO et al., 2007). Estes procedimentos foram realizados por meio do software ArcGis 9.3 (ESRI, 2008).

O PI Rede Hidrográfica foi extraído da hidrografia da base cartográfica digital contínua da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (HASENACK; WEBER, 2010), por meio da função clip (ESRI, 2008).

A declividade foi construída a partir de dados do Modelo Numérico do Terreno da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), NASA/U.S. (MIRANDA, 2005) e posteriormente processados pelo software Spring 5.1.

O PI do uso e ocupação do solo foi gerado a partir da classificação supervisionada da imagem de satélite, selecionando alvos de interesse, e dividindo as classes em: campo, mata nativa, uso misto, água e arenização de maneira semelhante com trabalhos anteriores (FILIPPINI ALBA; SCHRODER; NÓBREGA, 2012).

O mapa de solos foi elaborado através da classificação de Flores, Filippini e Wrege (2009). A partir do PI do limite da área e com a base de dados de solos, por meio da função clip (ESRI, 2008), obteve-se a delimitação dos solos presentes na área de estudo.

5.4 Delimitação de Áreas de Preservação Permanente

O código Florestal estabelece que são consideradas áreas de preservação permanente (Apps), as florestas e demais formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja de 30m para os cursos de d'água de menos de 10m de largura; 50m para cursos d'água que tenham entre 10 e 50m de largura; 100m para os cursos d'água entre 50 a 200m de largura; 200m para os cursos d'água que tenham entre 200 a 500m de largura; 500m para os cursos d'água com largura superior a 600m. (BRASIL, 1965).

Desta forma, foi criado um Plano de Informação das APPs, sendo consideradas a menor largura dos cursos d'água, ou seja, APPs de 30m. Desta forma, criou-se um buffer de trinta metros em redor dos cursos hídricos, que posteriormente foi usado na simulação de cenários para a aplicação da MUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Modificada).

5.5 Estimativa dos potenciais de perdas de solo

Para estimar as potenciais perdas de solo, foi aplicado o modelo MUSLE, que utiliza informações referentes ao tipo de uso do solo, propriedades do solo, escoamento superficial, dentre outras.

O modelo MUSLE é descrito pela seguinte equação (Williams, 1975):

$$Y = 89,6 \times (Q \times qp)^{0,56} \times K \times C \times LS \times P \quad (1)$$

em que:

Y é o aporte de sedimento em um determinado exutório de uma bacia, após um evento de precipitação (Mg);

Q é o volume de escoamento superficial total (m³);

qp é a vazão de pico do hidrograma resultante (m³/s);

K é o fator relativo a erodibilidade do solo (Mg.h/Mj.mm);

C é o fator relativo ao uso e manejo das culturas;

LS é o fator topográfico (declividade e comprimento das vertentes);

P é o fator relativo às práticas conservacionistas do solo.

O escoamento superficial foi calculado através da seguinte equação determinada pixel a pixel (SCS, 1986):

$$Q = \frac{(I-2S)^2}{(I+0,8S)} \quad (2)$$

Em que:

Q é o volume de escoamento superficial (mm);

I é o volume da precipitação (mm);

S é a diferença potencial máxima entre a precipitação e o escoamento, a partir do início da precipitação.

A equação 2 é válida $P > 0,2S$. Quando $P < 0,2S$, $Q=0$. O parâmetro S da bacia é relacionado com um fator denominado Curva Número (CN), através da equação (TUCCI, 1993):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

O fator CN, reflete as condições de cobertura vegetal e solo, variando desde cobertura muito impermeável (limite inferior) até uma cobertura completamente permeável (limite superior). Para a determinação do CN o método proposto pelo SCS (1986) divide os solos em quatro grupos hidrológicos (SARTORI, 2004):

Grupo A: compreende os solos com baixo potencial de escoamento, contendo alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados. É constituído principalmente de areias ou cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados.

Grupo B: compreende os solos contendo taxa de infiltração moderada quando completamente molhados, consistindo principalmente de solos

moderadamente profundos a profundos, moderadamente a bem drenados, com textura moderadamente fina a moderadamente grossa.

Grupo C: compreende os solos com baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, principalmente com camadas que dificultam o movimento da água através das camadas superiores para as inferiores, ou com textura moderadamente fina e taxa de infiltração baixa.

Grupo D: compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com potencial de expansão alto. Pertencem a este grupo, solos com uma grande permanência do lençol freático, solos com argila dura ou camadas de argila próxima da superfície e solos expansivos agindo como materiais impermeabilizantes próximos da superfície.

Tabela 1. Valores de CN em função do uso do solo e do seu grupo hidrológico

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Campos Permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas de baixa transpiração	45	66	77	83
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Florestas	Muito esparsas de baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: TUCCI, 1993.

A Vazão de Pico foi calculada por meio da equação (AQUINO et al., 2008):

$$qp = 0,0028 \times A \times \frac{Q}{T_c} \quad (4)$$

Em que:

q_p é a vazão de pico do hidrograma resultante (m^3/s);

A é a área de cada pixel (ha);

V é o volume de escoamento superficial (mm);

T_c é o tempo de concentração em cada pixel (horas).

O cálculo do tempo de concentração foi calculado pela seguinte equação proposta pelo SCS-USDA (1990):

$$T_c = L^{0,8} \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{4407 + (Sg)^{0,5}} \right] \quad (5)$$

T_c é o tempo de concentração em cada pixel (horas);

L é o comprimento da diagonal do pixel (m);

CN é a curva número por pixel (adimensional);

Sg é a declividade de cada pixel (m/m)

O fator L ou comprimento da encosta, e o Fator S ou fator declividade, foram calculados de acordo com a equação:

$$LS = \left(\frac{L \times 25}{22,1} \right)^m \times (0,065 + 0,0454 \times S + 0,0065 \times S^2) \quad (6)$$

Onde:

L é o comprimento do declive (m);

m é o expoente do comprimento do declive (adimensional);

S é a declividade.

O expoente m foi obtido da seguinte forma (WISCHMEIER; SMITH, 1978):

Para $S < 1\%$, $m = 0,2$;

Para $1\% \leq S \leq 3\%$, $m = 0,3$;

Para $3\% < S \leq 5\%$, $m = 0,4$;

Para $S > 5\%$, $m = 0,5$.

Os mapas dos fatores C, P e K, foram elaborados em função do uso e cobertura do solo e a partir do tipo de solo e sua característica física e química, de acordo com trabalhos já concluídos de Ruhoff et al. (2006); Bertoni e Lombardi Neto, (1990) e Lino (2010), respectivamente.

Tabela 2 - Valores do fator K para os tipos de solos encontrados na bacia de contribuição da ETA Sinnott

Solos	Fator K
Argissolos	0,41
Cambissolos	0,40
Gleissolos	0,37
Neossolos	0,33
Planossolos	0,39

Fonte: LINO, 2010.

Tabela 3 - Valores fator P em função das práticas conservacionistas do solo encontrados na bacia da ETA Sinnott

Fator práticas conservacionistas	Valor P
Plantio morro abaixo	1
Plantio em contorno	0,5
Alternância de campinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990.

Tabela 4 - Valores fator C em função do uso do solo e da cobertura vegetal identificadas na bacia de captação da ETA Sinnott

Fator uso e cobertura da Terra	Valor de C
Florestas	0,01
Campos	0,26
Agricultura	0,29
Solos Expostos	0,404

Fonte: RUHOFF et al., 2006.

5.6 Determinação do aporte de sedimentos

A MUSLE foi calculada pixel a pixel para a estimativa do aporte de sedimentos na bacia de contribuição da ETA Sinnott. A partir disto, foi elaborado um

mapa do potencial de perdas de solo para a bacia. O fluxograma abaixo representa todas as etapas envolvidas na estimativa do potencial de perdas de solo.

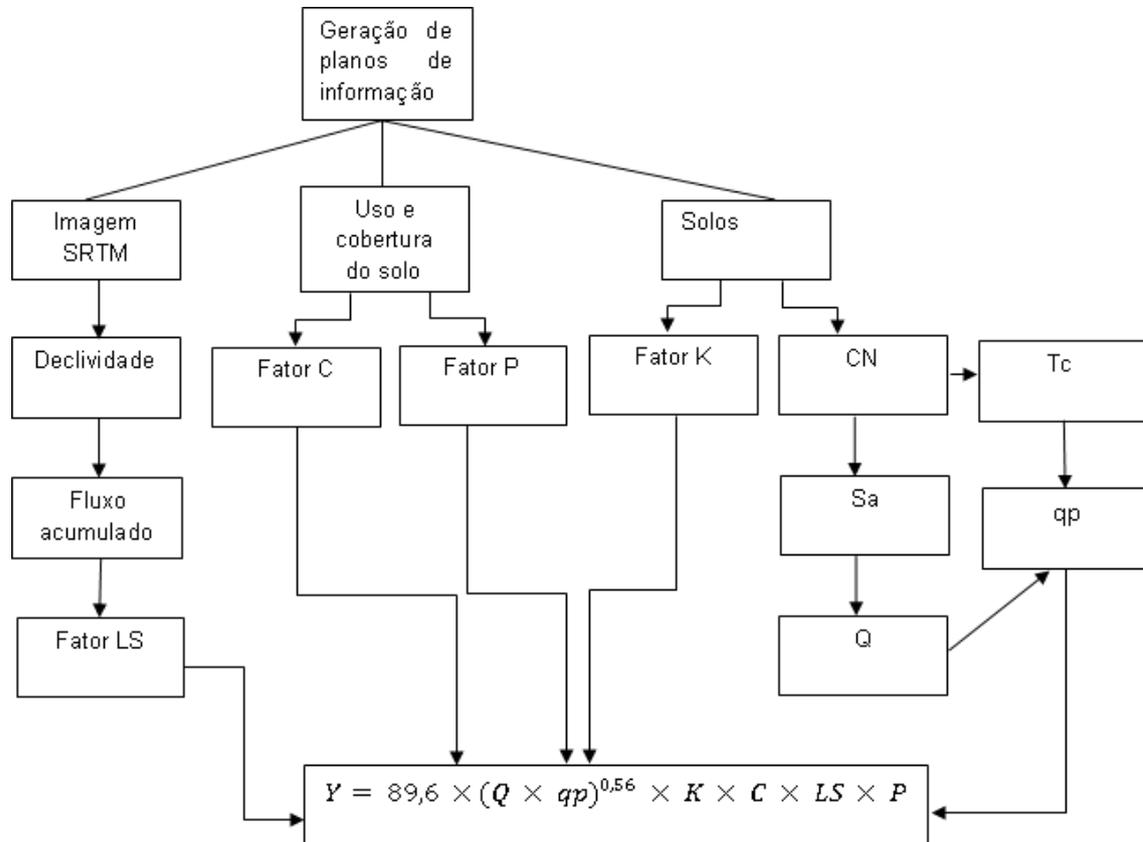


Figura 4 - Fluxograma representando as etapas para a estimativa das perdas de solo pela aplicação da MUSLE.

5.7 Geração de cenários de simulação

Para uma melhor visualização e comparação de cenários com áreas florestadas foram realizadas duas simulações. Desta forma tornou-se possível constatar se as áreas florestadas acarretam ou não a variação de perdas de solo em uma bacia hidrográfica. As duas simulações foram realizadas no intuito de verificar a influencia que as áreas florestadas têm no aporte de sedimentos em uma dada região, e assim identificar as áreas prioritárias para a conservação dos recursos naturais.

No primeiro cenário foram avaliadas as condições atuais de uso do solo em que se encontrava o local de estudo, para isso foram visitadas 10 propriedades familiares em que com ajuda de um receptor GPS (Sistema de Posicionamento

Global), foram identificados os usos da terra nas propriedades. Posteriormente essas informações foram sobrepostas a imagem classificada.

No segundo cenário, e primeira simulação foi delimitada a APP de 30m ao redor dos cursos d'água. Conforme consta no Código Florestal cursos d'água até 10m de largura devem apresentar uma faixa de mata ciliar de 30m no seu entorno.

No terceiro cenário e segunda simulação foi feita a delimitação de áreas florestadas nos locais que possuem declividades superiores a 20%.

6. Resultados e Discussão

6.1 Mapa de declividades

Verifica-se que a área da bacia de captação da ETA Sinnott apresenta valores de declividades variando, principalmente, de 0 a 20% (tab. 5 e Fig. 5), faixas essas enquadradas nas seguintes classes de relevo, de acordo com SANTOS (2006): plano (declividades de 0% - 3%), suave ondulado (declividades de 3% - 8%) e ondulado (declividades de 8% - 20%). Este mapa se assemelha ao levantamento realizado por Megiato (2011) na Bacia do Arroio Pelotas.

O mapa de declividades permite avaliar os riscos de erosão, o potencial de uso dos solos para agricultura e para a mecanização agrícola. Megiato (2011) e Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que a declividade exerce acentuada influência sobre a erosão.

Tabela 5 - Classes de relevo e respectivas faixas de declividades na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott (Pelotas-RS)

Classes de relevo	Faixas de declividades (%)
Plano	0 - 3
Suave ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	>45

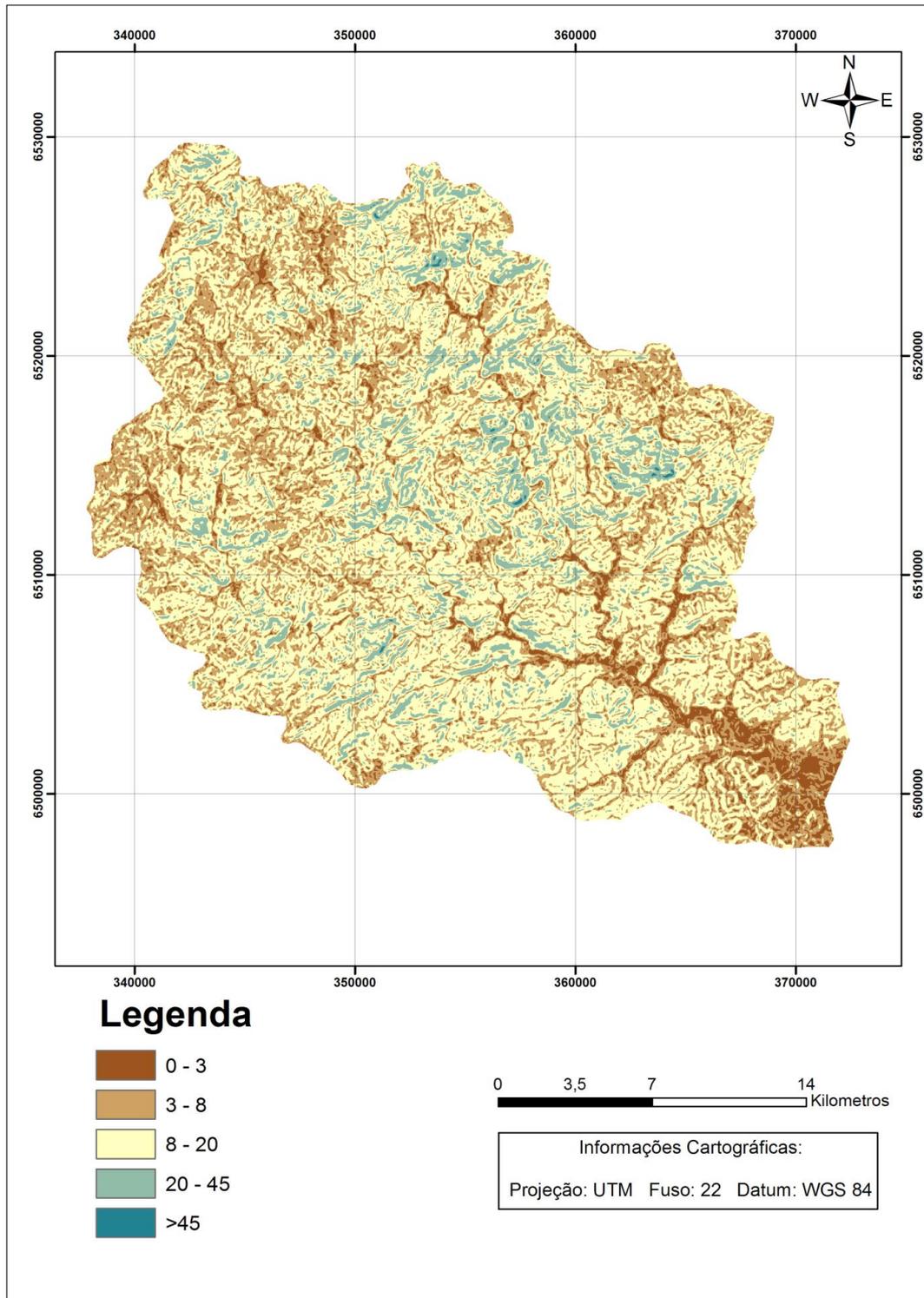


Figura 5 - Mapa de declividade (%) da área da bacia de captação da ETA Sinnott (Pelotas-RS).

6.2 Classificação uso atual do solo e cobertura vegetal

A maior parte da área da bacia de contribuição da ETA Sinnott é classificada como de uso misto em que predominam as atividades ligadas a agricultura e a pecuária, representando 34,8% da área total (tab. 6). Não foi realizado um maior detalhamento dessas atividades devido às dificuldades de diferenciação desses tipos de usos na escala adotada neste trabalho. Neste tipo de uso do solo se enquadram as áreas com pecuária, pastagens, plantações de fumo, milho (Fig. 6), pomares de fruticultura, plantio de hortaliças tais como morango (Fig. 7), atividades predominantes na agricultura familiar de subsistência na região estudada. Além disso, também estão incluídas neste tipo de uso as áreas em pousio, que englobam as áreas que estavam sendo preparadas para o plantio ou descanso.

Tabela 6 - Tipos de usos do solo e respectivas áreas ocupadas na bacia de contribuição da estação de tratamento de água Sinnott (Pelotas-RS)

Tipos de usos do solo	Área ocupada (ha)	%
Uso misto - agricultura e pecuária	24.247, 15	34,8
Campo	15.591, 24	22,3
Arenização	74, 15	0,1
Mata	29.711, 64	42,6
Água (corpos hídricos)	36, 87	0,05



Figura 6 – Ilustração do tipo de uso do solo classificado como de “uso misto” em uma propriedade familiar localizada dentro da área de contribuição da ETA Sinnott.



Figura 7 – Ilustração do tipo de uso do solo classificado como de “uso misto” em uma propriedade familiar localizada dentro da área de captação da ETA Sinnott.

Dentro do tipo de uso classificado como “Campo” (Fig. 8A) estão enquadradas as áreas nativas utilizadas pelos animais (vacas, cavalos, dentre outros). O tipo de uso “Arenização” se refere às áreas com assoreamento (MEGIATO, 2011), enquanto que, no tipo “Mata” são enquadradas as áreas de Mata Nativa e de reflorestamento (Fig. 8B).



A



B

Figura 8 - Ilustração dos tipos de usos do solo classificados como de “Campo” (A) e “Mata” (B) localizados dentro da área de contribuição da ETA Sinnott.

O mapa de uso atual do solo (Cenário 1), elaborado a partir da classificação supervisionada da imagem Landsat, é apresentado na Fig. 9. Este mapa serviu de base para a elaboração dos mapas dos fatores (ver Apêndices A, B e C) envolvidos nas estimativas de perdas de solo pelo modelo MUSLE.

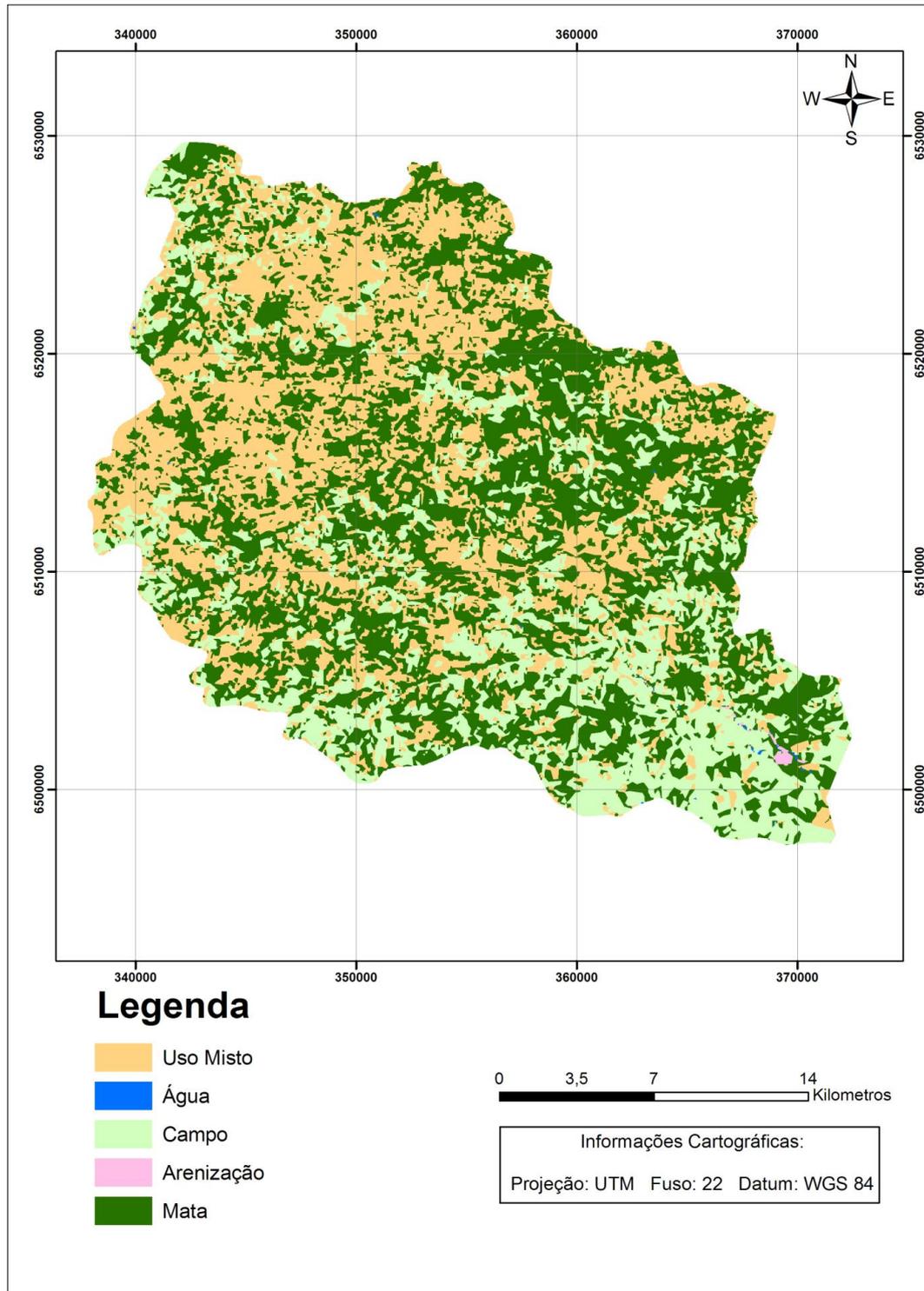


Figura 9 - Classificação do uso atual do solo (Cenário 1) na área da bacia de captação da ETA Sinnott (Pelotas-RS).

Fonte: INPE, 2011

6.3 Cenários das Simulações

A seguir são apresentados os resultados provenientes da elaboração dos Cenários 2 e 3 das simulações 1 e 2, respectivamente.

6.3.1 Cenário 2

A partir do Cenário 1 (Fig. 9) e da delimitação das APPs foi elaborado o Cenário 2 (Fig. 10) em que é simulada a preservação da APP em toda a extensão dos cursos d'água da rede hidrográfica da área de contribuição da ETA Sinnott (Fig. 3).

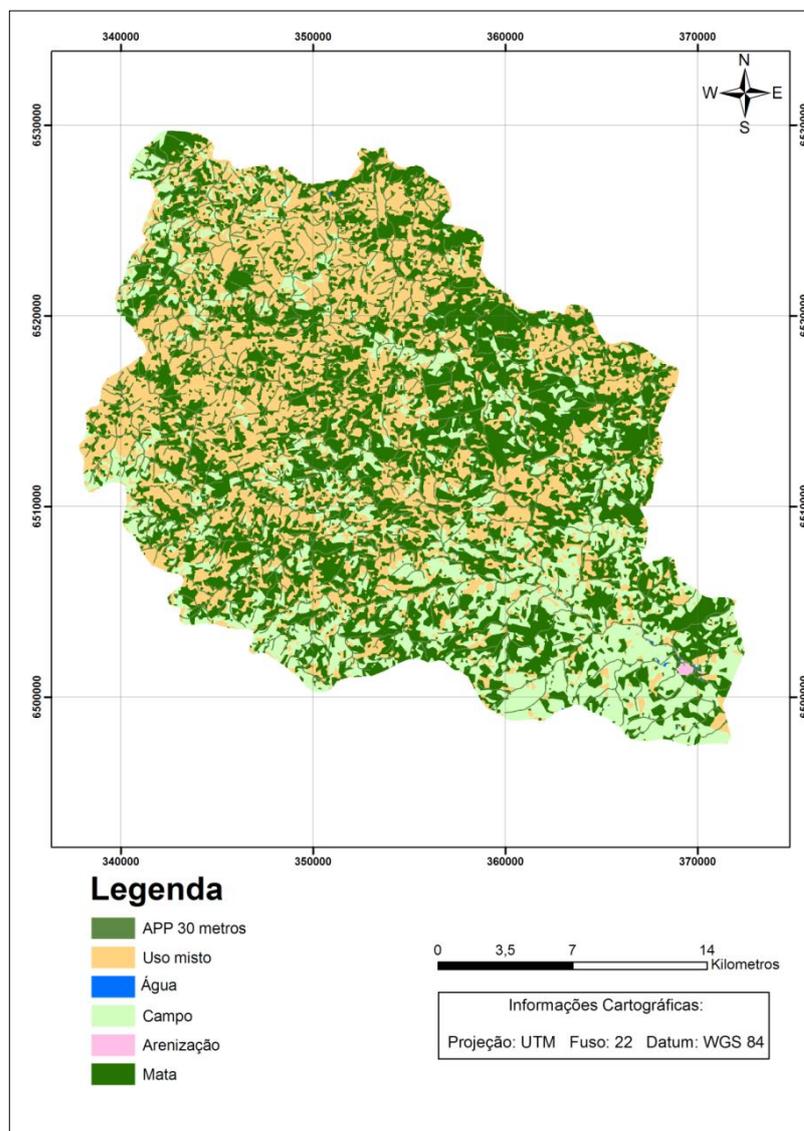


Figura 10 – Mapa ilustrando o Cenário 2 em que é simulada a preservação da APP em toda a extensão dos cursos d'água da rede hidrográfica da área de contribuição da ETA Sinnott.

6.3.2 Cenário 3

A partir do Cenário 1 (Fig. 9) e do mapa de declividades da área (Fig. 5) foi elaborado o Cenário 3 (Fig. 11) em que é simulada a presença de áreas florestadas nas áreas com declividades superiores a 20% na bacia de contribuição da ETA Sinnott.

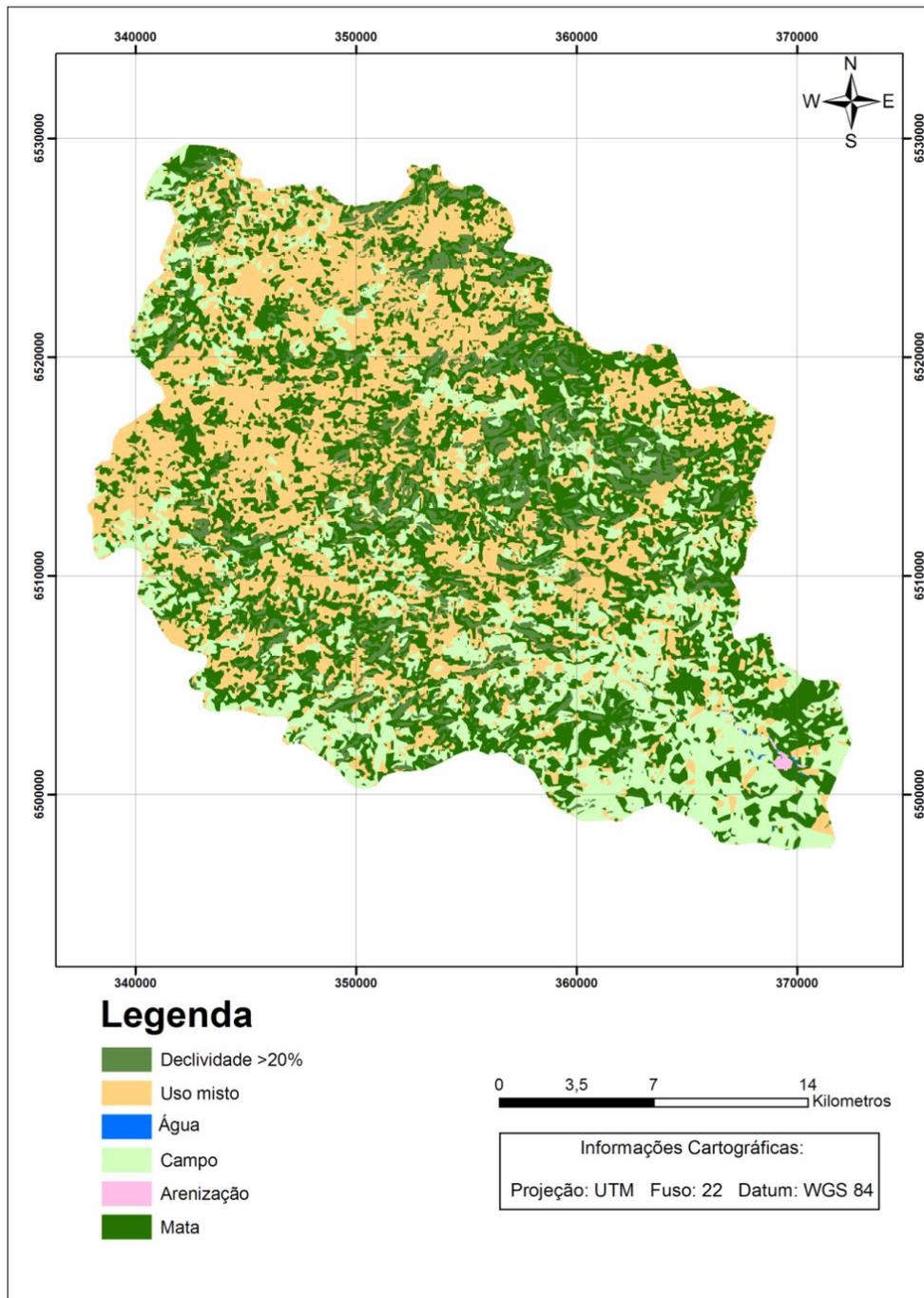


Figura 11 – Mapa ilustrando o Cenário 3 em que é simulada a presença de áreas florestadas nas áreas com declividades superiores a 20% na bacia de contribuição da ETA Sinnott.

6.4 Estimativas das perdas de solo aplicando o modelo MUSLE

A seguir são apresentadas as estimativas das perdas de solo aplicando o modelo MUSLE para os 3 cenários avaliados.

6.4.1 Cenário 1

A Fig. 12 apresenta as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para as condições de uso atual do solo (Fig. 9), na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott. Analisando a figura pode ser constatado que as maiores taxas de produção de sedimentos se dão nas maiores declividades (Fig. 5) e nas áreas nas quais o tipo de uso foi classificado como “Uso misto” (Fig. 9). Bertol et al. (2012) relatam que a erosão é fortemente dependente do tipo de uso do solo e que os solos quando submetidos ao uso adequado são mais facilmente conserváveis. Hartwig (2009), aplicando o modelo MUSLE na microbacia do Ribeirão Martins (Piracicaba, SP), constatou que, dentre os fatores desse modelo, o fator topográfico LS foi o que mais influenciou nas estimativas das perdas de solo nessa microbacia. Dentro dos limites da área da bacia de contribuição da ETA Sinnott, as áreas onde ocorreram as maiores estimativas das perdas de solo são áreas onde predominam os solos classificados como Argissolos, Cambissolos e Neossolos (Fig. 2). Estes resultados corroboram com os de MEGIATO (2011) que, em seu trabalho sobre fragilidade ambiental na bacia do Arroio Pelotas (Pelotas-RS), constatou que as áreas mais frágeis foram aquelas com maiores declividades e caracterizadas por extensões de solos frágeis em relação aos processos erosivos. A autora ainda verificou que os solos do tipo Neossolos Litólicos, possuem fragilidade ambiental muito forte em relação aos processos erosivos.

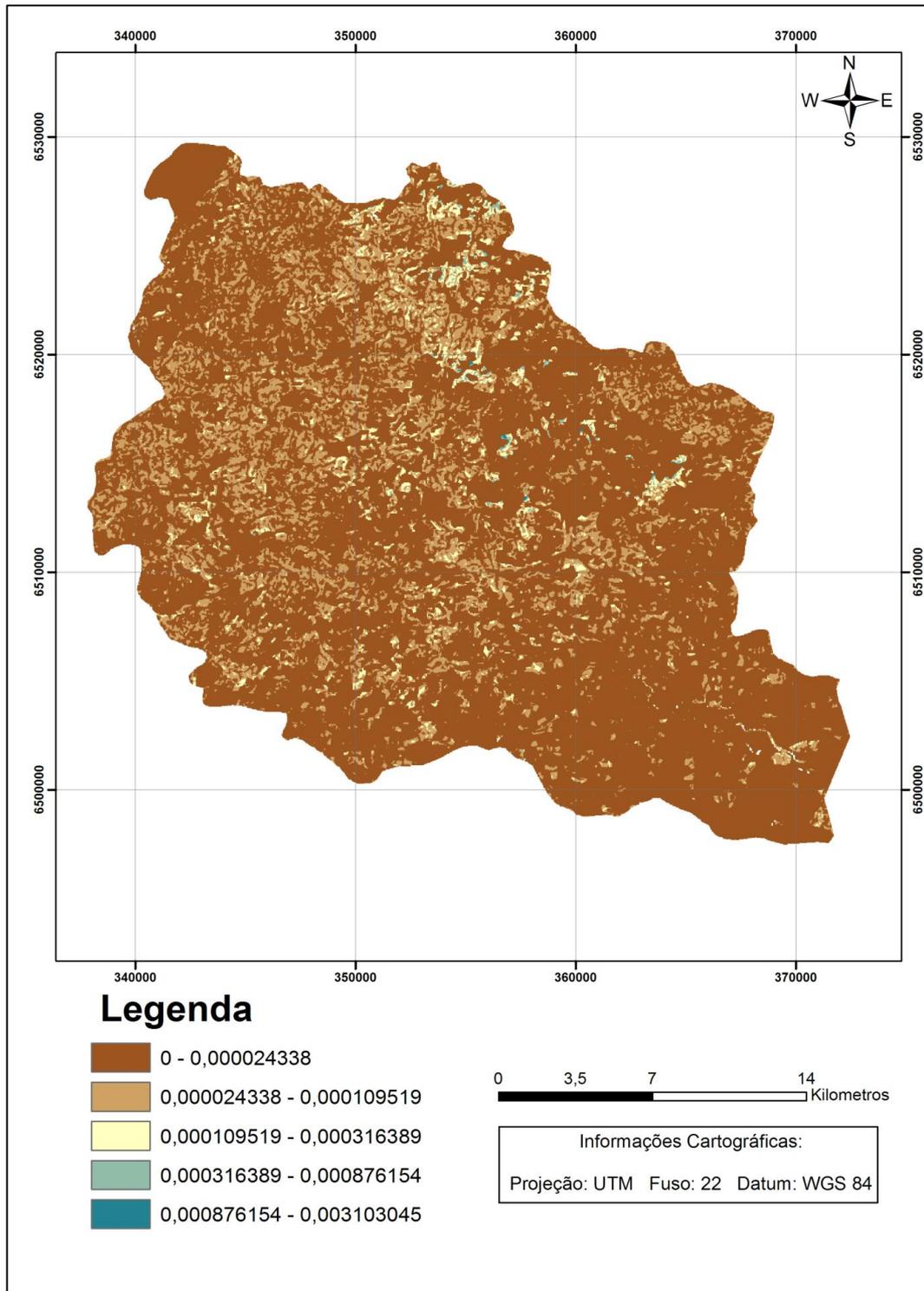


Figura 12 – Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para as condições de uso atual do solo, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

6.4.2 Cenário 2

As faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 2 (Fig. 10), na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott, são apresentadas na Fig. 13. A partir dessa figura é possível verificar que ocorreu uma diminuição nas estimativas das perdas de solo quando foi simulada a preservação da APP em toda a extensão dos cursos d'água da rede hidrográfica da área da bacia de contribuição da ETA Sinnott, resultado este esperado. Conforme pode ser visto na Fig. 12, as maiores estimativas das perdas de solo na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott não se encontram ao longo da extensão dos cursos d'água, desta forma, houve pequena variação nas estimativas das perdas de solo em relação à bacia como um todo. Weill e Sparovek (2008) realizaram um estudo sobre as estimativas de perdas de solo por erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) aplicando o modelo USLE, concluindo que em áreas com usos menos intensivos, como reflorestamento e vegetação ciliar, as taxas de perdas de solo foram baixas. Realizando simulações com matas ciliares no entorno dos cursos d'água da microbacia do Ribeirão Martins (Piracicaba, SP), Machado, Vettorazzi e Xavier (2003) constataram uma diminuição no aporte de sedimentos em relação ao cenário de uso atual do solo naquela microbacia. Os autores mencionaram, desta forma, que a mata ciliar estava agindo como uma barreira de proteção aos sedimentos, reduzindo a velocidade de escoamento e, conseqüentemente, agindo como um filtro retendo parte dos sedimentos.

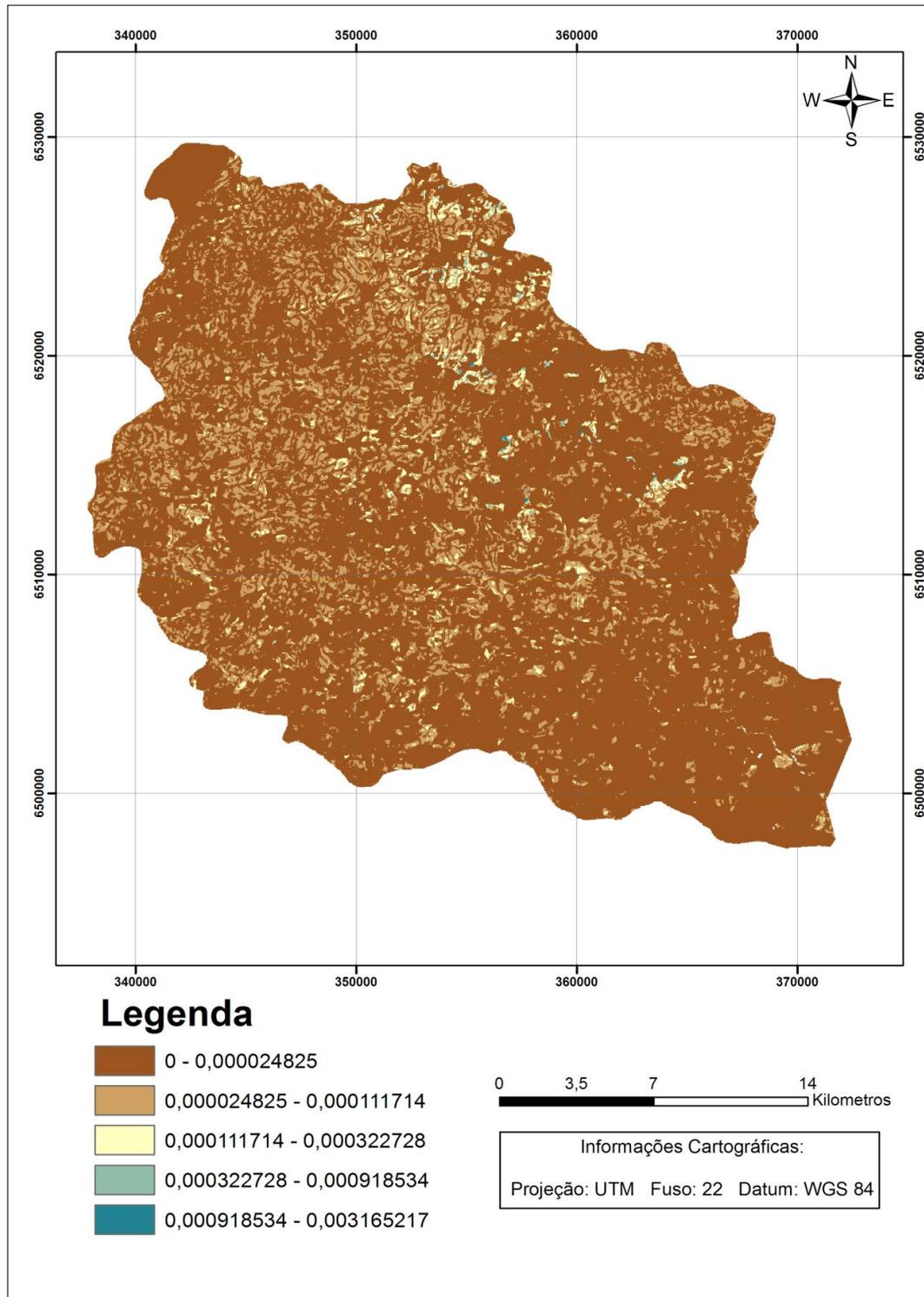


Figura 13 – Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 2, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

6.4.3 Cenário 3

As faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 3 (Fig. 11) são mostradas na Fig. 14, na qual pode ser notado que ocorreu uma diminuição nas estimativas de perdas de solo, aplicando o modelo MUSLE, em relação aos Cenários 1 (Fig. 9) e 2 (Fig. 10). Alcântara e Souza (2010) estimaram a produção de sedimentos na zona costeira da Bahia, aplicando o modelo MUSLE, e concluíram que nas áreas com maiores declividades ocorreram as maiores velocidades do escoamento superficial da água, aumentando assim a possibilidade de ocorrer a desagregação do solo pela precipitação. Nas áreas com menores declividades e com a presença de vegetação exuberante ocorreu um aumento da infiltração da água no solo e, conseqüentemente, a diminuição do escoamento superficial, ocasionando menores estimativas da perda de solo. Machado, Vettorazzi e Xavier (2003) realizaram duas simulações de cenários de usos da terra na microbacia do Ribeirão Martins (Piracicaba, SP), sendo uma delas ao redor dos cursos d'água e suas nascentes e a outra em áreas de maior declividade. Os autores constataram que a segunda simulação (áreas com maior declividade) foi a mais impactante e que o tipo de cobertura do solo que passou a prevalecer nas áreas íngremes foi o de vegetação nativa, que atua não somente como barreira aos sedimentos, mas ao mesmo tempo, como áreas de baixíssimo nível de produção de sedimentos.

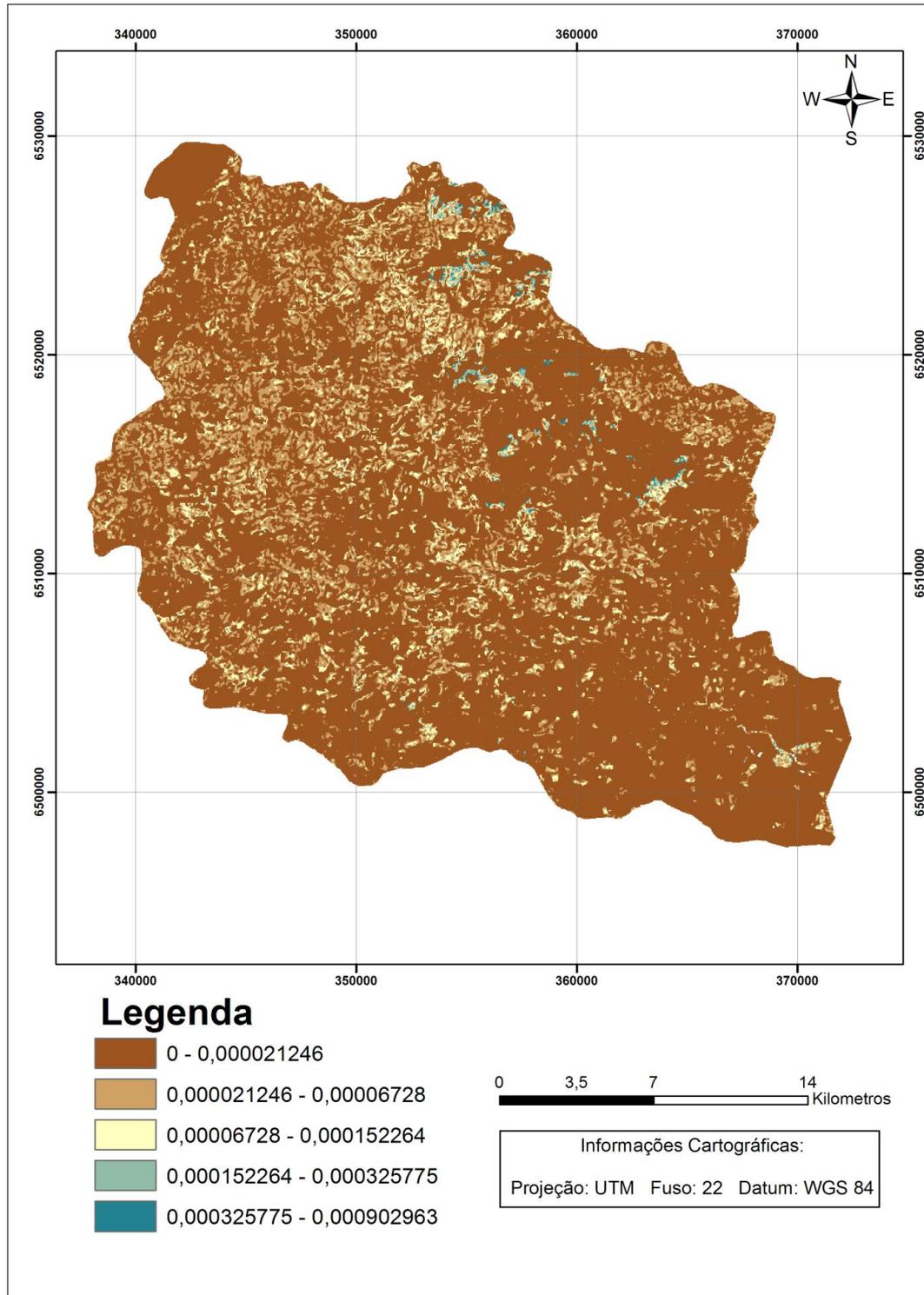


Figura 14 – Mapa ilustrando as faixas de valores das perdas de solo estimadas pela aplicação do modelo MUSLE para o Cenário 3, na área da bacia de contribuição da ETA Sinnott.

7. Conclusões

A associação de ferramentas de geoprocessamento e do modelo MUSLE é uma ferramenta útil para a delimitação das áreas com maior risco de perdas de solo.

As maiores estimativas de perdas de solo pelo modelo MUSLE são encontradas no tipo de uso de solo classificado de “Uso misto” na área da bacia de captação da Estação de Tratamento de Água Sinnott (Pelotas, RS).

As menores estimativas de perdas de solo pelo modelo MUSLE na área da bacia de captação da Estação de Tratamento de Água Sinnott são encontradas no cenário em que as áreas florestadas foram alocadas em áreas com declividades superiores a 20%.

O mapeamento das áreas com maiores potenciais de perdas de solo permite a identificação e delimitação das áreas prioritárias buscando a conservação dos recursos naturais na propriedade agrícola.

8. Considerações Finais

Com os resultados da pesquisa, sugere-se que as áreas com maiores estimativas de perdas de solo sejam consideradas como prioritárias para o desenvolvimento de ações visando a adoção de práticas conservacionistas adequadas nas propriedades agrícolas.

A simples quantificação das perdas de solo para um agricultor pode não ser suficiente para que o mesmo se aproprie do significado desta perda. É necessário desenvolver ações de sensibilização, que resultem na percepção da importância de um melhor manejo de suas áreas.

A conservação ambiental é responsabilidade da sociedade, de maneira que as ações humanas devem ser orientadas frente às características do meio que as suportam.

Sugere-se uma continuidade nos trabalhos de aplicação e validação do modelo MUSLE de forma a permitir futuras recomendações de uso e manejo do solo na bacia.

9. Referências

ALCÂNTARA, E. H.; SOUZA, A. Produção de sedimentos na zona costeira da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.2, n.62, p.199 - 205, 2010.

ALMEIDA, A. Q. **Influencia do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martnis, ES.**2007. 93f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo.Vitória.

ANA. Sistema de Informações Hidrológicas – **Hidroweb** 2011. Disponível em: <http://hidroweb,ana.gov.br/>. Acesso em: 12 nov. 2012.

AQUINO, D. N.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; OLIVEIRA, A. D. S. Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. **Revista Tecnologia**, v.29, n.1, p.37 - 45, 2008.

AVELINO, P. H. M. Análise ambiental com uso de geotecnologias da bacia Hidrográfica do rio Cabaçal - MT – Brasil (1984 a 2005). **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros - Seção Três Lagoas**, v.1, n.6, p.5 - 29, 2007.

BARRETO, A. A.; ZAMPROGNO, D. P. REIS, J. A. T. Modelagem espacial da erosão utilizando sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Doce, porção do Espírito Santo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais do...** Natal: INPE, 2009. p. 7663-7367.

BELLINASSO, T. B.; PAIVA, J. B. D. Avaliação da Produção de Sedimentos em Eventos Chuvosos em uma Pequena Bacia Hidrográfica Semi-Urbana de Encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.4, p.169 - 181, 2007.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T.; MIQUELLUTI, D. J.; OLIVEIRA, L. C.; RECH, T. D.; MOREIRA, M. A. **Manejo e conservação do solo e da água: Retrospectiva, Constatção e Projeção.** UDESC, 2012. 30p. (Boletim Técnico do CAV-UDESC).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta.** 1998. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BRASIL. Decreto Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro e dá outras providências. **Diário Oficial da União** DOU de 16 de setembro de 1965. Brasília DF, 1965.

BRASIL. **Lei 11326 de 4 de julho de 2006**. Estabelece as diretrizes para a formulação da política nacional da agricultura familiar e empreendimentos familiares rurais. Diário oficial da União, 24 de julho de 2006. Brasília DF, 2006.

BUENO, C. P.; STEIN, D. P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, estado de São Paulo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 1, p. 1 - 5, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José do Campos: INPE, 2001.

CASALINHO, H. D.; LIMA, A. C. R. D.; AUDEH, S. J. S.; SUZUKI, L. E. A. S.; CARDOSO, I. M. **Monitoramento da qualidade do solo em agroecossistemas de base familiar- a percepção do agricultor**. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2011.

CRUZ, J. B. C. D. **Avaliação operacional da Revisão da Equação Universal de Perda de Solo (REUPS) para o LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico de Ponta Grossa, PR**. 2003. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)- Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte a decisão em SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.175 - 181, 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Desktop 9.3** Redlands (CA), 2008. 1 CD-ROM.

FAVERO, O. A.; NUCCI, J.; BIASI, M. Vegetação natural potencial e mapeamento da vegetação e usos atuais das terras da Floresta Nacional de Ipanema, Iperó/SP: conservação e gestão ambiental **O Espaço Geográfico em Análise**, v.8, n. 1, p. 55 - 68, 2004.

FILIPPINI ALBA, J. M.; BERNY, V. M.; COSTA, F. A. **Geoprocessamento no contexto de empresas de pesquisa** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 44p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 254).

FILIPPINI ALBA, J. M.; SCHRODER, V. F.; NOBREGA, M. R. Land cover change detection in Southern Brazil through orbital imagery classification methods. In: ESCALANTE, B. (Ed.). **Remote sensing: applications**. Rijeka: Intech, 2012. p.99-116.

FLORES, C. A.; FILIPPINI ALBA, J. M.; WREGGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região do Corede Sul- RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009.

GENOVEZ, A. M.; SARTORI, A.; LOMBBARDI NETO, F. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa de Chuva excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solos dos Estados Unidos Parte I: Classificação. . **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.5 - 18, 2005.

GOODCHILD, M. F.; HAINING, R.; WISE, S. Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities International. **Journal of GIS**, v.6, n.5, p.407 - 423, 1992.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. D. **Geomorfologia. Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bettrand Brasil, 2001.

HARTWIG, M. P. **Modelagem da geração de sedimentos, por meio da MEUPS, na microbacia do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba, SP**. 2009. 127f. Tese (Doutorado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. Porto Alegre, UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: www.ibge.org.br Acesso em: 10 set. 2012.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens 2011**. Acessado em 20 nov. 2012. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>

LEICA GEOSYSTEMS GIS & MAPPING. **Erdas Imagine 8.7**. Atlanta: Leica Geosystems GIS & Mapping, 2003. 1 CD-ROM.

LINO, J. S. **Evolução do Sistema de Plantio Direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul**. 2010. 119f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.727-733, 2003.

MATA, C. L.; JÚNIOR, O. A. C.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (MG) por meio da Equação Universal de Perda de Solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.2, p.57 - 71, 2007.

MEGIATO, E. I. **Análise da Fragilidade Ambiental na Bacia do Arroio Pelotas, RS.** . 2011. 149f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MEGIATO, E. I.; GARRASTAZU, M. C.; KOESTER, E.; FILIPPINI-ALBA, J. M. **Geoprocessamento para delimitação da bacia hidrográfica do Arroio Pelotas.** In: FILIPPINI ALBA, J. M. Trabalhos acadêmicos de geoprocessamento desenvolvidos no laboratório de Planejamento Ambiental em 2007. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 25-36p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 219).

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

MIRANDA, E. E. de (Coord.) **Brasil em relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Acessado em 3ago. 2012. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>.

OLIVEIRA JÚNIOR , J. C. D.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.9-15, 2005.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K. Delimitação de áreas de preservação permanente: um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 13. 2007. Florianópolis. **Anais do...Florianópolis: INPE, 2007, p. 4119-4128.**

REIS, J. T.; MIORIN, V. M. F. Recursos naturais e uso da terra em áreas de produção familiar rural, médio alto Uruguai, RS. **Ciência e Natura**, v.28, n.2, p.85 - 98, 2006.

ROCHA, J. M. J.; SILVA, E. Estratégias para agricultores familiares em áreas de Proteção ambiental: desenvolvimento rural e Preservação da natureza. **Natureza & Desenvolvimento**, v.1, n.1, p.19 - 28, 2005.

RODRIGUES, A. C. M. **Mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião-SP, utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TMLandsat e HRV-SPOT.** São José dos Campos: INPE, 2000.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. Avaliação dos processos erosivos através da equação universal de perdas de solos, implementada com algoritmos em legal. **Geomática**, v.1, n.1, p.12 - 22, 2006.

SANEP. **Água.** Disponível em: www.pelotas.com.br/sanep/agua/tratamento_sinnott.htm>. Acesso em: 5 ago. 2012.

SANTOS, A. F. **Práticas da agricultura familiar, o uso e ocupação do solo e qualidade da água: a bacia hidrográfica do rio Pequeno - São José dos Pinhais**

– **PR.** 2006. 223f. Tese (Doutor em Ciências)-Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Paraná, Curitiba.

SANTOS, H. G. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. D.; OLIVEIRA, V. A. D.; OLIVEIRA, J. B. D.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. E. **Sistema brasileiro de Classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica de Solos para a determinação do excesso de chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.520 - 526, 2008.

SIMMS A. D.; WOODROFFE, C. D.; JONES, B. G. Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment, southern NSW. **Research Online**, v.2, p.678 - 683, 2003.

SOIL CONSERVATION SERVICE. Hydrology. In: **ENGINEERING Field Manual.** Washington, DC. 1990. chap. 2. Litho.

SOIL CONSERVATION SERVICE. Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds. USDA (U.S. Department of Agriculture). June 1986

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia. Ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1993. 943p.

VALLE JUNIOR, R. F. D. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba.** 2008. 233f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VERONA, L. A. F. **Avaliação de sustentabilidade em agroecossistemas de base familiar e em transição agroecológica na região sul do Rio Grande do Sul.** 2008. 193f. (Doutorado em Ciências)-Programa de Pós Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.801 - 814, 2008.

WILLIAMS, J. R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. USDA-ARS Handbook S-40, 1975, 244-252 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.** Washington: USDA, 1978.

WORLD BANK. **World development report 2008: agriculture for development.** Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank, 2008. 384p. Disponível em: www.worldbank.org. Acesso em: 10 ago. 2012.

10. Apêndices

APÊNDICE A – Mapa do fator LS

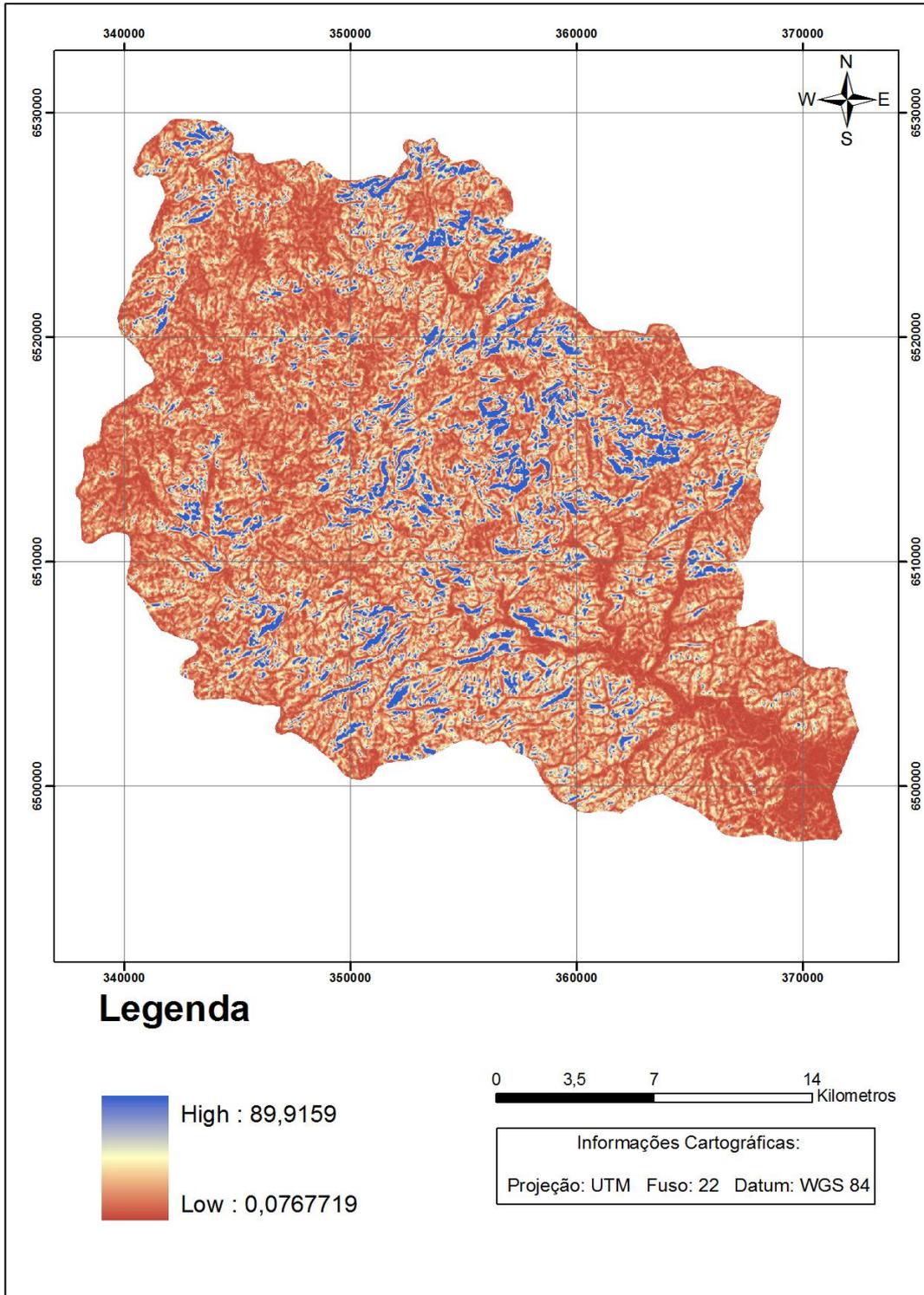


Figura 15 - Mapa fator LS para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.

APÊNDICE B – Mapa do fator K

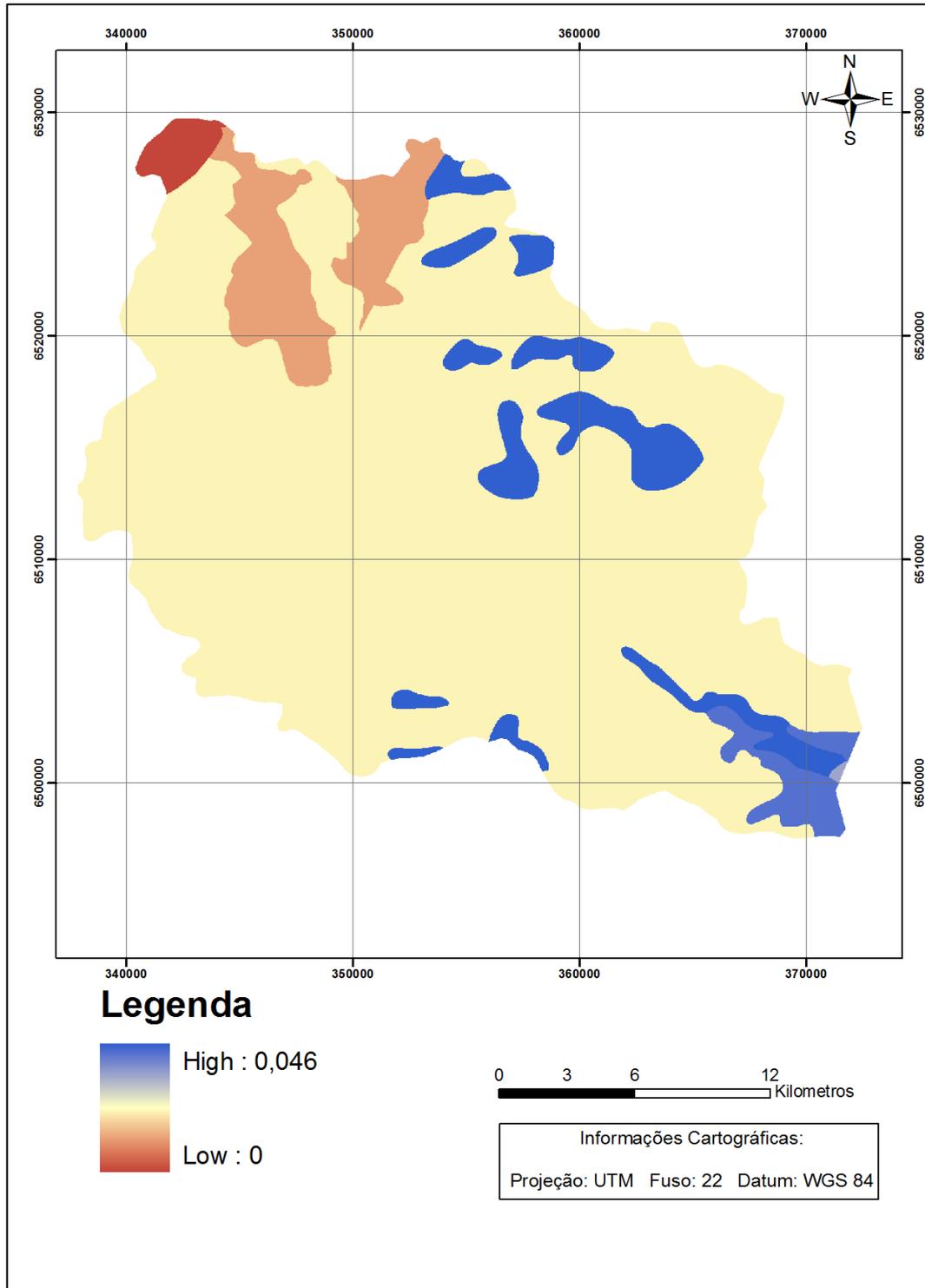


Figura 16 - Mapa fator K para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.

APÊNDICE C – Mapa do fator C

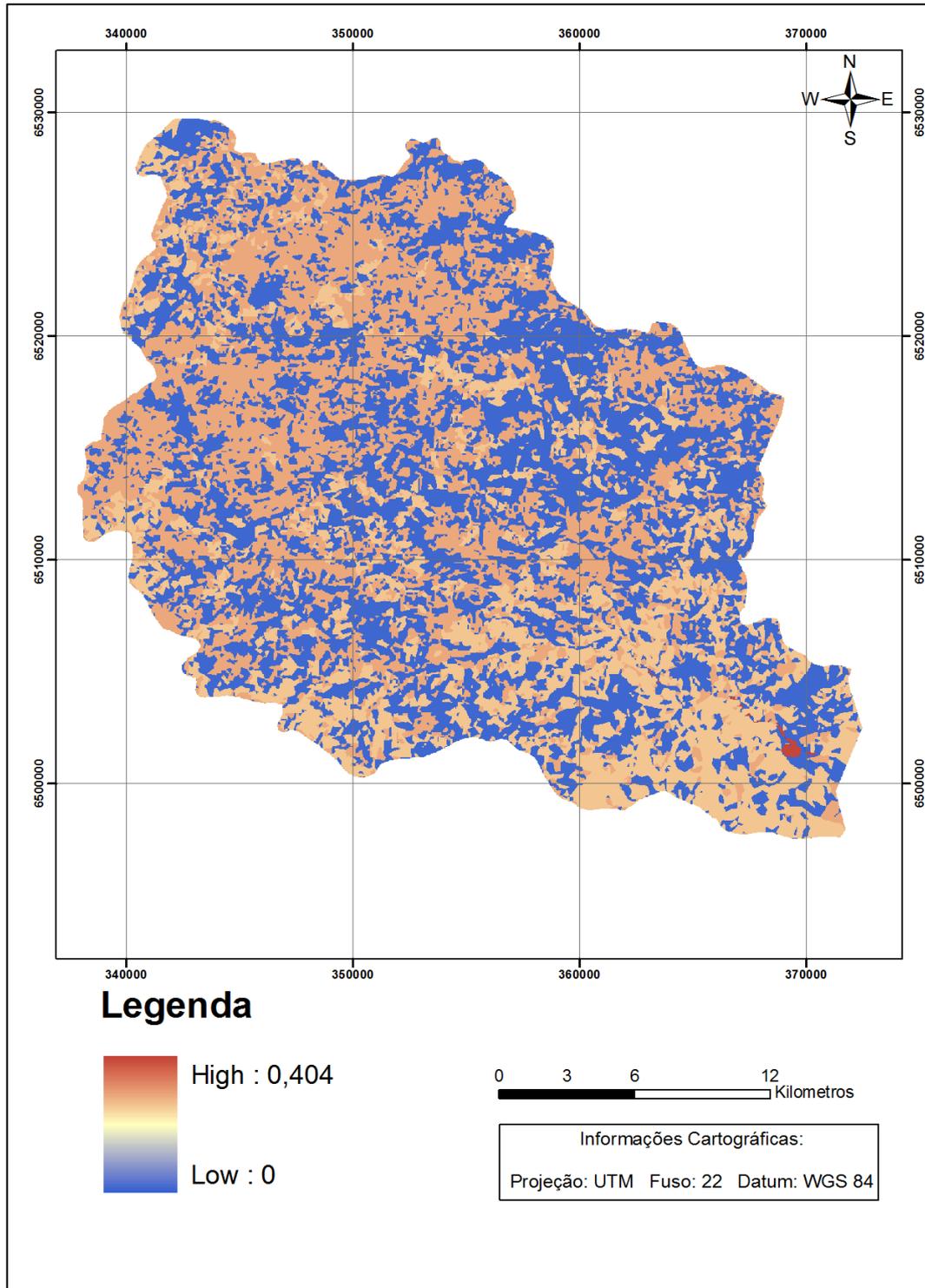


Figura 17 - Mapa fator C para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.

APÊNDICE D – Mapa do fator P

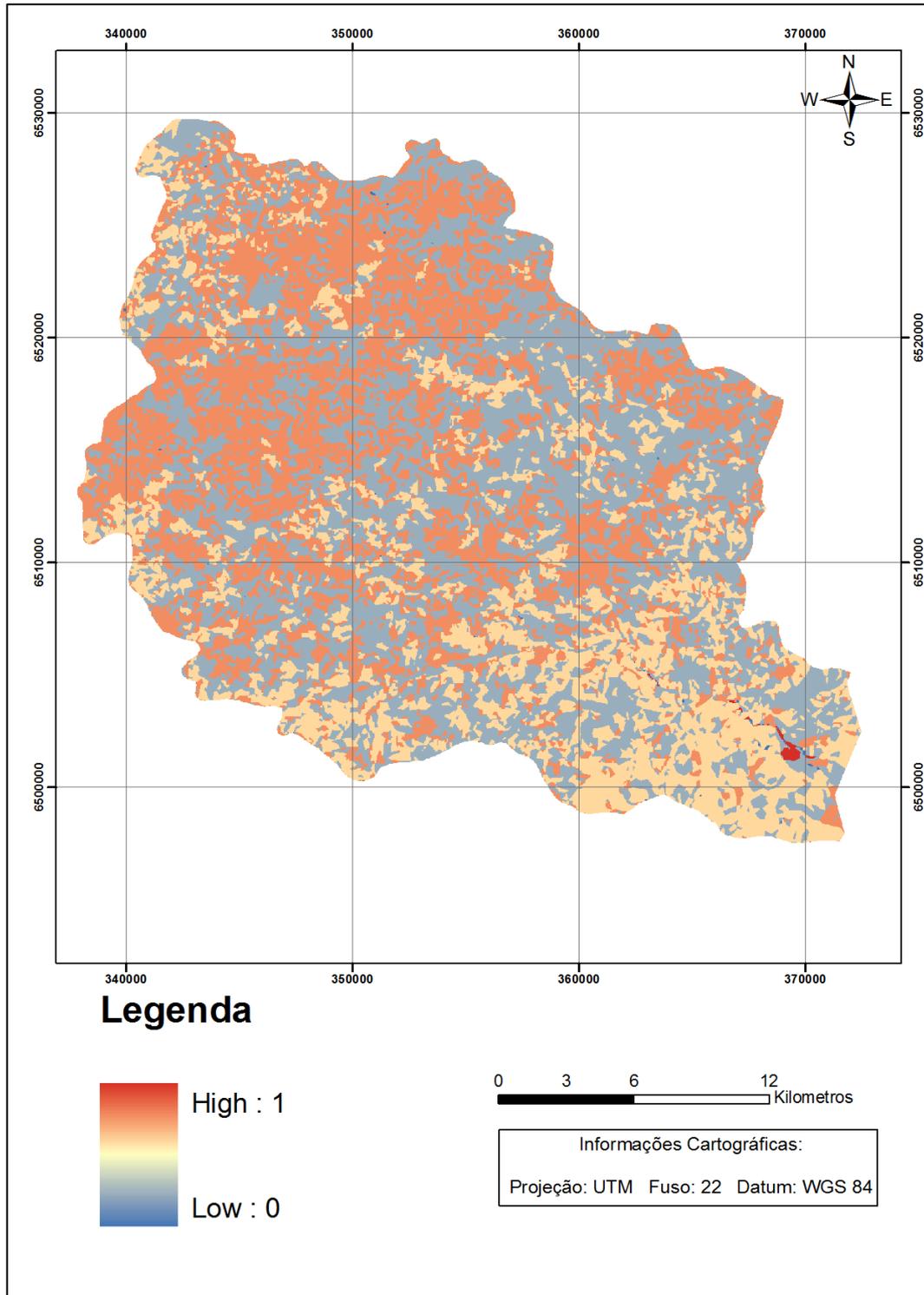


Figura 18 - Mapa fator P para a bacia de contribuição da ETA Sinnott.