

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”**  
**Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água**



**Tese**

**Serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos  
de precipitação**

**Daiane Hellnvig Zarnott**

**Pelotas, 2016**

**Daiane Hellnvig Zarnott**

**Serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Dr. Vitor Emanuel Quevedo Tavares

Coorientadores: Dr. André Becker Nunes  
Dr. José Maria Filippini Alba

Pelotas, 2016

Catálogo na fonte  
Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

Z523s Zarnott, Daiane Hellnvig

Serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação / Daiane Hellnvig Zarnott ; Vitor Emanuel Quevedo Tavares, orientador ; André Becker Nunes e José Maria Filippini Alba, coorientadores - Pelotas, 2016.

114 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Inundações. 2. Gestão. 3. Segurança hídrica. I. Tavares, Vitor Emanuel Quevedo, orient. II. Título

CDD : 631.4

Daiane Hellnvig Zarnott

Serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação

Tese aprovada, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água), Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 27/09/2016

Banca examinadora:

Prof. Dr. Vitor Emanuel Quevedo Tavares (Presidente)

Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Prof. Dr. Marcelo Peske Hartwig

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense

Prof. Dr. Maurício Meurer

Instituto de Ciências Humanas – UFPel

Prof. Dr. Luiz Fernando Spinelli Pinto

Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

À minha mãe Ilga, meu pai Donaldo (*in memoriam*) e meu marido Rafael  
DEDICO E OFEREÇO

"Só eu conheço os planos que tenho para vocês: prosperidade e não desgraça e um futuro cheio de esperança. Sou eu, o Senhor quem está falando."

Jeremias 29.11

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por estes anos de doutorado e por ter colocado pessoas muito especiais em meu caminho.

Ao meu orientador Vitor Emanuel Quevedo Tavares, pela orientação, apoio e confiança.

Ao Pesquisador Dr. José Maria Filippini Alba pela coorientação e confiança durante os últimos anos.

Ao meu coorientador André Nunes pela coorientação.

À minha mãe Ilga, irmã Lisiane e avós Wonny, Ione, Armando por estarem sempre ao meu lado, torcendo por mim.

Ao meu marido Rafael pelo incentivo, dedicação e amor.

Ao pesquisador Luiz Clovis Belarmino pela orientação e incentivo.

Ao pesquisador Christian P. Giardina, do USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, pela confiança, orientação e conhecimentos compartilhados.

À professora Rita Fraga Damé pela ajuda e conselhos.

À Universidade Federal de Pelotas, através do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

À Embrapa Clima Temperado, Laboratório de Planejamento ambiental, pelo uso da infraestrutura na condução dos trabalhos.

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

Aos professores do PPG Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Aos meus amigos e colegas de PPG Rosiane, Gisele, Andrea, Fabrício, Jacira, Thaís, Letiane e Fátima.

Aos amigos e ex colegas de laboratório Lúcia, Henrique, Rute e Natalie.

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

À defesa civil das prefeituras de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo pela disponibilização de dados.

Ao Vinícius Gonçalves e ao Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas, pela disponibilidade dos dados.

À minha amiga Marta pelo apoio e ensinamentos.

Aos meus amigos de longa data, que mesmo eu estando longe estiveram sempre perto.

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

**Obrigada!**

## Resumo

ZARNOTT, Daiane. **Serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação**. 2016. 114f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Os eventos de chuvas intensas podem causar diversos impactos que afetam o meio ambiente, a economia e a sociedade. Assim sendo, tem-se a necessidade de se obter informações sobre quais seriam as formas de minimizar e mitigar estes impactos e verificar qual o papel da preservação dos serviços ambientais diante de tais problemas. O presente trabalho teve o objetivo de identificar e caracterizar os serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação, em uma bacia rural, a montante da cidade de Pelotas. A área de estudo denomina-se Bacia de contribuição da Estação de monitoramento Passo dos Carros, que abrange parte dos municípios de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão. Primeiramente fez-se uma caracterização da área, sua rede de drenagem, declividade e morfometria. Para identificar as principais alterações decorrentes de um evento de precipitação extrema ocorrido em 2009, foram realizados mapeamentos de uso da terra na área, anterior e posterior ao evento. As consequências da enchente foram obtidas através de dados referentes às perdas econômicas, ambientais e sociais dos municípios que fazem parte da bacia de estudo, através dos relatórios de danos das prefeituras de cada município. Observações in situ complementaram a verificação dos danos decorrentes do evento de precipitação de 2009, cujos registros e prejuízos são vistos até o presente momento. Foi avaliada a vazão através do Hidrograma Unitário Triangular e o escoamento superficial referente ao evento. Posteriormente foram realizadas simulações para diferentes usos da terra e áreas de vegetação ciliar ao redor dos cursos de água (buffers) de 30, 50 e 100 metros, além de serem simuladas variadas precipitações (baixa, alta e muito alta). Após foram caracterizados e valorados os serviços ambientais das áreas produtivas e os prestados pelas matas ciliares para a manutenção de qualidade e quantidade de água nesses buffers. Com os resultados obtidos verificou-se nas imagens posteriores ao evento extremo, grandes perdas de áreas em volta dos cursos d'água por erosão, além de um aumento da silvicultura. Outra constatação foram as áreas de mineração, que anteriormente não estavam presentes na área de estudo. Verificou-se a ocorrência de perdas econômicas, sociais e ambientais relevantes, decorrentes das inundações resultantes da precipitação extrema. A conservação dos serviços ambientais prestados pelas matas ciliares ao entorno dos cursos d'água da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros permitiria a mitigação de danos com as enchentes. Para uma precipitação muito alta a área de mata ciliar ao redor do curso d'água diminui 2% do escoamento para áreas de 30 metros de largura e 5% para áreas de 100 metros de largura em cada lado do manancial. O valor dos serviços ambientais prestados pelas áreas de matas ciliares referentes a quantidade de água foi de R\$ 105.660,00, já o valor dos serviços ambientais ligados à qualidade de água foi estimado em R\$ 257,60 diários.

**Palavras-chave:** inundações, gestão, segurança hídrica.

## Abstract

ZARNOTT, Daiane. **Environmental Services associated with mitigation of impacts from extreme rainfall events**. 2016. 114f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The heavy rain events can cause different impacts that affect the environment, the economy and society. Therefore, there is the need to get information on what are the ways to minimize and mitigate these impacts and find what the role of preservation of environmental services in the face of such problems. This study aimed to identify and characterize the environmental services associated with the mitigation of impacts of extreme precipitation events in a rural basin, upstream of the city of Pelotas. The study area is called monitoring station contribution Passo dos Carros, which covers the cities of Pelotas, Morro Redondo and Capão do Leão. First made a characterization of the area, drainage, slope and morphometry. To identify the main changes resulting from an extreme rainfall event occurred in 2009, land use maps were performed in the area before and after the event. The consequences of the flood were obtained from data on economic, environmental and social losses of the cities that are part of the study watershed, through the damage reports of each city. Situ observations complement the verification of damage from the 2009 rainfall event, whose records and losses are seen to date. The flow was assessed using the hydrograph Triangular Unit and runoff related to the event. Later simulations were performed for different land uses and areas of riparian vegetation around watercourses (buffer) 30, 50 and 100 meters, and are simulated different rainfall (low, high and very high). After were characterized and valued environmental services of productive areas and provided by riparian forests for maintaining quality and quantity of water in these buffers. With the results it was found in later images to the extreme event, large losses of areas around watercourses by erosion, and an increase in silviculture. Another finding was the mining areas that previously were not present in the study area. It was the occurrence of economic losses, social and environmental relevant, from floods resulting from extreme rainfall. The conservation of environmental services provided by riparian forests around the watercourses of the watershed station contribution Passo dos Carros would mitigate damage from the floods. For a very high rainfall area of riparian forest around the watercourse decreases 2% of the flow to areas of 30 meters wide and 5% for areas 100 meters wide on each side of the spring. The value of environmental services provided by riparian forests regarding the amount of water was R \$ 105,660,470, as the value of environmental services related to water quality was estimated at R \$ 257.60 per day.

Keywords: floods, management, water security.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009, na bacia de contribuição da Estação Passo dos Carros.....	36
Figura 2 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009, na Estação de Tratamento de Água Moreira.....	37
Figura 3 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009 bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	37
Figura 4 - Mapa de pontos afetados com a enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009 na região de Pelotas. ....	72
Figura 5 - Consequências do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 na região de Pelotas .....	73
Figura 6 - Localização da área de estudo no contexto nacional, estadual e local, sendo caracterizados os limites da sub-bacia, as principais estradas e a rede hidrográfica associada. ....	42
Figura 7 - Mapa de solos da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros	46
Figura 8 - Organograma ilustrativo das simulações (cenários) realizadas .....	54
Figura 9 - Mapa de declividade (%) da área da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.....	58
Figura 10 - Mapa de uso da terra em volta dos cursos de água anterior e posterior ao evento de precipitação extrema de 2009 na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	62
Figura 11 - Mapa de uso da terra (real) na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros a partir de imagem do dia 6 de setembro de 2011.....	65
Figura 12 - Laboratórios e canos danificados da ETA Moreira após o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 .....	74

Figura 13 - Área de campo próxima ao curso de água que foi totalmente coberta pela água após o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 ..	75
Figura 14 - Local ao redor do curso de água em processo de erosão na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	76
Figura 15 - Desvio do curso original de passagem do escoamento das chuvas na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.....	77
Figura 16 - Hidrograma do evento de precipitação extrema de 2009 para a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	78
Figura 17 - Escoamento Superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação muito alta.....	80
Figura 18 - Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação alta .....	81
Figura 19 - Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação baixa .....	82
Figura 20 - Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.....	83
Figura 21 - Gráfico do escoamento superficial por hectare para os diferentes usos da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	84
Figura 22 - Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação passo dos Carros com buffer de 100m de floresta ao redor dos cursos de água (PA) .....	86
Figura 23 - Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação muito alta .....	87
Figura 24 - Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação alta.....	87
Figura 25 - Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação baixa.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais eventos de precipitação extrema ocorridos no município de Pelotas .....	38
Tabela 2 - Fórmulas para a obtenção de parâmetros morfométricos na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	44
Tabela 3 - Valores de CN em função do uso da terra e do seu grupo hidrológico ....	51
Tabela 4 - Classes de relevo e respectivas faixas de declividade na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	57
Tabela 5 - Caracterização morfométrica na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.....	59
Tabela 6 - Classes de uso da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	61
Tabela 7 - Classes de uso da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros .....	64
Tabela 8 - Prejuízos econômicos da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 .....	67
Tabela 9 - Prejuízos sociais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009 .....	68
Tabela 10 - Prejuízos ambientais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009. ....	69
Tabela 11 - Prejuízos humanos da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009.....	69
Tabela 12. Prejuízos materiais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009.....	70

Tabela 13. Perdas em arborização de mata ciliar ao longo dos cursos d'água atingidos pela enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009 .....	70
Tabela 14 - Lâminas escoadas para precipitações e cenários simulados.....	85
Tabela 15 - Quantidades de nitrogênio amoniacal e fósforo nas águas da ETA Moreira .....	89
Tabela 16 - Valores em reais da áreas produtivas .....	90
Tabela 17 - Custos de Reposição referentes aos danos consequentes do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 .....	91
Tabela 18 - Custos em produtos químicos referentes ao tratamento de água na ETA Moreira .....	93
Tabela 19 - Práticas de manejo para uma melhor gestão dos recursos naturais.....	95

## Sumário

1	Introdução .....	15
1.1	Objetivos .....	18
1.1.1	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	Objetivos Específicos .....	18
2	Revisão de Literatura .....	19
2.1	Eventos extremos.....	19
2.2	Impactos ambientais, sociais e econômicos consequentes das precipitações extremas .....	21
2.3	A bacia hidrográfica como unidade de estudo .....	22
2.3.1	Uso da terra em bacias hidrográficas .....	24
2.3.2	Caracterização morfométrica em bacias hidrográficas .....	25
2.3.3	Escoamento superficial em bacias hidrográficas .....	27
2.4	Serviços ambientais .....	28
2.4.1	Serviços ambientais das florestas .....	30
2.5	Economia ambiental.....	32
2.5.1	Valoração ambiental .....	33
2.6	Evento extremo em janeiro de 2009 na região de Pelotas.....	35
3	Metodologia.....	40
3.1	Localização da área de estudo .....	40
3.2	Delimitação da bacia de contribuição e sua rede hidrográfica .....	41
3.3	Tempo de concentração.....	43
3.4	Caracterização morfométrica da bacia.....	44
3.5	Precipitação na bacia de contribuição.....	44
3.6	Solos da bacia.....	45
3.7	Uso da terra na bacia de contribuição.....	47
3.8	Obtenção de dados de perdas consequente das enchentes e caracterização dos serviços ambientais atingidos .....	48

3.9	Cálculo da lâmina escoada na bacia de contribuição .....	48
3.10	Cálculo da vazão do evento de precipitação de 2009 na bacia de contribuição .....	51
3.11	Simulação hidrológica com diferentes usos em diferentes áreas .....	53
3.12	Valoração dos serviços ambientais.....	54
4	Resultados e Discussão.....	57
4.1	Mapa de declividade da área em estudo.....	57
4.2	Levantamentos das características morfométricas .....	59
4.3	Uso da terra ao redor dos corpos d'água antes e após o evento de precipitação .....	60
4.4	Classificação do uso da terra .....	63
4.5	Levantamentos das perdas econômicas consequentes do evento de precipitação de 2009 .....	66
4.6	Caracterização dos serviços ambientais hidrológicos afetados pelo evento de precipitação extrema de 2009.....	74
4.7	Tempo de concentração e vazão resultante do evento de janeiro de 2009 .....	77
4.8	Lâmina escoada na bacia de contribuição .....	78
4.9	Quantificação da carga de Nitrogênio amoniacal e de fósforo na estação de tratamento de água do Moreira.....	89
4.10	Valoração dos serviços ambientais hidrológicos dos buffers no entorno dos cursos d'água na bacia .....	90
4.10.1	Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada no valor de produção das áreas .....	90
4.10.2	Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada nos custos dos danos decorrentes do evento de precipitação extrema de 2009 .....	91
4.10.3	Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada nos custos de tratamento de água .....	92
5	Considerações Finais.....	94
6	Conclusões .....	96
	Referências .....	97
	Apêndices.....	107

## **1 Introdução**

A ocorrência de eventos de chuvas extremas que causam enchentes acontece desde os primórdios da civilização. No entanto, a urbanização desordenada, a exploração intensiva dos recursos naturais e as diversas ações humanas, ao longo do tempo intensificaram a duração, magnitude e a frequência dos eventos de precipitação extrema, que quando atingem os centros urbanos e áreas rurais causam danos avassaladores, conforme se verifica pela divulgação dos meios de comunicação.

Os eventos de precipitação extrema trazem diversos impactos para uma região, como perdas por erosão, redução da qualidade de água e da biodiversidade ou modificações da paisagem. Problemas econômicos acarretando dentre outros, diminuição da produção, prejuízos nas construções civis e alterações na rede viária. Na esfera social, lesões corporais, perda de moradias e vidas, etc. Diante das consequências de um evento de precipitação extrema, ressalta-se a importância de identificar as formas em que tais impactos possam ser mitigados.

A modificação do ambiente natural, ou seja, o uso intensivo dos solos, aliado à crescente exploração dos recursos hídricos, para os mais diversos fins, tem provocado impactos que afetam o escoamento dos cursos d'água, sendo estes intensificados com a ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Estas intensas intervenções antrópicas prejudicam a manutenção dos serviços ambientais, prestados direta ou indiretamente, e que são indispensáveis ao homem.

Dentre outros serviços ambientais cita-se aqui a manutenção da qualidade dos recursos hídricos a partir da conservação das áreas de vegetação ciliar. Apesar desta mediada ser prevista na legislação existente para a proteção dos cursos d'água, as instituições e a população brasileira ainda projetam principalmente ações

diretas e em curto prazo em relação à gestão e conservação de recursos naturais e na prevenção de potenciais enchentes.

Tem-se a necessidade de que os tomadores de decisão da esfera municipal, estadual e nacional encontrem novas soluções para a gestão de suas áreas, objetivando a preservação e conservação dos recursos naturais.

É importante que se tenha uma percepção de que o aumento das áreas conservadas além dos benefícios ambientais a médio e longo prazo, pode trazer benefícios econômicos a partir dos serviços ambientais prestados para uma região. Desta forma, ressalta-se aqui a importância de políticas públicas e ações de empresas privadas neste meio.

Ainda que parte da população reconheça o valor intrínseco dos recursos naturais, há ocasiões em que é fundamental a atribuição do valor econômico ao meio ambiente, dimensionando o dano, a perda sofrida pela sociedade em razão de alguma atividade poluidora ou ainda pelas consequências de não possuir tais recursos. Mesmo sendo esta uma visão capitalista sobre os recursos naturais, considera-se uma medida relevante na busca de adequada gestão do ambiente natural.

Em janeiro de 2009 alguns municípios da região sul do Rio Grande do Sul, dentre eles Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão, foram devastados com um evento de precipitação extrema que causou diversos danos para o meio urbano e rural, além de vítimas fatais. A verificação das diversas consequências das cheias que atingiram a região e a visualização de imagens anteriores e posteriores ao evento incitou a questões de como mitigar esses danos, ou o que poderia ser realizado para os municípios não sejam fortemente atingidos com os danos destes eventos. Com estes questionamentos buscou-se verificar se a conservação dos serviços ambientais pode beneficiar, uma região em relação aos eventos extremos de precipitação.

Com o uso de ferramentas do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto procurou-se simular diferentes usos da terra e precipitações dentro da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros, fazendo assim relação destas respostas com os possíveis serviços ambientais prestados.

Esta tese contém seu texto em uma estrutura convencional, além desta breve introdução, conta logo após com um referencial teórico que é dedicado a assuntos pertinentes com o trabalho, e nesta parte se encontra a revisão teórica sobre o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009.

Em seguida, são descritos os procedimentos metodológicos utilizados no trabalho, com a inicial caracterização da área de estudo e levantamento de dados do evento de precipitação de janeiro de 2009, e assim todos os procedimentos e técnicas utilizadas na pesquisa.

Posteriormente, encontram-se os resultados e discussão, onde são apresentadas as características morfométricas da área, os danos consequentes da enchente, a caracterização de serviços ambientais, a vazão e a lâmina escoada pelo evento de precipitação de 2009, a classificação de imagens, simulações hidrológicas e posterior valoração dos serviços ambientais a partir dos parâmetros definidos para o trabalho.

Finalmente, as conclusões desta tese e as considerações finais, com recomendações, seguido das referências bibliográficas utilizadas na fundamentação teórica do estudo.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Identificar e caracterizar os serviços ambientais associados à mitigação de impactos de eventos extremos de precipitação, em uma bacia rural, a montante da cidade de Pelotas.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- a) Caracterizar o evento extremo de chuva ocorrido em janeiro de 2009;
- b) Construir o hidrograma do evento, para a bacia de contribuição da ETA Moreira;
- c) Quantificar as principais perdas econômicas e sociais;
- d) Valorar economicamente os prejuízos do evento;
- e) Quantificar os serviços ambientais associados ao uso e ocupação da terra, relacionados com a mitigação de cheias.

## **2 Revisão de Literatura**

### **2.1 Eventos extremos**

Dentre as grandes preocupações da sociedade quanto às projeções futuras sobre o clima está a frequência e intensidade dos eventos climáticos extremos como as tempestades, chuvas extremas e secas prolongadas.

Em consequência dos eventos extremos, ocorrem os desastres naturais, que podem ser definidos como o impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre a sociedade, provocando prejuízos que não permitem os afetados conviver com o impacto (TOBIN, 1997).

As chuvas intensas, ou chuvas extremas são chamadas também por chuvas máximas e tem distribuição irregular tanto temporalmente quanto espacialmente. Esse tipo de evento causa prejuízos, tais como: inundações, enchentes erosão no solo e perdas aurículas (ARAÚJO et al., 2008).

Embora usados coloquialmente como sinônimos, os termos enchentes ou cheias e inundações correspondem a fenômenos hidrológicos distintos. Segundo Kobiyama et al. (2006), inundação é definida como o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele (planícies de inundação). Quando não ocorre o transbordamento, apesar do rio ficar praticamente cheio, tem-se uma enchente ou cheia.

Além dos prejuízos ao meio ambiente, os eventos extremos podem causar impactos para a sociedade. Segundo Confalonieri (2015), a principal consequência de eventos extremos a saúde humana são os acidentes e traumas, como no caso de tempestades seguidas de inundações, principalmente em zonas urbanas, provocando mortalidade por afogamento, deslizamentos de terra, desabamentos de

prédios. As enchentes tornam-se mais destrutivas quanto mais ocupações urbanas ocorrem em planícies de inundações (CRUZ, 2011).

Em se tratando do Rio Grande do Sul, um estado essencialmente agrícola, os impactos dos eventos climáticos extremos causam um prejuízo forte para a economia. As áreas rurais são diretamente afetadas pelas cheias quando a lavoura é coberta pela água, prejudicando as colheitas e intensificando também a lixiviação do solo, além de vários outros prejuízos.

Para o controle das consequências dos eventos extremos é de extrema importância a caracterização das chuvas intensas, em áreas urbanas e rurais (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010). A caracterização da precipitação extrema constitui um elemento de apoio importante para o planejamento e gestão de recursos hídricos e do território (SILVA et al., 2007). Este conhecimento é, portanto, importante no apoio à decisão, diante de situações como cheias, secas e erosão hídrica (SEPÚLVEDA, 2011).

No Rio Grande do Sul, Menezes e Scoti (2013) indicam que, entre 1980 e 2010, foram registradas 1.742 enxurradas, ocorrendo predominantemente nos meses de novembro, dezembro, janeiro e maio. Estes meses marcam o período de transição de massas de ar e, sendo favoráveis à ocorrência de precipitações mais intensas. Segundo Saito et al. (2011), os desastres naturais no estado tem sua causa relacionada principalmente a aspectos hidrometeorológicos.

As projeções futuras, segundo Marengo (2014), indicam que os países da América do Sul precisam estar preparados para prováveis impactos das mudanças climáticas e eventos extremos, de modo que possam ocorrer avaliações de vulnerabilidade e fornecer dados para recomendar medidas de adaptação (MARENGO, 2009).

O monitoramento e previsão de desastres naturais utilizando a modelagem numérica em conjunto com aspectos meteorológicos e hidrológicos tem se tornado uma importante ferramenta. Atualmente a utilização de simulações numéricas e a evolução nos estudos de tempo, clima e hidrologia estão trazendo uma maior confiabilidade em previsões meteorológicas e hidrológicas.

Para Marengo (2014), o uso de ferramentas para monitorar, avaliar e fornecer base científica para a tomada de decisões sobre regiões vulneráveis e processos críticos de conservação ambiental são de extrema importância, ainda assim, são necessárias análises da dinâmica de alterações consequente da ocupação humana e que apontem os fatores que causam os impactos mais relevantes.

## **2.2 Impactos ambientais, sociais e econômicos consequentes das precipitações extremas**

Os eventos de precipitação extrema, ou desastres naturais no país são resultado de uma combinação da ocorrência de eventos extremos com a vulnerabilidade física e socioeconômica que os locais apresentam (FURLAN; LACRUZ; SAUSEN, 2011).

As consequências dos eventos climáticos não dependem apenas da natureza, mas também da vulnerabilidade e ocupação antrópica em lugares onde possam ser afetados (FIELD, 2012).

Eventos extremos de precipitação têm efeitos consideráveis na sociedade. Os custos econômicos e sociais de eventos extremos aumentarão nas regiões onde estes serão intensos ou mais frequentes e esses aumentos serão substanciais nas áreas mais diretamente afetadas (MARENGO, 2009).

Estudos sobre eventos extremos são frequentes na literatura científica, Vinet (2008), fez um estudo sobre os danos ocasionados pelas enxurradas no sul da França em novembro de 1999 e setembro de 2002, onde a precipitação máxima ultrapassou os 500 milímetros em 24 horas, já Miola (2013) em trabalho de tese, trata do planejamento das áreas rurais em situações de enchente.

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2012), as enxurradas no Rio Grande do Sul entre os anos de 1991 a 2012, afetaram 2.197.335 pessoas, ocasionando o falecimento de 30 pessoas.

Os prejuízos decorrentes deste tipo de fenômenos extremos para a agricultura, não se limitam às perdas econômicas decorrentes das perdas de culturas. Do ponto de vista ambiental, a erosão acelerada, que surge em situações de precipitações intensas têm consequências desastrosas (PEDROSA; MARTINS, 2004).

Precipitações pluviométricas de maior intensidade aumentam o risco de ocorrência da erosão, especialmente quando as condições de relevo e as características físico-hídricas do solo, uso e manejo do solo não são adequadas (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

Merten e Minella (2002) relatam que com a erosão, a qualidade do solo também é alterada através da perda de carbono e nutrientes e, conseqüentemente, a capacidade produtiva dos solos é comprometida. Logo, os agricultores aumentam

o aporte de agroquímicos (adubos solúveis e agrotóxicos), alterando os níveis de degradação do solo e água.

Com os eventos extremos de precipitação, os sedimentos, fertilizantes e agroquímicos, são arrastados, causando assoreamento e poluição na rede hidrográfica, diminuindo a seção de vazão dos leitos dos rios e aumentando os riscos de cheias, assim a conservação dos cursos de água é comprometida. (SANTOS; GRIEBELER; OLIVEIRA, 2010).

As inundações, que estão entre as consequências dos eventos extremos, são responsáveis por em torno de 55% dos desastres registrados e quase 72.5% do total de perdas econômicas do mundo (MARCELINO, 2008). As inundações, podem acontecer rápida e violentamente, provocando desastres, principalmente nas encostas e margem dos rios (NUNESFIORI, 2008).

Na cidades, as inundações estão relacionadas ao fator humano, onde a expansão urbana modifica a cobertura da superfície do solo, diminuindo a infiltração das chuvas no solo, fazendo-as acumularem-se nas regiões mais baixas, a população fica vulnerável aos riscos causados da força destrutiva das águas (SILVA, 2011).

### **2.3 A bacia hidrográfica como unidade de estudo**

A bacia hidrográfica corresponde a uma área da superfície terrestre, onde seus limites são estabelecidos pelo próprio escoamento das águas sobre a superfície ao longo do tempo (HARTWIG, 2009).

De acordo com Vaeza et al. (2010) a bacia hidrográfica constitui como uma unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são constantes, o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou antrópicas.

Como unidade integradora dos setores naturais e sociais, onde são efetuadas as interações entre a água e os meios, físico, biótico, social, econômico e cultural (YASSUDA, 1993), a bacia hidrográfica é também considerada a área captação de um recurso fundamental para a vida humana, a água (ALBUQUERQUE, 2012).

A Lei 9433 de 1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, define em seus fundamentos a bacia hidrográfica como o compartimento físico para

a prática da Política Nacional dos Recursos Hídricos e desempenho do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Rocha e Silva (2005), consideram a bacia hidrográfica 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. Trata-se da unidade básica de conservação de solo e água e onde pode ser percebido o resultado do equilíbrio, ou do desequilíbrio, na interação entre seus recursos naturais que ocorrem na bacia.

Sobre a área da bacia hidrográfica acontecem as atividades humanas, as áreas urbanas, industriais, agrícolas e ou de preservação fazem parte de uma bacia hidrográfica. Desta forma, no seu exutório estão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema, consequências das formas de ocupação do território e da utilização das águas (PORTO; PORTO, 2008).

De acordo com Simms, Woodroffe e Jones (2003), quando expostas ao impacto humano, as bacias hidrográficas podem sofrer alterações, pois são sistemas dinâmicos e vulneráveis, o sistema como um todo precisa se adaptar às transformações ocorridas.

As características peculiares desta área tornam-na elemento fundamental de estudos que contemplem as interações entre os componentes desse complexo sistema, podendo-se inferir sobre o comportamento do escoamento superficial, até diagnosticando ou mesmo prevenindo algum impacto ambiental (MENDONÇA et. al, 2015).

Para o mapeamento das características da bacia hidrográficas podem ser utilizadas tecnologias de geoprocessamento, nestas técnicas estão incluídos os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem a aquisição de dados qualitativos e quantitativos geográficos possibilitando a gestão dos recursos e aplicação de técnicas baseadas em análises georreferenciadas (CAVALLARI; TAMAE; ROSA, 2007).

O desenvolvimento das tecnologias de informação, principalmente as geotecnologias, significa um grande avanço no modelo de monitoramento e gerência dos ambientes naturais do planeta. Estas tecnologias podem gerar informações rápidas da superfície da Terra, integrando dados de diversas fontes, contribuindo, sobremaneira, para o conhecimento dos ecossistemas enquanto suas dimensões e fenômenos (LEITE; BRITO, 2012).

Dentre as pesquisas já realizadas em bacia hidrográficas utilizando ferramentas de geoprocessamento destaca-se aqui Hartwig (2009) verificou as perdas de solo em uma bacia hidrográfica em Piracicaba, através de técnica de geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Zarnott (2012) utilizou geoprocessamento para a otimização de áreas florestadas em uma bacia hidrográfica em Pelotas.

Turetta (2011) salienta ainda que é estratégica a utilização de bacias hidrográficas como áreas de estudo devido às inúmeras possibilidades de análises do meio físico com integração da sociedade através da organização dos diversos atores em seus fóruns de discussão, como os comitês de bacia (quando esses já estiverem sido implementados).

### **2.3.1 Uso da terra em bacias hidrográficas**

O disciplinamento do uso e da ocupação das terras da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram. Para um planejamento conservacionista, primeiramente deve-se ter o levantamento do uso e cobertura da terra (VAEZA et al. 2010).

O termo “uso da terra” deve ser entendido como a forma de ocupação antrópica do espaço, enquanto a expressão “cobertura” se caracteriza o revestimento da superfície. Se natural, referem-se às fisionomias que ocorrem na superfície da terra, como tipos de vegetações, corpos d’água, afloramento rochosos, deserto, neve, geleiras, oceanos, depósitos sedimentares, dentre outros. Se antrópico ou artificial, refere-se às grandes intervenções humanas como, construções, rodovias, cidades, barragens e reservatórios, plantios florestais, áreas plantadas, indústrias, áreas de antropismos (agricultura, mineração), etc.(NOVO, 1992).

As atividades antrópicas são refletidas na dinâmica da cobertura vegetal ocasionando impactos sobre os elementos naturais, como as comunidades faunística e florística, os recursos de água, o clima e os solos, em acordo com a ecodinâmica do sistema e o necessário manejo dos recursos da terra (FAO, 2000).

De acordo com Reis e Miorin (2006), a degradação 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.

A verificação dos impactos ocasionados pelas mudanças de uso e cobertura da terra é uma importante etapa para auxiliar a caracterização de serviços ambientais que poderão ser prestados com a utilização de práticas agrícolas conservacionistas (TURETTA, 2011).

Tucci e Mendes (2006) relatam que a alteração da superfície da bacia hidrográfica tem impactos significativos sobre o escoamento, que são verificados quanto ao efeito que provoca no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média, além das condições ambientais locais e a jusante.

Para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, o levantamento do Uso da Terra compreende análises e mapeamentos e constitui-se de uma importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão (IBGE, 2013).

As informações sobre o uso e a ocupação das terras assume importância na medida em que detecta usos desordenados, causadores de deterioração no ambiente, além de oferecem suporte ao planejamento e a execução de ações técnicas. Nesse sentido, inserem-se os SIG e os bancos de dados geográficos como eficientes ferramentas de suporte ao planejamento territorial rural (BOLFE et al., 2009).

O uso da terra em uma bacia hidrográfica associada a uma visão integrada acerca da precipitação, escoamento superficial, infiltração e evaporação, torna-se um importante meio para a gestão eficiente dos recursos naturais.

### **2.3.2 Caracterização morfométrica em bacias hidrográficas**

Os estudos das características físicas de bacias hidrográficas são essenciais para a compreensão do comportamento das mesmas, diante de eventos de precipitação.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO, 2007).

As características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica desempenham importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, o deflúvio, a evapotranspiração, o escoamento superficial, dentre outros. Estas características, juntamente com o uso do solo e as atividades desenvolvidas em uma bacia hidrográfica, determinam a quantidade e a qualidade da água (TONELLO, 2005).

Assim como a área, a determinação do perímetro da bacia hidrográfica é adotada para sua caracterização, sendo este também utilizado para obtenção de outras variáveis morfométricas.

Para Feltran Filho e Lima (2007), o perímetro de uma bacia hidrográfica representa o comprimento total da linha que serve como divisor de águas da bacia, ou seja, a linha que serve como divisor topográfico. Seu aumento está diretamente ligado ao desenvolvimento da bacia hidrográfica, e será tanto maior quanto maior for sua área

O Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ) é outra característica determinada, cuja formulação consiste na razão entre a área de um círculo com perímetro igual ao da bacia e a área dessa mesma bacia, valores próximos de 1 indicam bacias mais compactas, é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independente de seu tamanho (SANTOS et al., 2012).

Da mesma forma, o índice de circularidade, que por sua vez, tem relação direta com o desenvolvimento dos fluxos da bacia. É dado pela relação entre a área da bacia e a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada Para índice igual à unidade (1), a bacia seria de forma circular (FELTRAN FILHO; LIMA, 2007).

A densidade de drenagem, que é uma das variáveis mais importantes para a análise morfométrica das bacias hidrográficas, representa o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, ou expressa a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas (Christofoletti, 1980). A densidade de drenagem funciona como índice demonstrativo do trabalho fluvial de erosão da superfície (LIMA; PEREZ FILHO; CUNHA, 2013).

Já a declividade de uma bacia hidrográfica pode ser expressa a partir da geração de mapas de declividade a partir de modelos digitais de elevação (MDE), sendo os valores obtidos em classes de declividade.

Este parâmetro é relevante no planejamento, em relação ao cumprimento da legislação também para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio.

Além disso, possui importante papel na distribuição da água pois a magnitude dos picos de enchentes ou a menor capacidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo (TONELLO et al., 2006).

### **2.3.3 Escoamento superficial em bacias hidrográficas**

A estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas é de grande importância para a simulação e previsão de enchentes, contudo, esse é um processo complexo e dinâmico.

O escoamento superficial inicia quando a intensidade de precipitação torna-se maior do que a velocidade de infiltração da água no solo e/ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido superada. Com o escoamento ocorre o transporte de partículas do solo, nutrientes, matéria orgânica, sementes e defensivos agrícolas que, além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, causam a poluição dos cursos d'água (GRIEBELER et al., 2001).

Em uma bacia hidrográfica, a vazão de curso d'água pode consistir de escoamento superficial direto, escoamento subsuperficial e escoamento de base, sendo o primeiro gerado pelo excesso de chuva que escoam sobre a superfície, normalmente a principal responsável por elevar a vazão.

O escoamento superficial direto é uma das fases do ciclo hidrológico e seu estudo é de grande importância devido ao dimensionamento de obras de engenharia e manejo agrícola (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005a). O seu comportamento está ligado à cobertura da bacia, à sua declividade e ao sistema de drenagem, sendo que em bacias rurais, sua dinâmica é afetada pelo tipo de cobertura vegetal presente (TUCCI, 1998).

Entre as diversas metodologias para determinação do escoamento superficial direto, o método da Curva-Número (CN), apresentado pelo Soil Conservation Service (SCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), tornou-se amplamente aplicado nas obras de engenharia pelos projetistas. Como a equação foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de 1 dia ou menos (TASSI et al., 2006).

Além do escoamento, a vazão que é definida pela quantidade de água que passa por uma seção em determinado período de tempo, também é um parâmetro importante de ser conhecido para estudos de eventos extremos. Khaleghi et al. (2011) salientam que a determinação do valor de vazão de pico e o volume de escoamento de uma bacia hidrográfica são cruciais na gestão de desastres naturais.

Para a transformação de chuva em vazão, um dos métodos mais tradicionais e de fácil utilização é o método do Hidrograma Unitário (HU). Amplamente aceito como ferramenta em estudos hidrológicos, sua versatilidade encontra-se nas suposições simplificadoras de que a bacia hidrográfica comporta-se como um sistema linear e invariante no tempo, permitindo assim, a avaliação de uma resposta (CARVALHO; CHAUDRHY, 2001).

Em meio as metodologias aplicadas para obtenção do hidrograma unitário, o método do SCS tem sido amplamente utilizado nos processos de transformação chuva-vazão e simulação de hidrogramas de cheias (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005b; DAMÉ et al., 2010; COUTO, 2015).

## **2.4 Serviços ambientais**

Os serviços ambientais são os benefícios que as pessoas derivam de ecossistemas funcionais, as características ecológicas, funções ou processos que direta ou indiretamente contribuem para o bem-estar humano (COSTANZA et al. 1997).

De acordo o Relatório-Síntese da avaliação Ecosistêmica do Milênio, elaborado pela Organização das Nações Unidas – ONU, os Serviços Ambientais contemplam atividades importantes, como a conservação e tratamento natural dos recursos hídricos; preservação e conservação da biodiversidade, proteção do solo contra a erosão, sequestro de carbono na fase de crescimento das plantas, a regulação do clima local; e até a formação e composição de paisagens (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Existem termos que se contrapõem e muitas vezes são usados como sinônimos em serviços ambientais: serviços ambientais e serviços ecossistêmicos. Silva e Montibeller-Filho (2011), consideram serviços ecossistêmicos o conjunto de benefícios propiciados pelos ecossistemas naturais que permitem a manutenção das condições necessárias à existência de vida no planeta. Já os serviços ambientais

são as práticas, iniciativas e atividades humanas que favorecem a preservação, conservação, recuperação, melhoria ou ampliação dos serviços ecossistêmicos (conotação antropocêntrica).

A natureza oferta o serviço ecossistêmico, mas o homem que trabalha na manutenção desse serviço presta um serviço ambiental. Os serviços prestados pela natureza passam a desempenhar um papel diferenciado tanto no âmbito social, mas também no âmbito econômico a partir do instante em que se reconhece a importância as práticas conservacionistas e dos agentes responsáveis pela manutenção desses serviços (JARDIM; BURSZTYN, 2015).

De acordo o Relatório-Síntese da avaliação Ecossistêmica do Milênio, elaborado pela Organização das Nações Unidas – ONU, os Serviços Ambientais contemplam atividades importantes, como a conservação e tratamento natural dos recursos hídricos; preservação e conservação da biodiversidade, proteção do solo contra a erosão, sequestro de carbono na fase de crescimento das plantas, a regulação do clima local; e até a formação e composição de paisagens (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

O termo serviço ambiental é mais utilizado do que serviço ecossistêmico quando se trata de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), uma vez que está relacionado com as práticas antrópicas.

O Pagamento por Serviços ambientais (PSA) possui a ideia de que os beneficiários externos dos Serviços Ambientais devem realizar pagamentos diretos aos provedores desses serviços, proprietários do recurso ambiental, geralmente rural, mediante contratos e condições que garantam que estes adotarão as práticas de conservação e/ou restauração dos ecossistemas. Moraes (2012) destaca que o que se espera é que, além de auxiliar na preservação do meio ambiente, os mecanismos de PSA também possam contribuir para o desenvolvimento sustentável, sendo importantes na geração de renda aos seus beneficiários.

Desta forma, dentro do Pagamento dos Serviços Ambientais existem três atores: os provedores desses serviços, que recebem a compensação financeira; os recebedores, que se beneficiam com estes serviços prestados pela natureza, mas que realizam o pagamento por este benefício; e, os intercessores que podem ser um órgão governamental, um comitê de bacias, uma universidade ou alguma outra instituição, depositária da confiança dos provedores e dos beneficiários dos serviços ambientais.

Verifica-se que os custos para preservar o meio ambiente são arcados por um pequeno grupo de pessoas, enquanto os benefícios provenientes da preservação, os serviços ecossistêmicos, são desfrutados por um grupo bem maior de pessoas (ANDRADE; FASIABEM, 2009).

#### **2.4.1 Serviços ambientais das florestas**

As florestas desempenham um papel fundamental pois fornecem serviços ambientais vitais, tais como ar e água limpos, conservação da biodiversidade, influenciam nas mudanças climáticas, são importantes no combate à pobreza rural, garantem a segurança alimentar e proporcionam às pessoas meios de subsistência.

Entretanto, as áreas de florestas do mundo continuam a diminuir à medida que as populações aumentam e as terras são convertidas para a agricultura e outros usos. De acordo com a FAO (2015), no Brasil de 1990 até 2015 foram perdidos 2.216.000 hectares de floresta por ano.

As ações para aumentar um serviço ambiental, muitas vezes fazem com que os outros serviços se degradem. Por exemplo, as ações para aumentar a produção de alimentos envolvem aumento da utilização de água e fertilizantes ou expansão da área de terra cultivada. Essas ações, muitas vezes degradam outros serviços do ecossistema, como a redução da disponibilidade de água para outros usos, afetando qualidade da água, reduzindo a biodiversidade e diminuindo a cobertura florestal (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Dentro do Código Florestal brasileiro existem dois tipos de áreas de preservação de florestas nativas, as Áreas de Reserva Legal (RL) e as Áreas de Proteção Permanente (APP). A primeira destina-se a uma porcentagem de área dentro da propriedade rural que deve ser preservada e a segunda consiste nas áreas consideradas ambientalmente sensíveis, que são entorno dos cursos d'água, topo de morros e encostas, são as consideradas áreas intocáveis.

As áreas no entorno dos cursos d'água são nomeadas de diferentes formas, como zonas tampão, áreas de matas ciliares, zonas protegidas, zonas ripárias, dentre outras. Quando se delimitam estas regiões ao redor dos cursos de água essas áreas também são denominadas de buffer.

Vitalli, Zakia e Durigan (2009) destacam que dentre as formas de amenizar os impactos das atividades antrópicas está a criação das zonas protegidas,

estabelecidas em diferentes regiões do mundo para preservar áreas de todos os ecossistemas existentes, assegurando a sobrevivência das espécies e a manutenção dos processos ecológicos.

As zonas ripárias são áreas de saturação hídrica da microbacia, encontradas principalmente ao longo das margens e nas cabeceiras dos cursos d'água (ATTANASIO et al, 2012).

Os ambientes ripários possuem importante papel na filtragem de poluentes, pesticidas agrícolas e sedimentos, que são trazidos pelo escoamento superficial, impedindo-os de chegar até os cursos d'água (VOGEL; ZAWADZKI; METRI, 2009).

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 e auxiliar na proteção da fauna local (AVELINO, 2007).

Segundo Almeida (2007), o regime hídrico é afetado pela dinâmica e manejo da vegetação. Diante disso, cobertura vegetal tem influência nas consequências dos eventos extremos de precipitação, pois atua diretamente no processo de erosão, na circulação e qualidade das águas e na proteção de mananciais.

As matas ciliares controlam o escoamento da água das enxurradas, diminuindo sua velocidade e promovendo uma maior infiltração desta no solo, pois as raízes das árvores e a serrapilheira (camada de matéria orgânica depositada sobre o solo) impedem a ação direta das chuvas e dos raios solares e ventos que o dessecam, evitam a erosão, que faz com que muitos nutrientes sejam carregados (VOGEL; ZAWADZKI; METRI, 2009).

De maneira semelhante, Brauman et al. (2007) salientam que uma floresta pode aumentar a infiltração, enquanto diminui o volume total de água; além disso, Tucci e Mendes (2006) reforçam ainda que o desmatamento pode aumentar a vazão média em função da diminuição da evapotranspiração.

Assim sendo, destaca-se que as áreas ciliares conservadas possuem funções importantes e fornecem serviços ambientais que, além dos benefícios ecológicos, trazem benefícios econômicos e sociais (PERT et al., 2010).

## 2.5 Economia ambiental

O desenvolvimento econômico e o meio ambiente são indiscutivelmente vinculados. Segundo Cavalcanti (2010), a ciência reducionista elevou o conhecimento em muitas e distintas direções, mas privou de ideias sobre como formular e resolver problemas que brotam das interações entre os seres humanos e o meio natural.

Segundo Gonçalves et al. (2011) a economia é uma ciência com objetivos simples. Aspira conhecer o comportamento humano relativamente ao problema dos recursos eminentemente escassos, sua distribuição e utilização. Segundo Lanna (2008), a economia é a ciência social que tem seu foco dirigido à alocação ótima de recursos escassos, no sentido da eficiência e eficácia das atividades econômicas.

As características dos bens ambientais são diferentes das características dos bens comuns porque o oxigênio, os rios, os mares, a flora e a fauna, não possuem direitos de propriedade. A avaliação do meio ambiente, além de salientar o valor econômico dos recursos naturais, indica o prejuízo irrecuperável que poderá advir, caso estes sejam destruídos. Os recursos naturais geram diferentes benefícios, alguns desses podem ser quantificados com facilidade por estarem, de alguma forma relacionados com as leis de mercado (GONÇALVES et al., 2011).

Cavalcanti (2010) em seu estudo sobre economia afirma que afetar o meio ambiente é algo inevitável. Não se vive sem lançar mão dele. A questão é como fazê-lo de forma inteligente, com uso da razão e o propósito de se viver melhor.

Marques e Comune (1997), relatam que eventualmente, os recursos naturais poderão gerar seus próprios mercados, mas não se pode assegurar que tais mercados surgirão antes destes recursos serem extintos ou degradados de forma irreparável. Assim é necessária a valoração ambiental para que a deterioração do meio ambiente seja interrompida.

As mudanças no meio ambiente trazem impactos na economia, é necessário ajustar o tradicional pensamento “custo benefício” ao contexto dos problemas ambientais, mas este pensamento envolve recursos de livre acesso, os quais o sistema de mercados existentes não é capaz de refletir seus valores (TAVARES; RIBEIRO; LANNA, 1999).

Destaca-se aqui, duas correntes de economistas que procuram calcular o valor econômico detido pelo meio ambiente, são elas a economia do meio ambiente, que tem seus fundamentos na teoria neoclássica e a economia ecológica que se

baseia nos fundamentos da termodinâmica que procura valorar os recursos naturais a partir dos fluxos de energia.

De acordo com Andrade e Romeiro (2011), a teoria econômica convencional de cunho neoclássico, não reconhece a problemática do capital natural, possui inspiração mecanicista, sugere que todos os fenômenos são reversíveis e que não há a possibilidade de perdas irreparáveis.

Andrade e Romeiro (2015) mencionam que degradação do capital natural, a perda da biodiversidade e dos serviços ambientais devem ser tratadas por abordagens que reconheçam a sua essencialidade à vida humana, não sendo tratada de forma singular. Baseado nisso, a Economia ecológica tem como princípio a gestão eficiente e sustentável do capital natural.

Para Cavalcanti (2010), a economia convencional trata apenas da espécie humana, e a ecologia convencional estuda todas as espécies, menos a humana. Nos dois casos existe a necessidade de se ter uma visão de conjunto da problemática ecológico-econômica. A Economia Ecológica surge sem dependência disciplinar, seja da economia, seja da ecologia, integrando ambas. Sua visão de mundo teria, pois, que ser transdisciplinar, com foco nas relações entre ecossistemas e sistemas econômicos no sentido mais amplo possível.

### **2.5.1 Valoração ambiental**

De acordo com a United States Environmental Protection Agency (2009), quando as pessoas falam sobre os valores ambientais, o valor da natureza, ou os valores dos sistemas ecológicos e serviços, eles podem ter coisas diferentes em mente que pode dizer respeito a diversas fontes de valor. Além disso, profissionais de distintas áreas compreendem o conceito de valor de variadas maneiras. Estas diferenças criam desafios para avaliações ecológicas que buscam extrair e integrar conhecimentos de múltiplas disciplinas.

Quando um bem é dotado de valor econômico, este é usado de maneira mais racional e eficiente, assim sendo a sociedade possui motivos diversos que a levam valorar os recursos ambientais, em função disso, surgem várias classes de valores (TAVARES; RIBEIRO; LANNA, 1999).

Determinar o valor econômico de um recurso ambiental é estimar o valor monetário deste em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia (MOTTA 1998).

A atribuição de valores é uma tarefa complexa. Uma das maiores dificuldades se deve aos produtos (recurso ambiental) não possuírem mercado definido ou competitivo, serem afetados por externalidades ou serem bens públicos e portanto, não terem direito de propriedade bem definidos, gerando assim as falhas de mercado (SCHAEFFER, 2008).

Motta (1998) destaca que quando os custos da degradação ecológica não são pagos por aqueles que a geram, estes custos são externalidades para o sistema econômico. Assim estes custos afetam terceiros sem a devida compensação.

Para Whately e Hercowitz (2008) as externalidades são efeitos secundários gerados em consequência de uma decisão tomada por um agente econômico individual que afetam outros agentes econômicos sem estes participarem da decisão. As mesmas podem ser positivas ou negativas.

Segundo Motta (1998), a literatura desagrega o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU). O valor de uso pode ser direto quando o indivíduo logo se utiliza do recurso; indireto quando o benefício atual decorre das funções ecossistêmicas; e de opção quando o indivíduo atribui valor em usos direto e indireto que poderão ser optados em futuro próximo.

Maia, Romero e Reydon (2004) relatam que o valor de não uso representa os valores não associados ao consumo, e que referem-se a questões morais, culturais, éticas ou altruística em relação à existência dos bens ambientais, desta maneira é chamado de valor de existência (VE).

Segundo Motta (1998), de acordo com o objetivo da valoração, das hipóteses assumidas, da disponibilidade de dados e do conhecimento da dinâmica ecológica do objeto, será adotado um método para a valoração dos serviços ambientais, o métodos são classificados em:

- *Métodos da função de produção*: métodos da produtividade marginal e de mercados de bens substitutos (reposição, custos evitados e custos de controle). Estes métodos utilizam-se de preços de mercado deste bem ou serviço privado para estimar o valor econômico do recurso ambiental. Assim, os benefícios ou custos ambientais da disponibilidade destes recursos ambientais para a sociedade podem ser estimados.
- *Métodos da função de demanda*: métodos de mercado de bens complementares (preços hedônicos e do custo de viagem) e método da valoração contingente. Estes métodos assumem que a variação da

disponibilidade do recurso ambiental altera a disposição a pagar ou aceitar dos agentes econômicos em relação aquele recurso ou seu bem privado complementar.

Ainda salienta-se, que os atuais preços de mercado dos produtos naturais são quase todos subavaliados, pois não incorporam os custos da extração de recursos renováveis além de sua capacidade de regeneração. Se os danos ambientais pudessem ser inseridos nas funções de produção das empresas, haveria maior viabilidade econômica para atividades sustentáveis como a agricultura orgânica e o manejo florestal, atividades que atualmente ainda dependem da conscientização ambiental da população (MAIA; ROMERO; REYDON, 2004).

## **2.6 Evento extremo em janeiro de 2009 na região de Pelotas**

Em janeiro de 2009 ocorreram eventos de precipitações de grandes proporções que acarretaram consequências como enchentes, inundações e alterações à zona ripária, modificando o uso e cobertura das terras, causando danos às atividades econômicas e ainda causando mortes.

A precipitação atingiu intensamente o arroio Fragata, onde houve a queda de uma ponte na BR 116, que liga Pelotas e Jaguarão, além disso, ocorreram danos a linha férrea descarrilando um trem.

O pluviógrafo da Embrapa Clima Temperado, registrou um total de 464 mm no período de 00:00 horas do dia 28 de janeiro até 24:00 horas do dia 28 de janeiro. A precipitação foi mais intensa na região em que se formam diversos cursos d'água que drenam para Sudeste, na direção da Lagoa dos Patos e do Canal de São Gonçalo. Entre esses cursos d'água destaca-se a rede de drenagem do Arroio Moreira (SALDANHA et al., 2012).

Na estação experimental da Cascata da Embrapa Clima Temperado, os pluviômetros marcaram as chuvas de maiores intensidade, com valores da ordem de 575 milímetros.

Eichholz, Campos e Rasera (2010) concluíram que devido à formação de sistema de baixa pressão e ao alto teor de umidade que se encontrava em 28 de janeiro de 2009 sobre a região de Pelotas, a formação de nuvens convectivas foi favorecida, provocando chuvas intensas nesta região. A chuva medida pela Embrapa na Estação Experimental Cascata é, provavelmente, a maior chuva já medida no Brasil, pelo menos para durações de até 24 horas.

A Defesa Civil do Estado considerou a enxurrada como o maior desastre natural ocorrido na região nos últimos 40 anos. A Prefeitura Municipal de Pelotas decretou situação de emergência através do Decreto 5.142, de 29 de janeiro de 2009, os municípios de Morro Redondo e Capão do Leão também decretaram situação de emergência. de acordo com a Coordenadoria Regional de Defesa Civil milhares de pessoas foram atingidas pela enchente que assolou os municípios em 29 de janeiro de 2009.

Saldanha et al. (2012), relatam que o evento ocorrido nos dias 28 e 29 de janeiro de 2009 em Pelotas, possivelmente seja o mais intenso já ocorrido no Brasil, sendo assim de grande interesse para comunidades técnicas e científicas nas áreas de Recursos Hídricos e Meteorologia.



Figura 1 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009, na bacia de contribuição da Estação Passo dos Carros.

Fonte: Andrea Gerber



Figura 2 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009, na Estação de Tratamento de Água Moreira

Fonte: Andrea Gerber



Figura 3 - Consequências da precipitação extrema de janeiro de 2009 bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

Fonte: Andrea Gerber

Dentre as enchentes que ocorreram na cidade de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão, o evento de precipitação extrema de 2009 se destaca pela quantidade precipitada em pouco tempo, além das consequências graves deste evento, sendo a principal, os casos de vítimas fatais.

Segundo Cruz (2011), o município de Capão do Leão, que possui o contraste de relevo, com nascentes e contribuintes em relativa proximidade da planície, registrou uma degradação extrema, com declarações de óbitos, principalmente por extravasamento do arroio Moreira sobre parte do Jardim América, danificando as instalações industriais de uma cooperativa de produtos lácteos, areais, derrubada de ponte e desconfiguração total de paisagem.

No município de Pelotas, vários eventos de precipitação extrema já ocorreram, em estudo sobre principais eventos de precipitação que causaram inundações em alguns bairros, Hansmann (2013) destacou os principais deles (Tabela 1). Dentre os eventos destacados pelo autor, os que causaram consequências mais significativas são expostos abaixo.

Tabela 1 - Principais eventos de precipitação extrema ocorridos no município de Pelotas

Ano/mês	Milímetros/ horas	Milímetros em 1 hora	Abastecimento de água	Abastecimento de energia elétrica	Estradas bloqueadas	Vítimas fatais
<b>1956 (fev)</b>	114/14	8,1	x	x	x	x
<b>1984 (mai)</b>	100/48	2,1	-	x	-	-
<b>1987 (ago)</b>	142/72	2,0	-	x	-	-
<b>1990 (fev)</b>	309/72	4,3	x	x	-	-
<b>1991 (abr)</b>	185/120	1,5	-	x	-	-
<b>1995 (jul)</b>	81/72	1,1	-	x	-	-
<b>1997 (dez)</b>	129/24	5,4	-	x	-	-
<b>1998 (ago)</b>	280/120	2,3	-	-	x	-
<b>2004(mai)</b>	238/48	5,0	x	-	x	-
<b>2009(jan)</b>	464/24	19,3	x	x	x	x

Fonte: Adaptado de Hansmann 2013

Dentre as enchentes ocorridas que tiveram vítimas fatais se destaca a de 1956 e 2009, segundo Lopes (2007), a enchente de 1956 teve um efeito catastrófico sobre a cidade, pois durante um período de poucas horas uma grande parte do município, principalmente as zonas residenciais, foram invadidas pelas águas do arroio Santa Bárbara e do Pepino.

Visualizando-se a precipitação dos episódios destacados em 1 hora, verifica-se que os eventos extremos de precipitação de 1956 e 2009, resultaram de uma

grande quantidade de água precipitada em pouco tempo quando comparados as demais precipitações.

De acordo com Decreto nº 5.142, DE 29 de janeiro de 2009, a Prefeitura Municipal de Pelotas, declarou situação de emergência devido ao evento denominado enchente ou inundação gradual, que trouxe as seguintes consequências ao Município de Pelotas:

1 – grave comprometimento do abastecimento de água potável devido ao alagamento da Estação de Tratamento do Sinnott e da Estação de Tratamento do Moreira, que representam aproximadamente 45% (quarenta e cinco por cento) do abastecimento total do Município;

2 - a enxurrada destruiu parte do sistema viário, danificando pontes e estradas principalmente na área rural do Município de Pelotas;

3 - como consequência desse desastre natural, resultaram danos materiais e prejuízos econômicos e sociais à população de Pelotas conforme consta no Formulário de Avaliação de Danos, em anexo a este Decreto;

4 - de acordo com a Resolução nº 03 do Conselho Nacional de Defesa Civil – CONDEC, a intensidade do desastre foi disseminada como de nível III, concorre como critérios agravantes da situação de anormalidade, o crescimento da cidade nas últimas décadas, ocupada por grande número de edificações em áreas de risco de inundações.

### **3 Metodologia**

#### **3.1 Localização da área de estudo**

A Bacia de Contribuição da Estação de Monitoramento Passo dos Carros, objeto deste estudo, está inserida na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo e abrange parte dos municípios de Capão do Leão, Pelotas e Morro Redondo.

A Agencia Nacional de Águas divide o território Brasileiro em doze grandes regiões hidrográficas. A bacia hidrográfica da Lagoa Mirim (sub-bacia 88) está situada no extremo sul do Rio Grande do Sul, que com o canal São Gonçalo (ligação com a Lagoa dos Patos), formam o sistema hidrográfico Mirim-São Gonçalo (ANA, 2013).

As sub-bacias Fragata, Santa Bárbara, Pepino e Pelotas afluem para o canal São Gonçalo e este até a lagoa dos Patos. As demais bacias deságuam diretamente na lagoa dos Patos.

O conjunto de drenagem dos Arroios Micaela e Moreira, com nascentes com cota altimétrica respectivamente de 340m e 280m, na localidade de Santa Bernardina e exutórios próximos à estrada Passo dos Carros, formam o arroio Fragata, segundo interpretação da rede hidrográfica e das isolinhas e cotas altimétricas das cartas topográficas “Alto das Pedras de Cima” (SH.22-Y-C-VI-2) e “Monte Bonito” (SH.22-Y-C-VI-2) na escala 1:50 000 (DSG, 1979; 1980).

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo “Cfa”, clima temperado quente úmido (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), apresentando precipitação pluvial anual média de 1.399,9 mm e umidade relativa do ar média de 80,7% (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2015).

Em parte da extensão do arroio Fragata/Moreira se encontra a Estação de Tratamento de Água (ETA) da represa Moreira que fornece 7 milhões de litros de

água tratada por dia a cidade. Localiza-se a 20 km da cidade de Pelotas. A represa Moreira consiste em uma barragem com uma pequena bacia de acumulação de água bruta, para a estação de tratamento, passando a água por filtros e tratamento convencional completo. A ETA Moreira distribui água para vários bairros do município de Pelotas (SANEP, 2013).

A área em estudo apresenta um clima subtropical úmido, sendo a temperatura média anual de 17,6°. Os ventos são, predominantemente, do quadrante leste, e seu clima apresenta forte influência marítima, devido a massa de ar Tropical Atlântica, a região apresenta elevada umidade atmosférica e umidade relativa do ar. Devido a estes fatores, ocorre a amenização da temperatura, tanto no inverno quanto no verão. Já no verão, o local sofre influência da massa de ar Equatorial Continental que ascendendo sobre as camadas frias do ar Polar, resulta em chuvas frontais e trovoadas (SILVA, 2007).

A estação de monitoramento Passo dos Carros é uma seção de controle fluviométrico diário do Arroio Fragata, que é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). A Bacia de Contribuição da Estação Passo dos Carros possui área em torno de 12983.9 hectares, fazendo parte da sub-bacia Fragata/Moreira (Figura 6).

A bacia de contribuição da estação Passo dos Carros é composta em quase sua totalidade pela suíte granítica Pinheiro Machado, na porção central do Batólito de Pelotas que é situado à leste do Escudo Sul-Rio-Grandense (PHILIPP et al., 2008).

Caracteriza-se pela presença da Floresta Estacional Semidecidual como vegetação predominante da região, essas formações vegetais aproximam-se do tipo das florestas secas, cuja fisionomia é marcada, entre outros, pelo fenômeno da estacionalidade e semidecidualidade foliar. A queda foliar das espécies regionais, atinge de 20 a 50% da cobertura vegetal superior da floresta (LEITE; KLEIN, 1990).

### **3.2 Delimitação da bacia de contribuição e sua rede hidrográfica**

A delimitação da bacia de contribuição estação Passo dos Carros e sua rede hidrográfica foi realizada em ambiente SIG ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008), foram utilizados os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), adquiridos via download (NASA, 2015).

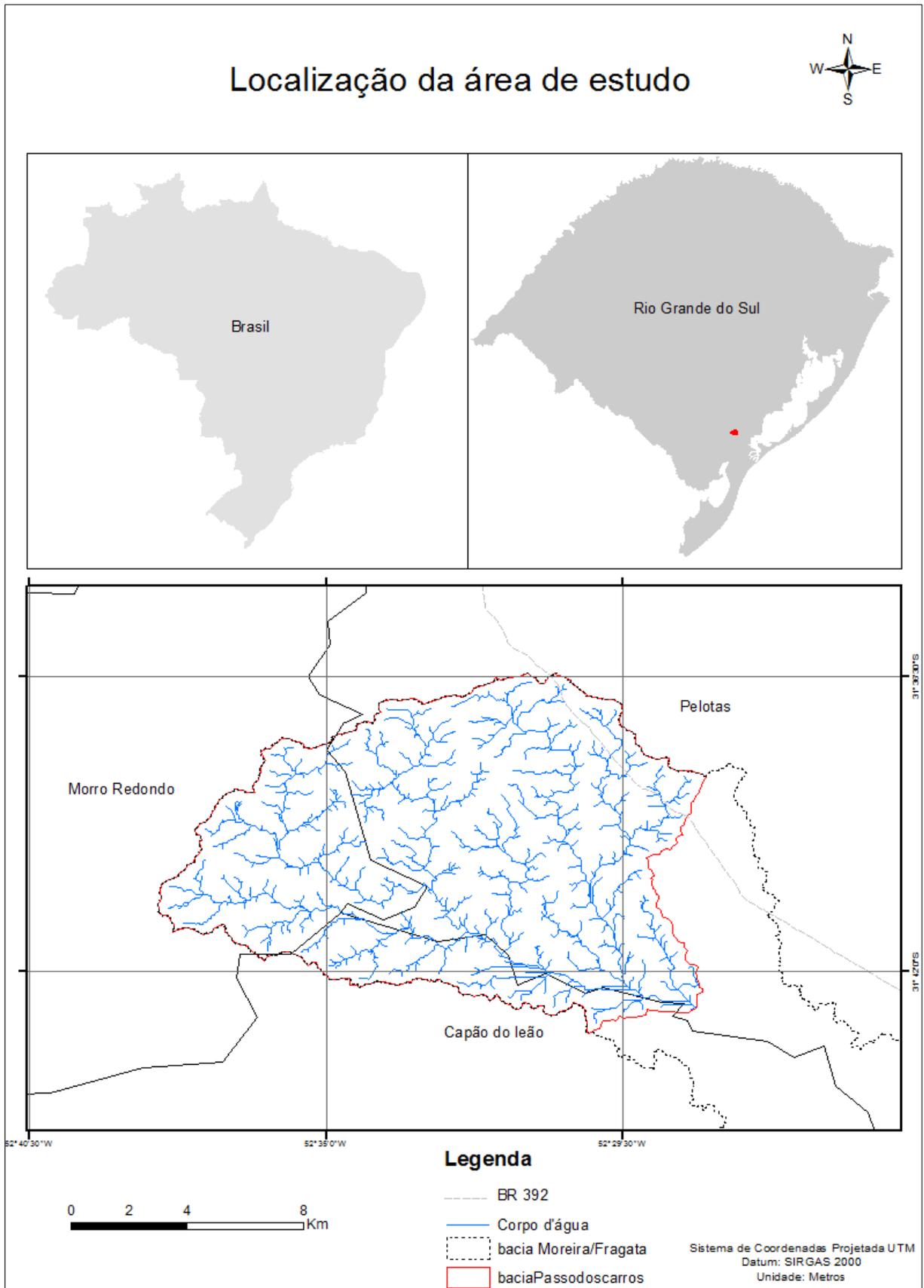


Figura 4 - Localização da área de estudo no contexto nacional, estadual e local, sendo caracterizados os limites da sub-bacia, as principais estradas e a rede hidrográfica associada.

A Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi desenvolvida pela NASA em fevereiro de 2000. Originalmente foram disponibilizadas, imagens com pixel de 90m, posteriormente uma nova coleção de imagens revisadas com pixel de 30m foi disponibilizada. Seus dados são dispostos publicamente em escala global por intermédio do United States Geological Survey (USGS).

A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo todo o processo realizado com o ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008):

a) preenchimento de depressões (“fill sinks”), que considera as altitudes dos pixels vizinhos para preencher as falhas (“sinks”), promovendo, assim, melhor consistência do resultado;

b) direção de fluxo (“flow direction”), que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, adotando-se por base a linha de maior declividade do terreno;

c) fluxo acumulado (“flow accumulation”) que representa a rede hidrográfica;

d) delimitação de bacias (“Watershed”), que é realizada processando os mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado.

### 3.3 Tempo de concentração

O tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial no ponto de saída.

Este parâmetro foi utilizado para os cálculos de vazão da área de estudo e foi calculado pela fórmula de Dodge (PORTO, 1995), utilizando-se a seguinte equação:

$$T_c = 21,88 \times A^{0,41} \times S^{-0,17} \quad (1)$$

Em que:

T<sub>c</sub> - tempo de concentração (min);

A - área da bacia (km<sup>2</sup>);

S - declividade média do talvegue (m/m).

### 3.4 Caracterização morfométrica da bacia

Procurando estabelecer relações entre os parâmetros área, declividade, comprimento de canais, densidade de drenagem, coeficiente de compacidade e índice de circularidade e sua influência em relação aos eventos de precipitação extrema, foram calculados os parâmetros morfométricos.

Para a obtenção destes parâmetros da bacia, foram utilizados os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Desta forma, utilizando a ferramenta *Slope* da extensão *Spatial Analyst* (ESRI, 2008), obteve-se a declividade da área de estudo.

Para a caracterização morfométrica, utilizou-se também o Plano de Informação (PI) da hidrografia do local. As fórmulas para obtenção dos parâmetros morfométricos são apresentadas na Tabela 2 (TONELLO, 2005).

Tabela 2 - Fórmulas para a obtenção de parâmetros morfométricos na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

Característica	Equação	Elementos da equação
Coeficiente de compacidade $K_c$	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	$P$ =Perímetro; $A$ =Área.
Densidade de drenagem $D_d$	$D_d = \frac{L}{A}$	$L$ =Comprimento total dos cursos de água; $A$ =Área.
Índice de circularidade $I_c$	$I_c = \frac{A}{A_c}$	$A$ =Área; $A_c$ =Área de um círculo com mesmo perímetro.

### 3.5 Precipitação na bacia de contribuição

Para os posteriores cálculos de vazão e lâmina escoada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros, utilizaram-se os dados de precipitação diária da localidade de Pelotas/RS, obtidos no Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado, além de dados de precipitação da Estação de Tratamento de Água Moreira. Os valores utilizados são referentes ao dia 29 de janeiro de 2009.

Também foram verificados os dados de vazão e cotas provenientes da Estação Fluviométrica Passo dos Carros (Código 8875000), também para o dia em que ocorreu o evento de precipitação extrema.

### 3.6 Solos da bacia

A distribuição geográfica dos diferentes tipos de solos da área em estudo foi obtida a partir de informações contidas Cunha e Silveira (1996) e pela classificação de Flores, Filippini-Alba e Wrege (2009). Com a base de dados e o limite da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros construiu-se o mapa de solos do local de estudo.

Os tipos de solos encontrados na bacia de contribuição são Argissolos, Neossolos, Planossolos e Gleissolos. A distribuição destes solos é apresentada na figura 7.

Os Argissolos são predominantes na área de estudo, formando os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, além dos Argissolos Amarelos em associação com Neossolos.

Os Neossolos encontram-se na região em menor proporção, formando Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos em associação com afloramento de rochas. Já os Planossolos se encontram nas áreas mais baixas, em uma unidade em associação com os Gleissolos, e em outra em com os Argissolos.

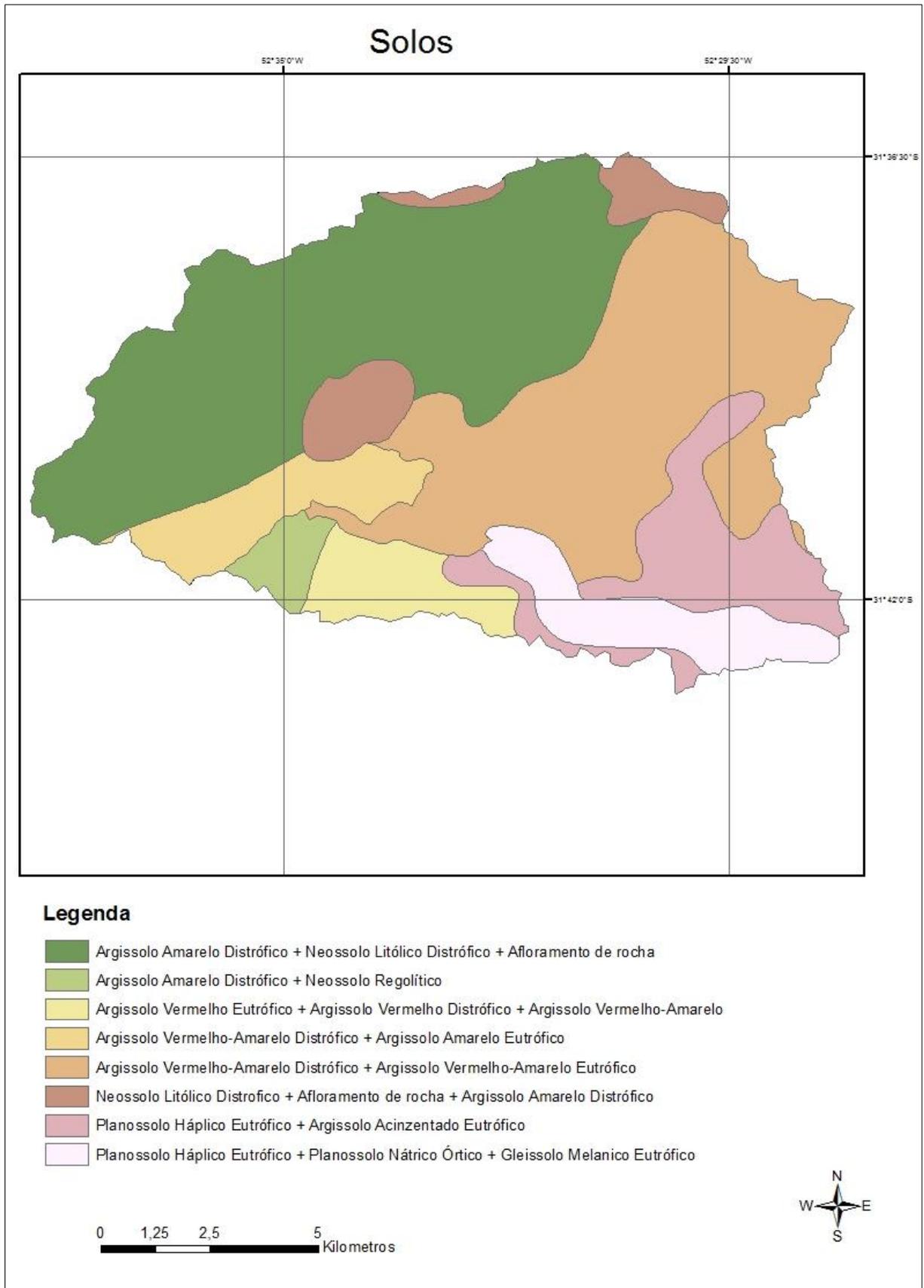


Figura 5 - Mapa de solos da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

### 3.7 Uso da terra na bacia de contribuição

Para a verificação detalhada do uso da terra e suas modificações após o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009, foram digitalizadas as áreas que se encontram 100 metros ao redor dos cursos d'água dentro do local de estudo. Para isto, realizou-se uma interpretação visual das imagens de alta resolução dos satélites da *Digital Globe Inc.*, disponibilizadas pelo *Google Earth™* (GOOGLE, 2013).

Primeiramente, foram digitalizadas em tela, individualmente, as categorias de uso da terra: campestre, produção vegetal, florestal, corpo d'água, Estação de Tratamento de Água (ETA), erosão marginal, silvicultura e urbano para o ano de 2006 utilizando a opção de “imagens históricas” do software *Google Earth* (GOOGLE, 2013). Posteriormente foi confeccionado, da mesma forma, o PI de uso da terra com a mesmas classes, para o ano de 2013.

Estes dados foram transferidos para um ambiente SIG, ArcGis 9.3 (ESRI, 2008), e convertidos em *layers/shapefile* para permitir sua edição topológica, associação a um banco de dados geográfico, quantificação das áreas e geração dos mapas de uso da terra para os dois períodos.

Posteriormente, o Plano de Informação (PI) do uso da terra de toda a extensão da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros foi construído a partir da classificação supervisionada de um mosaico de quatro cenas de imagens de satélite Rapideye, do dia 6 de setembro de 2011, disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente. A constelação de satélites RapidEye é formada por 5 satélites e fornece imagens comerciais desde fevereiro de 2009. Juntos os satélites idênticos de observação da Terra são capazes de coletar mais de 5 milhões de km<sup>2</sup> de imagens com 5 metros de resolução e 5 bandas, Vermelha, Azul, Verde, Infravermelho próximo e Vermelho Limítrofe.

Na classificação supervisionada, o usuário seleciona os alvos de interesse, por meio de polígonos que representam a resposta de cada classe. O software considera as estatísticas dos *digital numbers* dos pixels inseridos no interior de cada polígono e estabelece um padrão para cada classe. Desta forma foram selecionados alvos de interesse, e divididas as classes em: campo, produção vegetal, floresta, silvicultura, recursos hídricos, urbano, estradas, mineração e arenização, de maneira semelhante com trabalhos anteriores (FILIPPINI ALBA; NÓBREGA; SCHRODER, 2012).

### **3.8 Obtenção de dados de perdas consequente das enchentes e caracterização dos serviços ambientais atingidos**

Para a obtenção dos dados referentes às consequências da enchente do evento de precipitação extrema de 2009, nos municípios pertencentes a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros, foram utilizados levantamentos realizados pelas prefeituras.

Foram analisados os relatórios de avaliação de danos (AVADAN) das secretarias dos municípios de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo, da EMATER e da defesa civil. Estes dados foram digitados em planilha eletrônica.

O AVADAM é um formulário padrão para avaliação de danos em desastres, adotado pelo Sistema Nacional de Defesa Civil como protocolo oficial de comunicação às suas diversas instâncias. Constitui-se num instrumento da Política Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 1995) que exige do gestor local, no caso de desastre, frequente atualização da informação e comunicação da mesma aos níveis superiores do sistema para o acompanhamento das ações públicas.

Também foi realizado reconhecimento a campo para a verificação das áreas afetadas, que ainda sofrem as consequências do evento de precipitação extrema de 2009.

Posteriormente, foram caracterizados os serviços ambientais que foram afetados com as consequências da enchente de janeiro de 2009. Os serviços ambientais foram divididos de acordo com Millennium Ecosystem Assessment (2005), em serviços de provisão, suporte, regulação e cultural. Assim com a análise das tabelas de danos ambientais verificou-se os serviços ambientais atingidos.

### **3.9 Cálculo da lâmina escoada na bacia de contribuição**

A partir dos valores referentes ao evento de precipitação extrema de janeiro de 2009, foi calculado o escoamento superficial. Este se refere a parcela da precipitação que escoam superficialmente expressa em lâmina média de água na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.

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

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

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 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 as classes de solos em quatro grupos hidrológicos (SARTORI, 2005), os solos podem ser enquadrados nestes grupos hidrológicos de acordo com Sartori, Lomabrdi Neto e Genovez (2005a):

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.

Enquadra-se neste grupo:

Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; Latossolo Amarelo E Latossolo Vermelho AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.

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.

Enquadra-se neste grupo:

Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno; Nitossolo Vermelho; Neossolo Quartzarênico; Argissolo Vermelho ou Vermelho Amarelo de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

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.

Enquadra-se neste grupo:

Argissolo pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háptico ou Húmico, mas com características físicas semelhantes aos Latossolos (latossólico); Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.

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.

Enquadra-se neste grupo:

Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo; Alissolo; Luvisolo; Plintossolo; Solos de mangue; afloramentos de rocha; Demais Cambissolos que não se enquadram no Grupo C; Argissolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Tabela 3 - Valores de CN em função do uso da terra e do seu grupo hidrológico

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
<b>Plantações regulares</b>	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
<b>Campos Permanentes</b>	Normais	30	58	71	78
	Esparsas de baixa transpiração	45	66	77	83
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
<b>Solo lavrado</b>	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
<b>Florestas</b>	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
<b>Chácaras e estradas de terras</b>	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92

Fonte: TUCCI, 1993.

A partir do PI de Solos (Figura 5) foi realizada a divisão dos solos encontrados na área de estudo em grupos hidrológicos, segundo a classificação proposta por Sartori, Lomabrdi Neto e Genovez (2005a). A partir desta divisão em conjunto com o PI de uso da terra, foram definidos os valores de Curva Número (CN).

Para o cálculo do escoamento foi utilizado o programa ArcGis, através da extensão *raster calculator*, calculado pixel a pixel. Posteriormente todos os valores dos pixels foram somados para que resultasse, assim, no volume total de água escoada na bacia de contribuição do Passo dos carros. Em seguida foram determinadas as lâminas médias de água na área de estudo.

### 3.10 Cálculo da vazão do evento de precipitação de 2009 na bacia de contribuição

Para obtenção da vazão de pico foram calculados os parâmetros do Hidrograma Unitário Sintético Triangular do SCS (1972), cuja metodologia consiste, primeiramente na determinação da duração da chuva:

$$t_r = 0,133 \times t_c \quad (4)$$

Em que:

$t_r$  – duração da chuva (horas);

$t_c$  – tempo de concentração (minutos).

Conhecendo a duração da chuva de projeto, foi obtido o tempo entre a metade da precipitação e o instante de pico ( $t_p$ ):

$$t_p = 0,6 \times t_c \quad (5)$$

Em que:

$t_p$  – tempo de pico (horas);

$t_c$  – tempo de concentração (horas).

O tempo de instante do pico ( $T_p$ ) foi obtido pela expressão:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_c \quad (6)$$

Em que:

$t_r$  – duração da chuva (horas);

$t_c$  – tempo de concentração (horas);

$T_p$  – tempo de pico (horas).

Para definir o tempo entre o início e o fim do escoamento superficial, foi calculado o tempo de base ( $t_b$ ):

$$t_b = 2,67 \left( \frac{t_r}{2} \right) + t_p \quad (7)$$

Em que:

$t_b$  – tempo de base (horas);

$t_r$  – duração da chuva (horas);

$t_p$  – tempo de pico (horas).

Assim, a vazão de pico ( $Q_p$ ), foi determinada mediante a expressão:

$$Q_p = \left( \frac{0,208 \times A}{t_p} \right) \quad (8)$$

Em que:

$Q_p$  – vazão de pico ( $m^3s^{-1}$ );

$A$  – área da bacia ( $km^2$ );

$t_p$  – tempo de pico (horas).

Conhecidos os valores de  $t_p$  e  $Q_p$ , foram determinadas as ordenadas do hidrograma unitário, mediante aplicação da metodologia do hidrograma unitário adimensional (SCS, 1972).

Obteve-se o hidrograma através do produto entre as ordenadas do hidrograma unitário e os valores de precipitação excedentes, obtidos a partir dos hietogramas efetivos (DAMÉ et al., 2010).

### 3.11 Simulação hidrológica com diferentes usos em diferentes áreas

Neste trabalho foram simulados escoamentos para três eventos de precipitação. Primeiramente foi simulado um evento de precipitação baixa e para isso utilizou-se uma precipitação de 140 milímetros, o segundo evento de chuva simulado foi uma precipitação alta com 350 milímetros e a terceira simulação para representar um evento de precipitação muito alta, com 575 milímetros de chuva, o que representa o evento extremo que é objeto desta pesquisa. Estes valores foram escolhidos aleatoriamente, apenas tendo como parâmetro a precipitação muito alta que é referente ao evento de precipitação extrema de janeiro de 2009.

Com a aplicação do método exposto acima (SCS, 1986) obteve-se o escoamento superficial para cada precipitação simulada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros em seu uso atual (real), pixel a pixel. Para que se verificasse as variações deste escoamento de acordo com o uso do solo foram construídos cenários demonstrativos em toda a extensão da bacia.

Primeiramente fez-se simulações de escoamento onde a bacia de contribuição em estudo fosse totalmente coberta por florestas (C.D. Floresta),

posteriormente onde esta fosse totalmente coberta por áreas de solo lavrado (C. D. Solo Lavrado), para que assim inicialmente se obtivessem cenários demonstrativos da área de um uso conservado, real e intenso e seus consequentes impactos no aumento ou redução do escoamento superficial da área de estudo (Figura 8).

Após foram construídos três faixas de entorno dos cursos de água (Buffers), com 30, 50 e 100 metros em cada lado. Esses buffers também chamados de Áreas de Preservação Permanente, foram determinadas a partir das definições Novo Código Florestal, Lei 12651 de maio de 2012, em que as faixas mínimas destas áreas, para propriedades acima de 2 módulos fiscais, é 30 metros, faixas essas, que aumentam de acordo com a largura do curso d'água.

Assim, nesses buffers foram simulados diferentes usos, além do uso conservado em que toda a área do buffer é simulada como sendo vegetação ciliar (Buffer Floresta), foi simulado o Buffer Solo Lavrado. Com estes diferentes usos foi estimado o impacto que estes tamanhos de buffers iriam causar no escoamento superficial da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros.

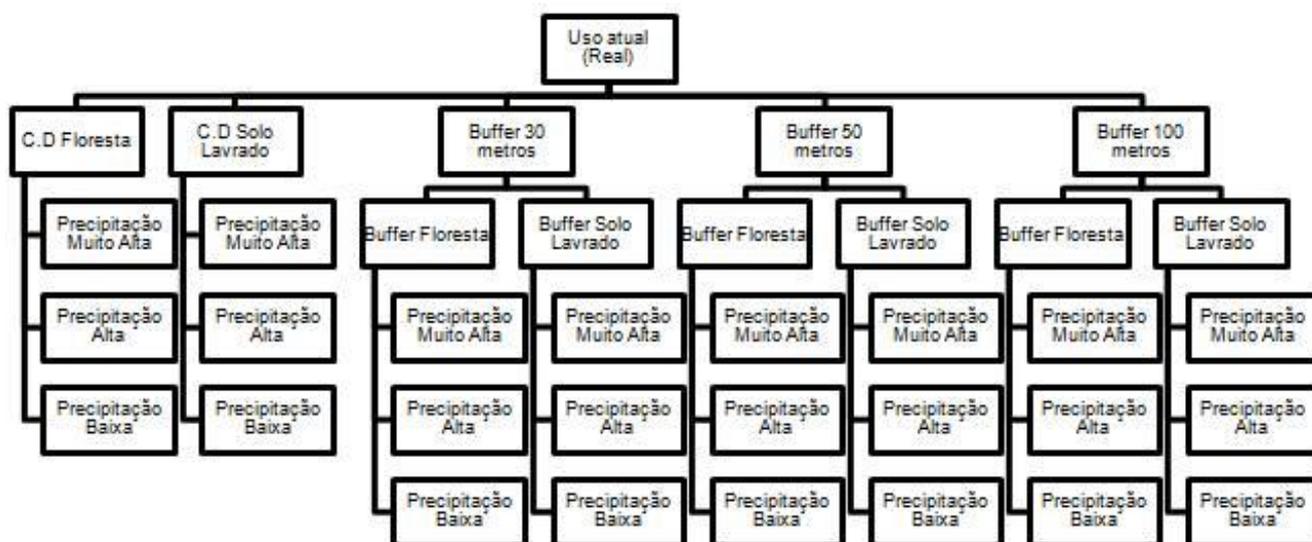


Figura 6 - Organograma ilustrativo das simulações (cenários) realizadas

### 3.12 Valoração dos serviços ambientais

Realizou-se a valoração dos serviços ambientais nas áreas dos buffers, segundo o método da produção marginal, que é utilizado quando o recurso a ser analisado é fator de produção ou insumo de produção (MOTTA, 1998). Estas áreas

foram assim valoradas uma vez que para a condição dessas extensões tornarem-se em florestas, seriam valores de produção que não seriam adquiridos pois estas áreas deixariam de ser produtivas.

Os valores de produção dos usos do solo em seu uso atual, foram obtidos por hectare/ano. Desta forma, cada classe de uso: produção vegetal, campestre e silvicultura foram valoradas economicamente, obtendo-se assim, os valores referentes dos serviços ambientais prestados por estes usos.

Para a produção vegetal foram obtidos valores de produção da cultura da soja segundo a Produção Agrícola Municipal para o município de Pelotas IBGE (2014), valores estes que se aproximam de outros estudos como Belarmino et al. (2012) e Agriannual (2014).

Para a classe campestre foi utilizado o valor da terra para Pastagem nativa de campos em Pelotas, segundo o Agriannual (2015). Da mesma forma para o uso silvicultura foram utilizados dados referentes ao valor da produção de Eucaliptos, segundo o Agriannual 2015.

Para valorar os serviços ambientais das vegetações ciliares, se padronizou dois tipos de serviço ambientais de provisão que podem ser afetados por eventos extremos: serviços relacionados a quantidade e qualidade da água.

Foi considerado a importância da vegetação ciliar para a manutenção da qualidade da água minimizando a lixiviação de nutrientes, e também a representativa ação destas áreas na redução do escoamento superficial direto e assim na minimização de danos com as enchentes. Desta forma estes dois serviços foram padronizados como os serviços prestados quando os buffers se encontram no uso floresta.

Para os dois serviços de provisão foram definidos parâmetros para a sua valoração. Em relação aos serviços ambientais prestados que influenciam a qualidade da água foram pesquisados referenciais teóricos verificando a quantidade de nitrogênio e fósforo perdidos pelo escoamento em eventos de precipitação. Além disso, foram adquiridos dados da quantidade destes nutrientes encontrados na estação de Tratamento do Água Moreira, nos últimos anos. Cabe destacar que os dados destes nutrientes referentes ao período do evento estudado não existem em função dos danos que ocorreram na estação de tratamento.

Os prejuízos referentes a presença de nitrogênio e fósforo em excesso na água foram avaliados a partir dos custos que a empresa responsável pelo tratamento da água do município de Pelotas despense para a eliminação destes

agentes na água da ETA Moreira que é destinada para o consumo da população. Estes custos foram definidos como o valor do serviço ambiental para a manutenção da qualidade de água.

Para avaliar os serviços prestados que influenciam na redução do escoamento foram utilizados os dados referentes aos relatórios de avaliação de dano da Defesa Civil (AVADAN), em que estão definidos economicamente os gastos consequentes do evento de precipitação extrema nos municípios atingidos. Desta forma o valor do serviço ambiental foi definido a partir dos custos de reposição dos danos da enchente.

Estas valorações foram fundamentadas no método de valoração de serviços ambientais denominado "Custo de Reposição", que segundo Motta (1998) representa os gastos incididos pelos usuários em bens substitutos para garantir o nível desejado de uma área ou produto, ou seja, representa o valor monetário que é utilizado para repor um produto ou uma área atingida.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Mapa de declividade da área em estudo

Verifica-se que a área da bacia apresenta valores de declividades variando, principalmente, de 0 a 20% (Figura 7 e Tabela 4), faixas essas enquadradas nas seguintes classes de relevo, de acordo com Santos et al. (2006): plano, suave ondulado e ondulado.

Tabela 4 - Classes de relevo e respectivas faixas de declividade na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

<b>Classes de relevo</b>	<b>Faixas de declividade</b>	<b>%</b>
Plano	0 – 3	8.73
Suave ondulado	3 – 8	33.88
Ondulado	8 - 20	48.97
Forte Ondulado	20 - 45	8.39
Montanhoso	>45	0.02

Fonte: Santos et al. 2006

A bacia de contribuição da estação Passo dos carros possui relevo predominantemente ondulado, faixa de declividade de 8 a 20%, ocupando 49% do território em estudo. Em cerca de 83% das áreas predominam o relevo suave ondulado e ondulado.

A declividade mais elevada, ou seja, faixa de declividade acima de 20%, pode ser vista na parte superior da bacia de estudo, podendo propiciar um aumento do escoamento superficial direto nesta área.

Analisando a suscetibilidade de enchentes na bacia do rio do Sinos/RS, Brubacher, Oliveira e Guasselli (2011) destacaram que as áreas que possuem relevo ondulado (>20%) apresentaram mais características que favorecem ao rápido escoamento das águas e a ocorrência de enchentes de curta duração, com possibilidade de enxurradas nestas regiões.

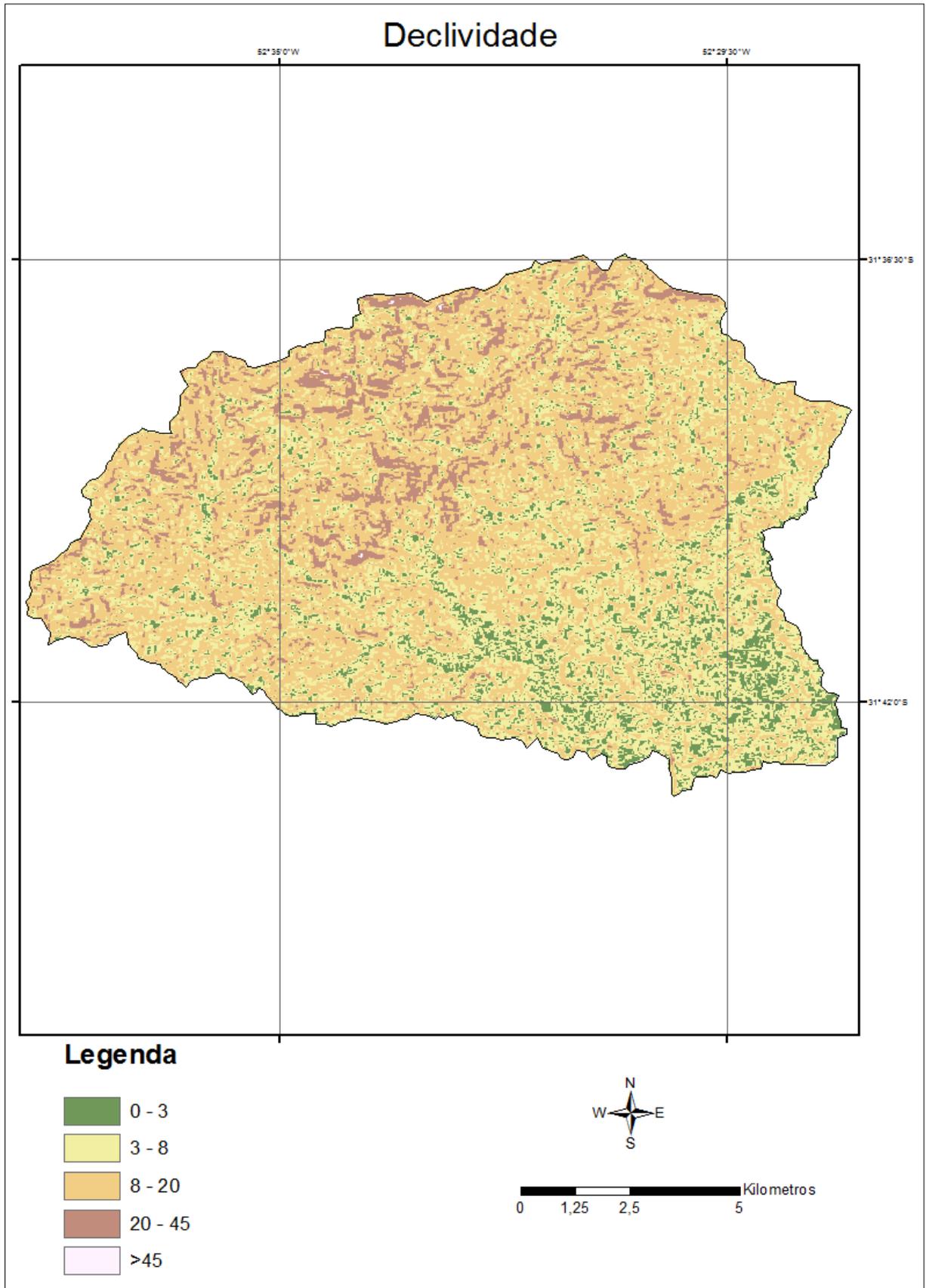


Figura 7 - Mapa de declividade (%) da área da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

Ainda destaca-se que as áreas com declividade mais elevadas necessitam de especial atenção sobre a capacidade de uso destas áreas visando a adequada conservação dos solos. Sobre isto, Lepsch et al. (1991) relatam que para as faixas de declividade de 10 a 15%, a depender do tipo de solo, são áreas facilmente erodíveis, que necessitam de práticas complexas de conservação para sua utilização. A classe de declividade entre as faixas 15 a 45%, ou seja, em relevo com acentuada declividade é recomendável somente o uso máquinas agrícolas especiais ou mais leves.

#### 4.2 Levantamentos das características morfométricas

Na tabela 5, apresentam-se as principais características morfométricas da Bacia de contribuição da estação Passo dos Carros, resultado da metodologia apresentada anteriormente.

Tabela 5 - Caracterização morfométrica na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>
Área da bacia (Km <sup>2</sup> )	129,83
Perímetro da bacia (Km)	56,86
Comprimento dos canais (Km)	305,46
Declividade média (%)	10,36
Densidade de drenagem	2,35
Coefficiente de Compacidade	1,39
Índice de circularidade	0,50

A bacia de estudo possui área de 129.83km<sup>2</sup>. Verifica-se que os valores do coeficiente de compacidade e o índice de circularidade não estão próximos a 1, estes resultados demonstram que a bacia possui uma forma mais alongada e assim sem tendência a circularidade, conseqüentemente não sendo suscetível a inundações e a formação de enchentes. Segundo Teodoro et al. (2007), para uma bacia ser alongada o coeficiente de compacidade precisa ser significativamente maior que 1. Cardoso et al. (2006) relata que em bacias com forma circular, a probabilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão é elevada, concentrando grande volume de água no tributário principal.

A densidade de drenagem na área estudada é considerada baixa de acordo com Christofolletti (1980), os valores menores que 7,5km/km<sup>2</sup> representam baixa densidade de drenagem. Já de acordo com Villela e Mattos (1975), considera-se que a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros, possui média capacidade de

drenagem, pois o autor considera que os valores variam de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km<sup>2</sup>, ou mais, em bacias bem drenadas.

Valor semelhante de densidade de drenagem foi encontrado na bacia do rio Debossan em Nova Friburgo, Rio de Janeiro, considerando que a bacia em estudo possuía média capacidade de drenagem (CARDOSO et al., 2006). Já Tonello (2005) em sua pesquisa na bacia da cachoeira das Pombas obteve baixa densidade de drenagem com valor de 1,049km/km<sup>2</sup>.

A declividade média na bacia em estudo é 10,36%, sendo este valor condizente com o relevo da área considerado principalmente ondulado de acordo com a figura 9. Segundo Tonello (2005) a declividade média de uma bacia hidrográfica é importante no planejamento, pois possui relevante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos.

#### **4.3 Uso da terra ao redor dos corpos d'água antes e após o evento de precipitação**

No presente estudo, foi realizada a interpretação visual em tela das imagens, para obter o delineamento e quantificação dos principais usos em volta dos cursos d'água nas áreas mais atingidas pelo evento de 2009, essa análise ocorreu na bacia de contribuição da estação de tratamento de água do Moreira.

Considerando as duas imagens (Figura 8) e suas áreas delimitadas e quantificadas (Tabela 6) através de um buffer contendo 100 metros em cada lado do corpo d'água verifica-se principalmente o acréscimo de áreas chamadas de erosão marginal.

As áreas de erosão marginal são locais em volta dos cursos d'água que foram perdidas por erosão. Com a intensidade da enxurrada e a declividade do local, as margens foram danificadas após o evento de janeiro de 2009 e outras áreas principalmente os locais planos se tornam depósitos de sedimentos. Além disso, as atividades de silvicultura também estão se intensificando verificando-se um acréscimo nas áreas utilizadas para este fim. Outra constatação são a área de pedreira que anteriormente não estava presente na área de estudo.

Tabela 6 - Classes de uso da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros com buffer de 100 metros

	<b>2006</b>	<b>2013</b>
<b>Usos</b>	<b>Hectares</b>	<b>Hectares</b>
Corpo d'água	2,3	3,5
Campestre	875,5	838,3
Urbano	2,5	5,6
ETA	1,3	1,3
Florestal	935,0	940,3
Produção Vegetal	388,4	331,6
Erosão Marginal	2,8	29,8
Silvicultura	40,2	87,6
Pedreira	.....	10,0

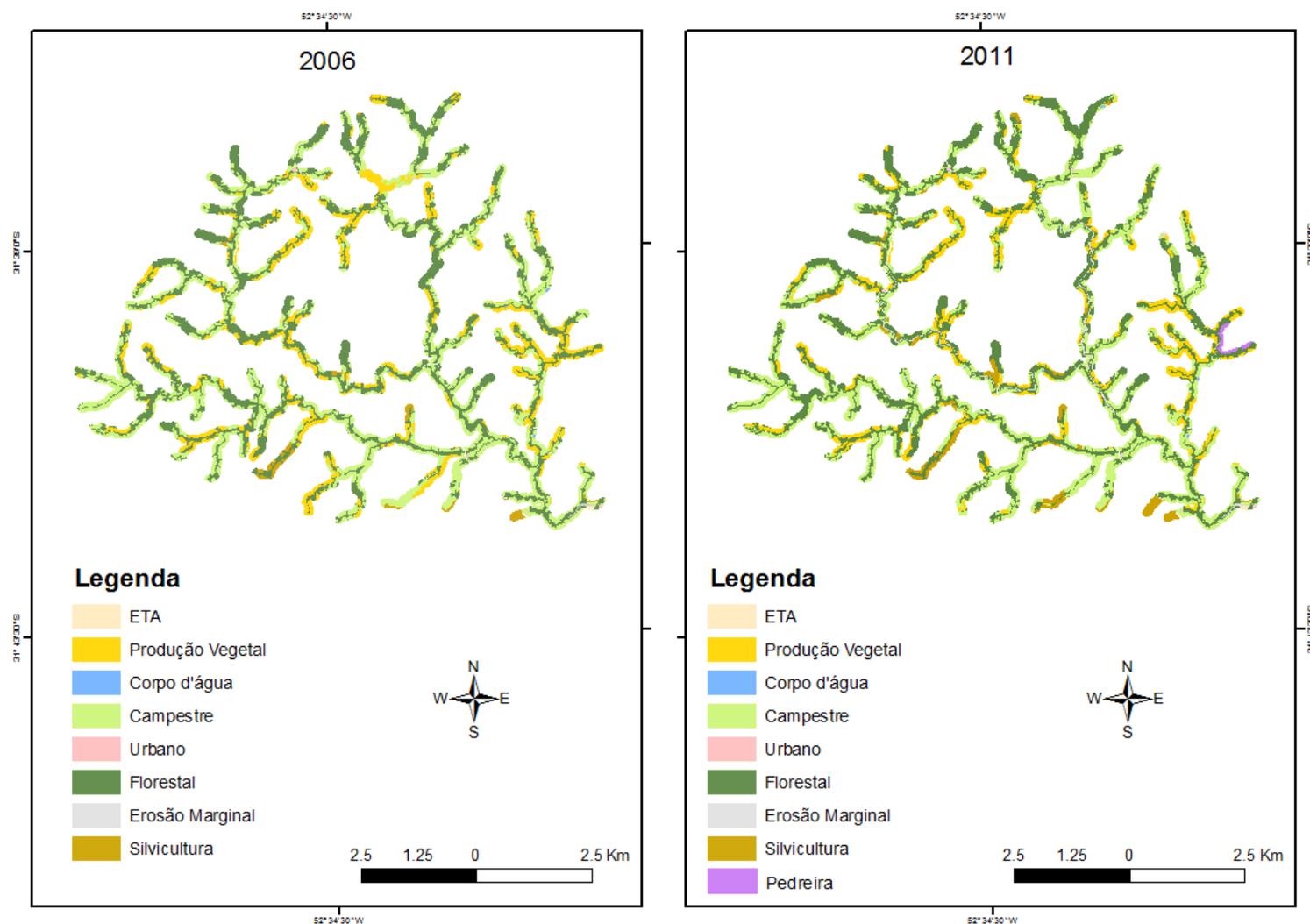


Figura 8 - Mapa de uso da terra em volta dos cursos de água (buffer 100 metros) anterior e posterior ao evento de precipitação extrema de 2009 na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

#### 4.4 Classificação do uso da terra

Com a classificação supervisionada de imagens de satélite Rapideye, verificou-se que grande parte da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros é classificada como florestal, representando 43% da área total (Tabela 7 e Figura 9). Na parte alta e mais declivosa da bacia esta classe é representada por floresta em estágios mais avançados, já na parte baixa, verifica-se estas áreas principalmente em galerias de rios, reduzindo sua quantidade e sendo caracterizado por estágios mais iniciais de florestas.

Esta extensa área florestal e o pequeno uso produtivo desta parte da área de estudo pode ser explicado também pelo tipo de solo que é encontrado no local. Nesta área se encontram os solos do tipo Argissolos Amarelo e Neossolos Litólicos (Figura 7).

O primeiro solo destacado, caracteriza-se por ser solo profundo e bem drenado mas suscetível a erosão. Cunha(1996) relata que nas áreas com estes solos e relevo ondulado as condições para cultivos anuais são boas se controlada a erosão e corrigida a fertilidade. O segundo tipo de solo da área são solos rasos, com limitações quanto a capacidade de infiltração. Apresentam fortes efeitos da erosão laminar e podem ser cultivadas com culturas anuais, desde que a erosão seja controlada (CUNHA, 1996).

A classe campestre é o segundo uso mais representativo da bacia hidrográfica estudada, contemplando 33% da área total. Compreende as áreas de campo nativo, sendo utilizadas para a criação de animais.

Na classe produção vegetal se enquadram as áreas de pastagens, plantações de fumo, milho, pomares de fruticultura e plantio de hortaliças, atividades predominantes na agricultura familiar de subsistência na região estudada.

Áreas mais extensas desta classe são visualizadas na parte baixa da bacia onde o relevo é de plano a suave ondulado e os solos desta área são do tipo Planossolo. Estes solos são imperfeitamente ou mal drenados, nas baixadas, várzeas e áreas de depressões, sob condições de clima úmido, são hidromórficos. Segundo Cunha (1996), estes solos apresentam condições muito favoráveis aos cultivos anuais irrigados, em virtude das condições planas do relevo, apesar de apresentarem sérias restrições à drenabilidade do solo.

Na classe “erosão marginal”, estão às áreas que não possuem nenhuma cobertura vegetal e que não são utilizadas, se encontram principalmente à beira dos cursos d’água.

As classes “urbano” e “estradas” ocupam uma pequena área representado 3,9% e 2,7% da área total respectivamente, justificando a paisagem da área de estudo eminentemente rural. A principais infraestruturas são habitacionais e comerciais.

A pedreira encontrada na região consiste no decapeamento, desmonte da rocha com uso de explosivos, carregamento e transporte do minério e seu posterior beneficiamento, utilizados na duplicação da rodovia do contorno de Pelotas. Esta atividade pode estar sendo a responsável por impactos ambientais, pois interfere diretamente no meio ambiente como descrito nos trabalhos de Milani et al. (2010) e Simon e Cunha (2008), principalmente por estar próxima a um dos contribuintes do arroio Moreira, causando supressão da mata nativa existente no local.

Tabela 7 - Classes de uso da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

<b>Classe de uso da terra</b>	<b>Hectares</b>
Campestre	4354,0
Corpo d'água	55,9
Estradas	356,9
Florestal	5646,0
Produção Vegetal	1486,4
Pedreira	17,6
Silvicultura	650,5
Erosão Marginal	20,5
Urbano	396,2
<b>Somatório</b>	<b>12983,9</b>

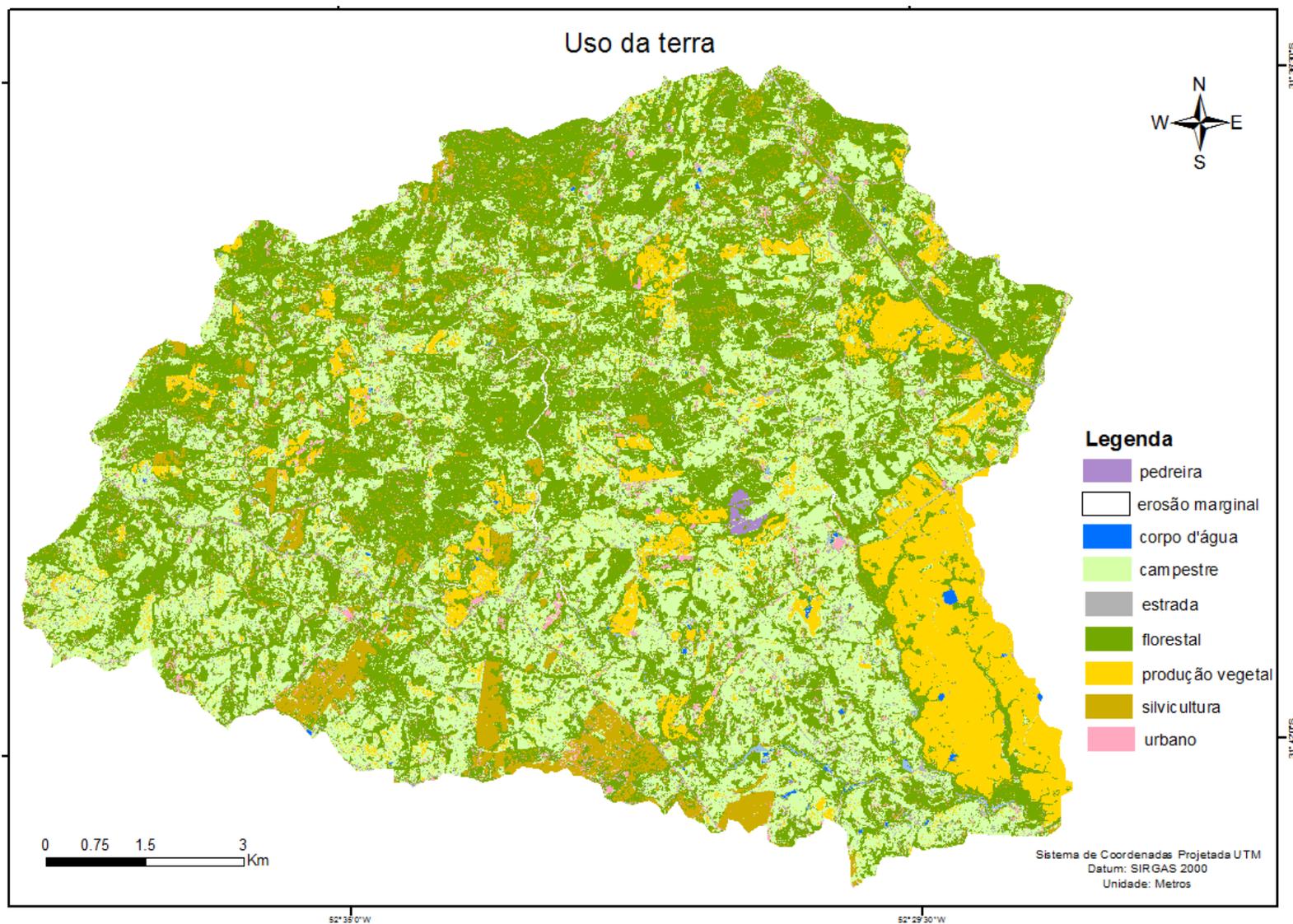


Figura 9 - Mapa de uso da terra (real) na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros a partir de imagem do dia 6 de setembro de 2011.

#### **4.5 Levantamentos das perdas econômicas consequentes do evento de precipitação de 2009**

A precipitação de 28 de janeiro de 2009 trouxe várias consequências para os municípios de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo. Diante disto, a prefeitura realizou trabalhos de averiguação dos estragos e sua recuperação. Os danos causados com as enchentes são relatados no Relatório de Avaliação de Danos (AVADAN) da defesa civil e das prefeituras dos municípios.

Nas tabelas 8, 9, 10, 11, 12 e 13, encontram-se exemplificados e quantificados os danos decorrentes do evento de precipitação de 2009 nos municípios de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão.

Em relação aos prejuízos econômicos apresentados na Tabela 8, no setor de agricultura verifica-se o município de Pelotas com uma grande perda em grãos e cereais.

O município de Capão do Leão teve um dano muito elevado da produção frutífera local. Além do prejuízo para a Extração Mineral do município que chegaram a 600.000 reais.

Já o município de Morro Redondo teve um grande dano do setor da Pecuária com uma grande perda com a produção de leite, totalizando um prejuízo de 45 mil reais.

Verificando os prejuízos sociais de acordo com a Tabela 9, ressalta-se que o maior prejuízo foi em relação a rede de abastecimento de água, comprometida nos três municípios, somando prejuízos de 700.000, 5.000 e 87.000 reais respectivamente, para os municípios de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão. Além disso, em Pelotas houve danos nas Estações de Tratamento de Esgoto do município.

No setor ambiental (Tabela 10) destaca-se no município de Pelotas os prejuízos em relação a água. Em decorrência dos danos nas Estações de Tratamento, a qualidade da água foi afetada comprometendo assim o abastecimento da população com água potável.

Além dos graves danos trazidos com o evento de precipitação de 2009, que afetaram fortemente a vida da população, ainda ocorreram perdas de vida, visto que a defesa civil contabilizou a morte de duas pessoas no município de Pelotas (Tabela 11).

Tabela 8 - Prejuízos econômicos da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

Setor econômico	Municípios					
	Pelotas		Morro Redondo		Capão do Leão	
	Prejuízos					
	Toneladas	Mil reais	Toneladas	Mil reais	Toneladas	Mil reais
<b>Agricultura</b>						
Grãos, cereais e leguminosas	9.100	6.298,00	372	118	1.170	1.564,00
Fruticultura	-	-	30	21	9.200	36,00
Horticultura	130	154,60	10	72	-	-
Comercial (arroz)	-	-	-	-	1.500	7.071,12
Outras	600	3.000,00	30 (fumo)	157,50	17(fumo)	112,00
<b>Pecuária</b>	<b>Cabeças</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Cabeças</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Cabeças</b>	<b>Mil reais</b>
Grande porte	300	300,00	45	57	203	296,50
Pequeno porte	-	-	-	-	175	17,50
Apicultura (ton)	350	42,00	-	-	-	-
Outros (gado leiteiro)	18.000 L/dia	90,00	90.000 L/dia	45	22.648 L/dia	11,00
Psicultura	-	-	20.000 mil unid.	40	-	-
Avicultura	-	-	11.200 unid.	61,23	850	4.025,00
<b>Serviços</b>	<b>Prestação de serviços</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Prestação de serviços</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Prestação de serviços</b>	<b>Mil reais</b>
Comércio	4 unid.	400	-	-	-	-
<b>Indústria</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Produção</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Toneladas</b>	<b>Mil reais</b>
Extração Mineral	-	-	-	-	20.000	600

Fonte: AVADAN

Tabela 9 - Prejuízos sociais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009

Setor	Município					
	Pelotas		Morro Redondo		Capão do Leão	
	Prejuízos					
<b>Abastecimento de água</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Mil reais</b>
Rede de distribuição	1000m	700,00	2500m	5,00	300m	87,00
Estação de Tratamento	2unid.	2.806,10	-	-	-	-
Manancial	2unid.	1.442,80	-	-	-	-
<b>Energia Elétrica</b>	<b>Consumidores</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Consumidores</b>	<b>Mil reais</b>		
Consumidor sem energia	-	-	6199	20,00	-	-
<b>Saúde</b>	<b>Por dia</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Por dia</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Por dia</b>	<b>Mil reais</b>
Assistência médica	256	11,97	120	30,00	-	-
Prevenção	498	3,15	-	-	-	-
<b>Transporte</b>	<b>Unidades</b>					
Meios	328	89,99	-	-	-	-
Terminais	28	30,80	-	-	-	-
<b>Esgoto</b>	<b>Unidades</b>					
Estação de tratamento	2	188,70	-	-	-	-
<b>Lixo</b>	<b>Quantidade (ton)</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Quantidade (ton)</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Quantidade (ton)</b>	<b>Mil reais</b>
Coleta	-	-	-	-	260	32,00

Fonte: AVADAN

Tabela 10 - Prejuízos ambientais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009.

<b>Setor do ambiente</b>	<b>Município</b>		
	Pelotas	Morro Redondo	Capão do Leão
<b>Prejuízos</b>			
<b>Água</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>
Esgotos sanitários	188,70	-	-
Outras	2.806,10	-	-
<b>Solo</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>
Outros	500,00	-	-
Erosão	-	-	4.500,00
<b>Flora</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>	<b>Mil reais</b>
Outros	19.914,84	-	-
Desmatamentos	-	3.000,00	-

Fonte: AVADAN

Tabela 11 - Prejuízos humanos da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

<b>Danos Humanos</b>	<b>Município</b>		
	Pelotas	Morro Redondo	Capão do Leão
<b>Prejuízos</b>			
<b>Quantidade</b>			
Pessoas afetadas	57.916	6.199	23.655
Mortes	2	-	-

Fonte: AVADAN

Tabela 12. Prejuízos materiais da enchente consequente do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

Prejuízos Materiais	Município					
	Pelotas		Morro Redondo		Capão do Leão	
	Prejuízos					
Edificações	Quantidade	Mil reais	Quantidade	Mil reais	Quantidade	Mil reais
Residenciais populares	1.943	3.707,28	6	60,00	439	3.691,00
Públicas de saúde	-	-	-	-	6	500,00
Infraestrutura	Quantidade	Mil reais	Quantidade	Mil reais	Quantidade	Mil reais
Obras de arte	95	2.004,32	125	930,00	-	-
Estradas (km)	800	7.016,88	300	780,00	156	3.068,00
Rurais (km)	400	800,00	150	320,00	150	600,00
Pavimentação vias urbanas (mil m <sup>2</sup> )	139.110	6.178,59	-	-	46.500	1.850,00
Industriais	30	2.000,00	-	-	2	3.200,00
Comerciais	22	1.500,00	-	-	25	350,00

Fonte: AVADAN

Tabela 13. Perdas em arborização de mata ciliar ao longo dos cursos d'água atingidos pela enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009

Curso d'água	Quantidade de Mudanças	Orçamento R\$
Arroio Pelotas	240.000	3.600.000,00
Arroio Fragata (Moreira)	98.610	1.479.150,00
Arroio Grande Turuçu + Arroio Santa Clara	148.548	2.228.220,00
Arroio Corrientes	262.254	3.933.810,00
Arroio Santa Eulália + Arroio Kaster	148.788	2.231.820,00
Arroio Contagem	235.080	3.526.200,00
Arroio do Ouro + Arroio Cadeia	123.144	1.847.160,00
Arroio Santa Maria	71.232	1.068.480,00
<b>Somatório</b>		<b>19.914.840,00</b>

Fonte: Relatório de perdas em arborização de mata ciliar ao longo dos cursos d'água atingidos. Secretaria de qualidade ambiental, 27 de abril de 2009.

Dentre os prejuízos materiais da enchente de janeiro de 2009, destaca-se a quantidade de casas populares atingidas, perfazendo 1943 casas no município de Pelotas. Além disso, as 6 edificações públicas em Capão do Leão.

Com a enchente muitas estradas foram atingidas. Em diversas localidades houve problemas para a população se deslocar de uma região para a outra. De acordo com a Tabela 12, 800km em Pelotas, 300km em Morro Redondo e 156km de estradas em Capão do Leão foram danificadas em consequência da enchente.

Além de todos os prejuízos elencados tem-se os danos que ocorreram ao longo dos cursos de água atingidos pelo evento de precipitação de janeiro de 2009, sendo muitas áreas devastadas com a força das águas. De acordo com a Tabela 13, os prejuízos, expressos em custos de reposição de mudas, foram de R\$19.914.840,00.

Registros também apontam estradas e pontes que sofreram danos, como consequência disso, o deslocamento de uma região para outra foi prejudicado. Na figura 4 foram localizadas as principais pontes e trechos de estradas atingidos pela enchente consequente do evento de precipitação de 2009, os pontos numerados 1, 2 e 3, estão exemplificados na figura 5. Segundo a Prefeitura Municipal de Pelotas os gastos na recuperação de pontes somaram R\$ 9.483.386,00.



Figura 10 -Mapa de pontos afetados com a enchente consequente do evento de precipitação extrema de 2009 na região de Pelotas.

Fonte: COINPEL, 2013



Figura 11 -Consequências do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009 na região de Pelotas

Fonte: zh.clicrbs.com.br

#### 4.6 Caracterização dos serviços ambientais hidrológicos afetados pelo evento de precipitação extrema de 2009

Com este desastre natural resultante do evento de precipitação de janeiro de 2009, muitas áreas naturais foram totalmente afetadas, comprometendo assim a prestação de serviços ambientais destes locais atingidos.

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio classificou os serviços ambientais em quatro categorias fundamentais: provisão, regulação, cultural e de suporte (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). A partir destas quatro categorias citadas acima, foram classificados os serviços ambientais hidrológicos afetados com o evento de precipitação extrema de 2009 na Bacia de Contribuição da estação Passo dos Carros.

De acordo com as tabelas 8, 9 e 10, apresentadas anteriormente constata-se a grande quantidade de serviços de provisão afetados. Esses serviços compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e que são proporcionados diretamente à sociedade. Verifica-se que grandes áreas de agricultura e pecuária foram danificadas, atividades estas que abasteciam o município com alimentos. Além disso, ocorreram danos à estação de tratamento de água que abastece o município de Pelotas (Figura 12), além de grande devastação nas áreas de matas ciliares, comprometendo a qualidade de água da população.



Figura 12 -Laboratórios e canos danificados da ETA Moreira após o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

Outro serviço ambiental afetado pelo evento de precipitação extrema de 2009 foram os serviços de suporte, que são o que propiciam as condições para que os demais serviços ambientais sejam disponibilizados à população, são indiretos, constatados em longo prazo. Dentro destes serviços estão as áreas de florestas, que sofreram grandes danos dentro da área de estudo.

Estimou-se um prejuízo de R\$ 3.000.000,00 em desmatamento para o município de Morro Redondo e, para Capão do Leão, um prejuízo de R\$ 4.500.000,00 causado pela erosão. Estes danos afetaram os cursos d'água e a biodiversidade do local. Costanza et al. (2011) relata que a conservação das matas ciliares beneficia o meio para o desenvolvimento de população de espécies aquáticas ou de transição entre áreas aquáticas e terrestres.

Com todos os danos verificados com evento de precipitação extrema de 2009, compreende-se que os serviços de regulação foram representativamente afetados pois a regulação natural dos processos ecossistêmicos foi comprometida pelas áreas erodidas, pelas matas ciliares danificadas pelo elevado nível de água que se acumulou em algumas áreas (Figura 13).



Figura 13 -Área de campo próxima ao curso de água que foi totalmente coberta pela água após o evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

Além dos serviços já mencionados, destaca-se os serviços ambientais culturais que foram afetados com o evento de precipitação de 2009. Várias áreas e

estruturas que contribuem para o bem-estar da sociedade como prédios públicos, casas, estradas, camping, matas ciliares foram danificadas. Essas áreas propiciam benefícios a população em geral, como oportunidades de lazer, ecoturismo e recreação.

As consequências do evento de extremo de janeiro de 2009 ainda podem ser verificadas atualmente. Analisando alguns locais dentro da área de estudo, foram encontradas áreas em processo de erosão que estão modificando as propriedades, sendo que esta transformação de cenário iniciou com a enchente de 2009 (Figura 14).



Figura 14 - Local ao redor do curso de água em processo de erosão na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

Foram observadas ao longo da rede hidrográfica da bacia de Contribuição da Estação Passo dos Carros algumas transformações tais como o alargamento do leito em função da erosão marginal, o barramento de um curso d'água provocado pelo imbricamento de blocos e o entulhamento dos cursos d'água nos trechos de menor declividade pelos sedimentos oriundos das áreas a montante. Com a forte precipitação do evento de 2009, capacidade de suporte dos cursos d'água foi excedida, desta forma, a água escoada abriu canais de passagem de escoamento de precipitações (Figura 15).



Figura 15 -Desvio do curso original de passagem do escoamento das chuvas na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

#### 4.7 Tempo de concentração e vazão resultante do evento de janeiro de 2009

O tempo de concentração calculado para a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros foi de 237 minutos.

No gráfico abaixo são apresentados os valores de vazão da área em estudo, obtidos a partir da precipitação de janeiro de 2009, da estação meteorológica da Embrapa Clima Temperado, Estação Experimental da Cascata.

Com o hidrograma (Figura 16) verifica-se que a vazão de pico foi de  $1436.84\text{m}^3/\text{s}$ , demonstrando a grande magnitude do evento de precipitação estudado. Andrade Filho, Brik e Sandaka (2012) analisando evolutivamente hidrogramas e cenários de ocupação das bacias de contribuição do manancial Alagados em Ponta Grossa, Paraná, salientam que os resultados obtidos com os hidrogramas podem contribuir para o desenvolvimento de ações de prevenção de enchentes, erosões, voçorocas, assoreamento e mitigação de impactos ambientais, bem como o dimensionamento de estruturas de drenagem.

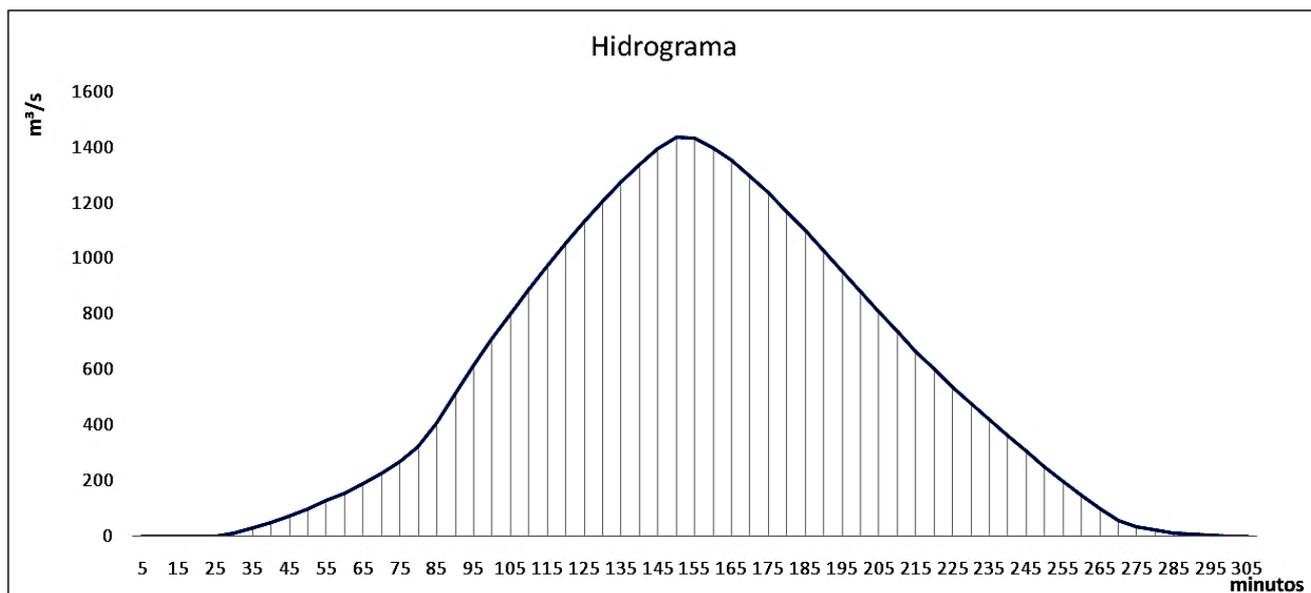


Figura 16 -Hidrograma do evento de precipitação extrema de 2009 para a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros

#### 4.8 Lâmina escoada na bacia de contribuição

Foram calculados as lâminas escoadas para três eventos de precipitação: precipitação muito alta (Figura 17), precipitação alta (Figura 18) e precipitação baixa (Figura 19). Além disso, foram simulados dois outros cenários quando a bacia está coberta por florestas e quando a bacia está coberta por solo lavrado.

Verifica-se o grande aumento deste escoamento quando a bacia está totalmente coberta pelo uso solo lavrado. Com este cenário tem-se um solo descoberto, sem coberturas vegetais. Conseqüentemente diversos serviços ambientais não seriam prestados, trazendo assim um aumento da água que posteriormente alcançará o exutório. O inverso é percebido quando se tem área coberta pela floresta, demonstrando que cenários conservados podem reduzir a quantidade de escoamento em uma bacia hidrográfica.

Simulando uma precipitação baixa (PB) no uso atual foram escoados 36mm, para o cenário demonstrativo floresta este valor se reduziu a 23,5mm e já para o cenário solo lavrado o valor subiu para 48mm. Para precipitação alta os valores foram 159mm, 133mm e 212mm para os cenários atual, floresta e solo lavrado

respectivamente e para a precipitação muito alta os valores foram, 310mm, 276mm e 371mm (Figura 20).

Sahin e Hall (1996) analisaram estatisticamente os dados de experimentos disponíveis referentes aos distintos escoamentos e consequentes vazões em função do desmatamento, observaram que o desmatamento de florestas com precipitação menor que 1.500mm tem como consequência um escoamento médio de 169mm para retirada de 100% da área florestada, enquanto que para valores maiores que 1.500mm de precipitação, o efeito é de 201mm.

Já Costa, Botta e Cardille (2003) avaliaram uma longa série temporal de 50 anos de vazão do Rio Tocantins em Porto Nacional e a precipitação dessa área de drenagem durante um período de mudanças na cobertura vegetal da bacia. Concluíram que em 1995, a atividade agrícola tinha aumentado substancialmente, com cerca de 49% da área da bacia usada para cultivo e pastagem. A comparação de um período com pouca mudança na cobertura da terra (período 1, 1949 – 1968) com um período de mudanças mais intensas na cobertura vegetal (período 2, 1979 – 1998) indica que, embora a precipitação sobre a bacia não seja estatisticamente diferente entre os períodos 1 e 2, a média anual de vazão no período 2 é 24% maior do que no período 1, e a vazão na estação de alto escoamento é 28% maior.

Procurando verificar o efeito dos usos do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimento na bacia do Ribeirão Concórdia em Santa Catarina, Perazzoli, Pinheiro e Kaufmann (2013), salientam que em curto prazo, grandes alterações no uso e ocupação do solo acarretaram maiores impactos no regime e na disponibilidade hídrica da bacia. Da mesma forma, Blainski et al. (2011), na bacia rio Aranguá em Santa Catarina, demonstram que a vazão média diária anual foi maior no cenário com solo exposto.

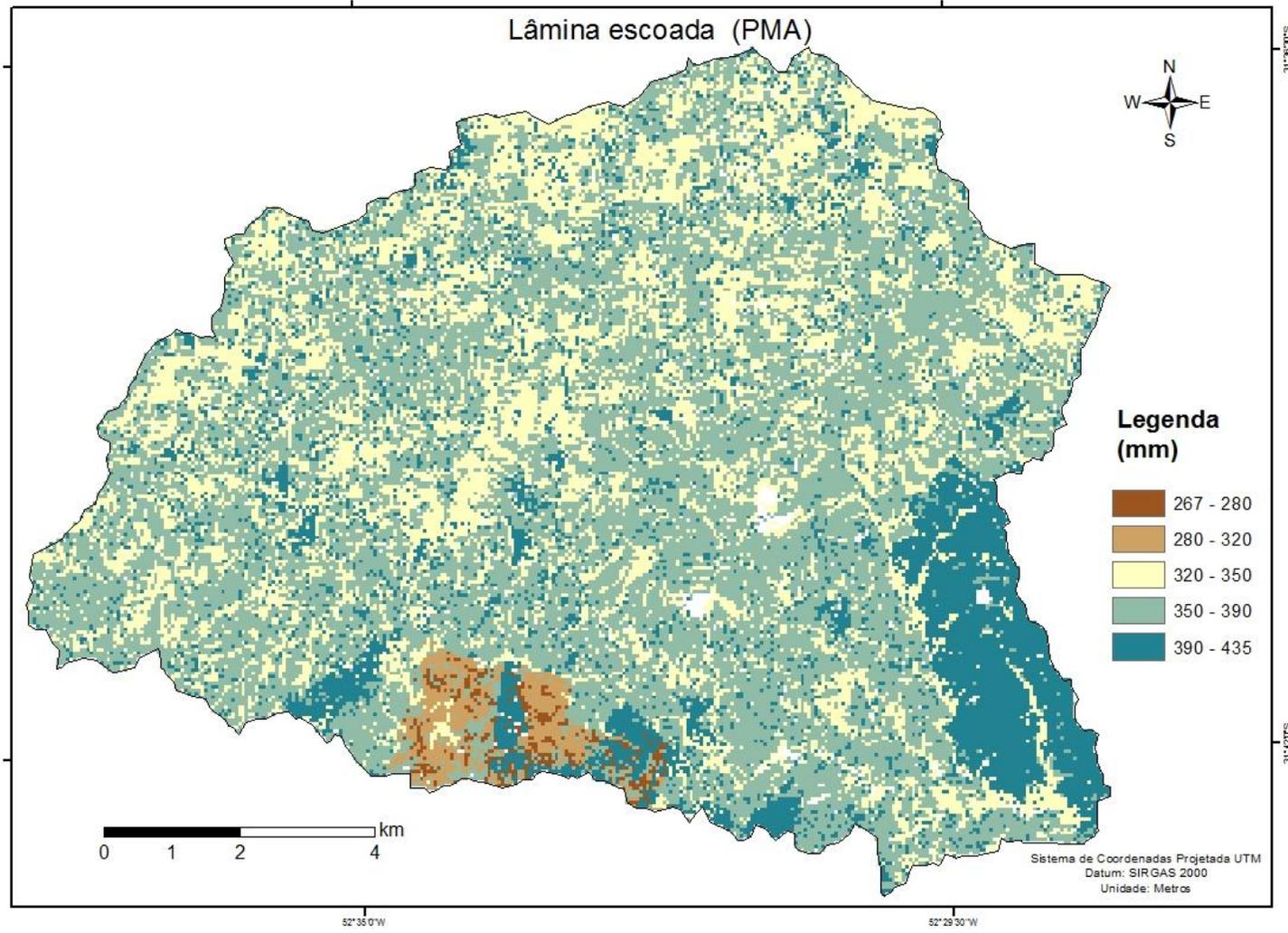


Figura 17 -Escoamento Superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação muito alta

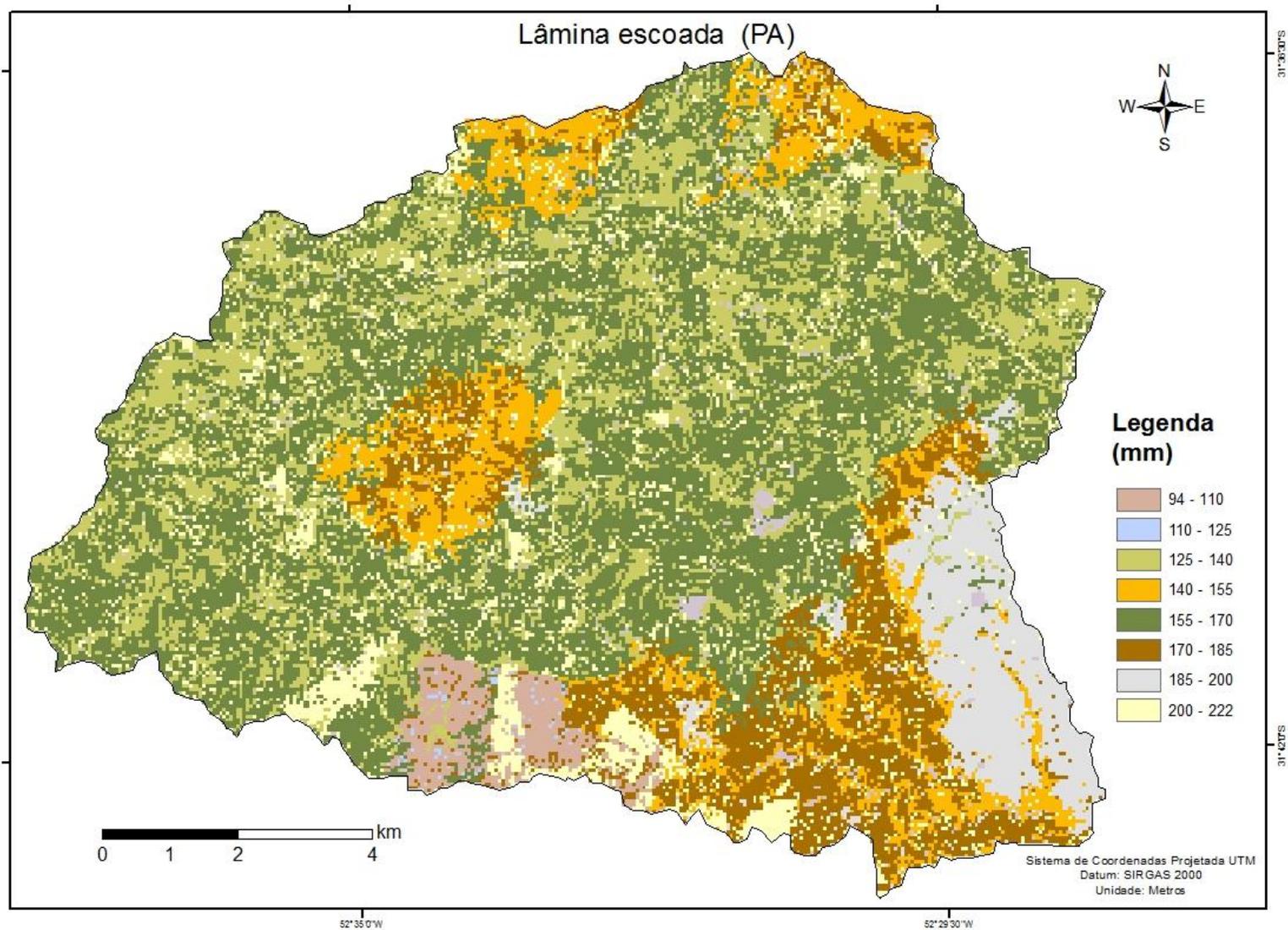


Figura 18 -Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação alta

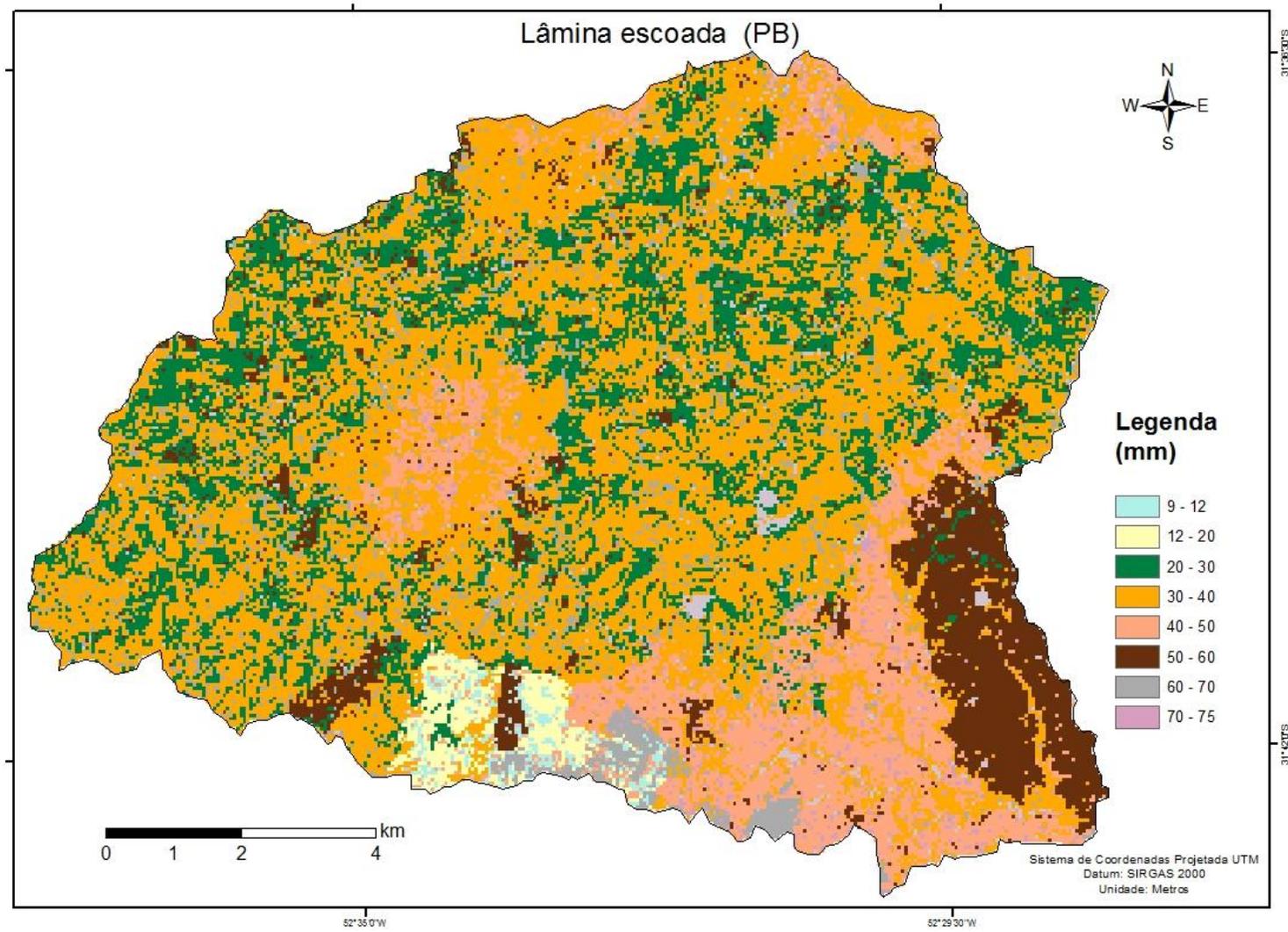


Figura 19 -Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação baixa

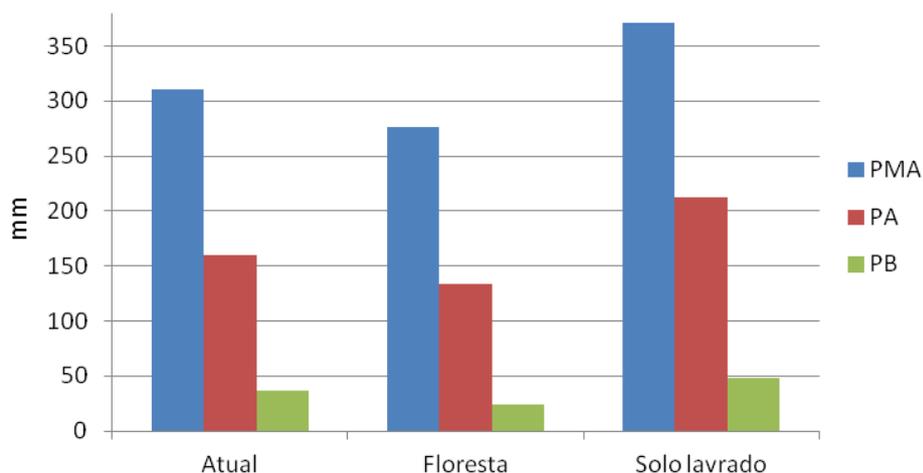


Figura 20 -Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para Precipitação Muito Alta (PM), Precipitação Alta (PA) e Precipitação Baixa (PB)

Analisando os valores de lâminas escoadas por hectares (Figura 21) verifica-se que os usos urbano, estradas e arenização são os que geram as maiores lâminas escoadas. A falta de cobertura vegetal causa um aumento do escoamento como foi verificado por Tucci e Clarke (1997), onde verificaram que a bacia que possuía mata começou o escoamento após 50mm de precipitação e a bacia desmatada iniciou o escoamento com 25mm. Da mesma forma, Fernandes et al. (2013), comparando o escoamento gerado em áreas com cana de açúcar e floresta ripária confirma que as áreas de floresta ripária são zonas de menor geração de escoamento, ressaltando assim a importância destas áreas.

Zhang, Dawes e Walker (2001) afirmam que as coberturas florestais têm maior evapotranspiração do que outros tipos de cobertura vegetal. Em uma microbacia florestada situada em um local cuja precipitação anual média igual seja igual a 1000mm apresentará aproximadamente 800mm de evapotranspiração anual, enquanto uma microbacia coberta por gramíneas apresentará 400mm. Desta forma o rendimento hídrico em áreas com cobertura vegetal é significativamente menor. A diferença de produção de água reflete as diferentes taxas de evapotranspiração dessas vegetações distintas.

Além da influência da cobertura, os solos da região também influenciam no escoamento, principalmente as áreas que correspondem aos usos em solos do grupo hidrológico que geram maior escoamento superficial. Sartori, Lombardi Neto e

Genovez (2005a), destacam que os solos dos grupos hidrológicos C e D possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão.

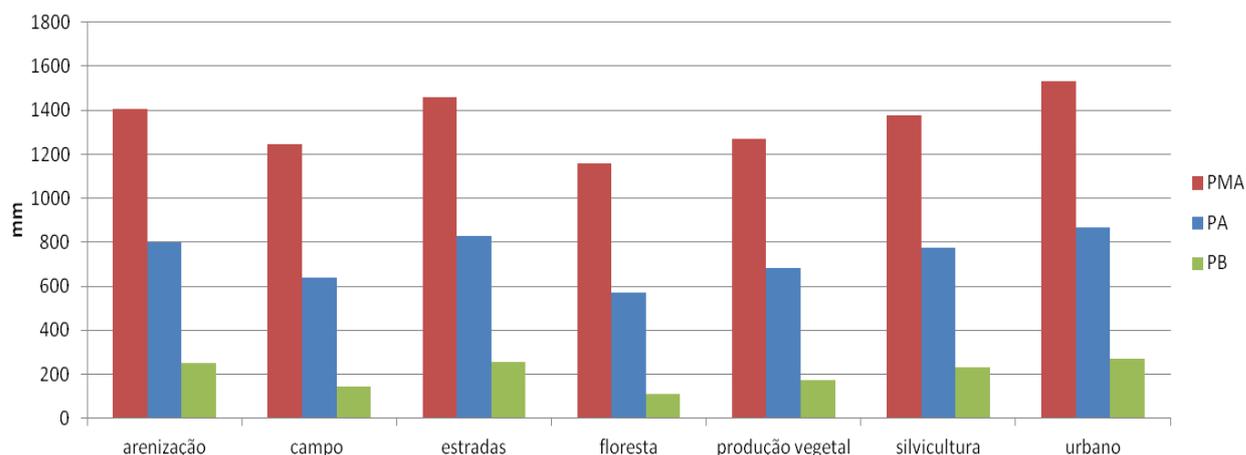


Figura 21 -Gráfico do escoamento superficial por hectare para os diferentes usos da terra na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para Precipitação Muito Alta (PM), Precipitação Alta (PA) e Precipitação Baixa (PB)

Com as simulações (Tabela 14), visualiza-se as diferenças nas lâminas escoadas para os cenários conservados. Quando o buffer floresta simulado foi de 30m para uma precipitação baixa a lâmina escoada passou de 36.1mm para 34.2mm, já com um buffer de 100m este valor reduziu para 31.1mm.

Na figura 22 se encontra a lâmina escoada para a bacia de contribuição da estação Passo dos Carros quando é simulado um buffer de 100 metros ao redor dos cursos de água para uma precipitação alta. Comparando esta imagem com a mesma simulação de precipitação, mas sem buffer (Figura 19) se verifica que as áreas onde se encontram os buffers ocorre uma diminuição na quantidade escoada de 6%, como era o esperado. Vogel, Zawadzki e Metri (2009) destacam que as matas ciliares agem como um obstáculo ao livre escoamento da água.

Analisando as figuras 23, 24 e 25 é possível perceber que quando existem áreas de matas ciliares ao redor dos cursos de água, acontece uma redução do escoamento, como é verificado nas áreas com os menores valores (Figura 23). Da mesma forma, quando esse cenário passa a ser de degradação ou de uso intenso, percebe-se um aumento significativo desta lâmina escoada (Apêndices A e B).

Tabela 14 - Lâminas escoadas para precipitações e cenários simulados

	Precipitação Baixa			Precipitação Alta			Precipitação Muito Alta		
	Floresta	Solo Lavrado	Real	Floresta	Solo Lavrado	Real	Floresta	Solo Lavrado	Real
Buffer 30m	34.2	40.1		155.1	165.5		303.8	316.3	
Buffer 50m	33.3	42.8		153.2	170.2		301.3	321.8	
Buffer 100m	31.1	48.9		148.7	180.6		295.7	334.1	
Sem buffer			36.1			159.8			310.8

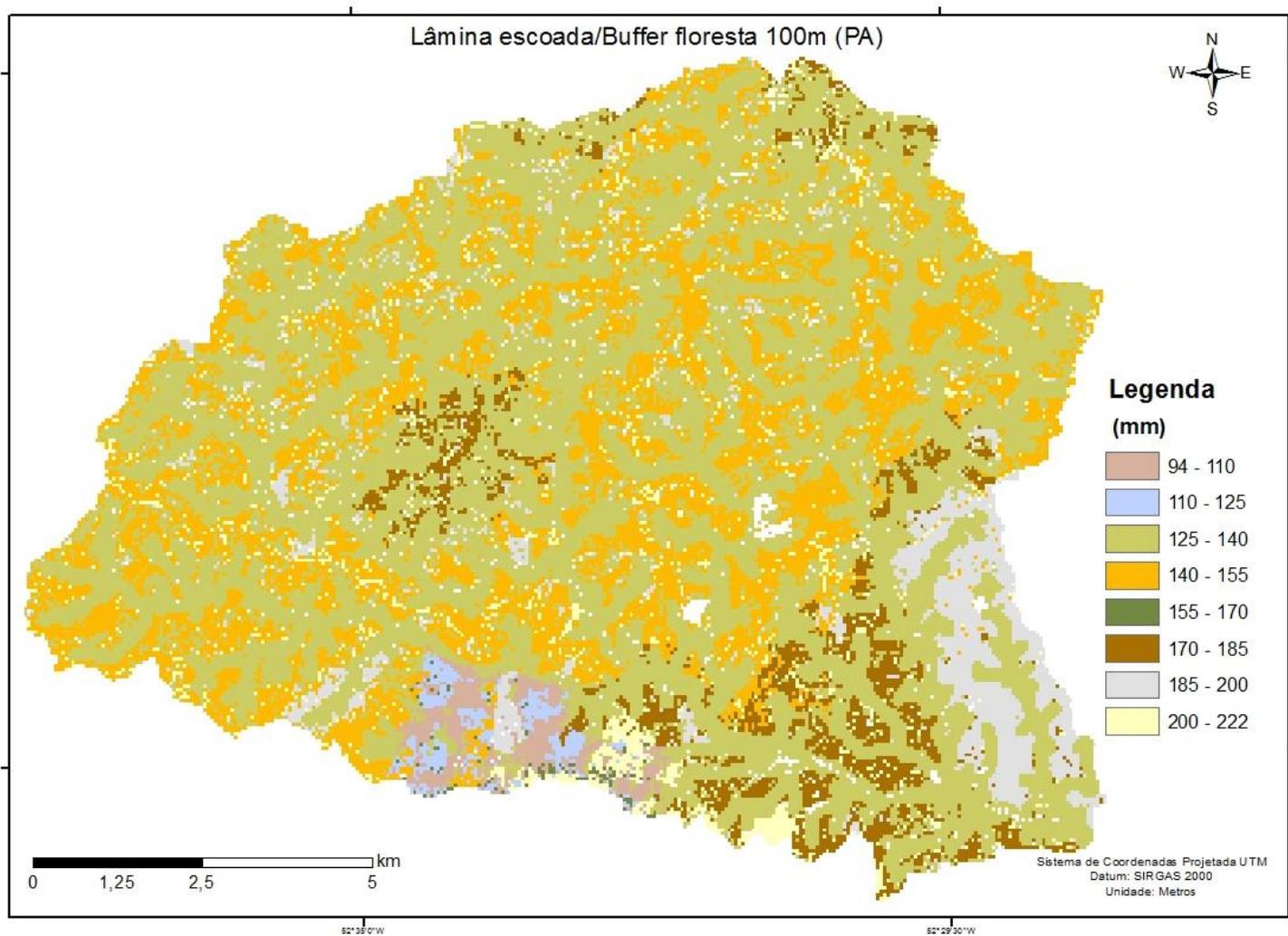


Figura 22 -Lâmina escoada na bacia de contribuição da estação passo dos Carros com buffer de 100m de floresta ao redor dos cursos de água (PA)

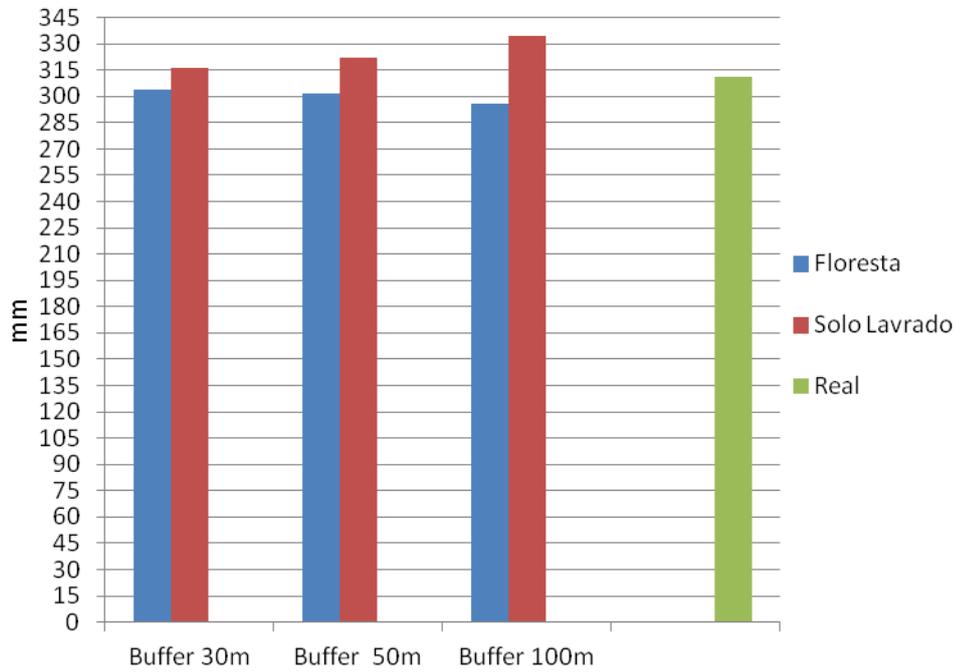


Figura 23 -Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação muito alta (PMA)

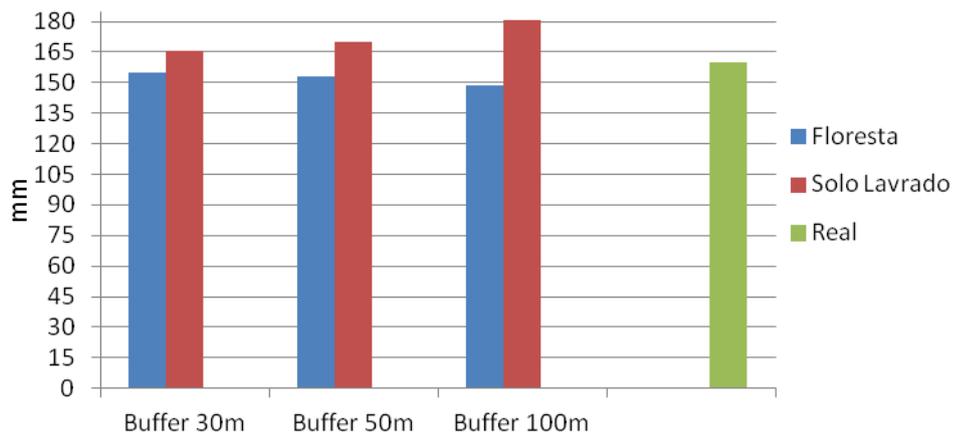


Figura 24 -Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação alta

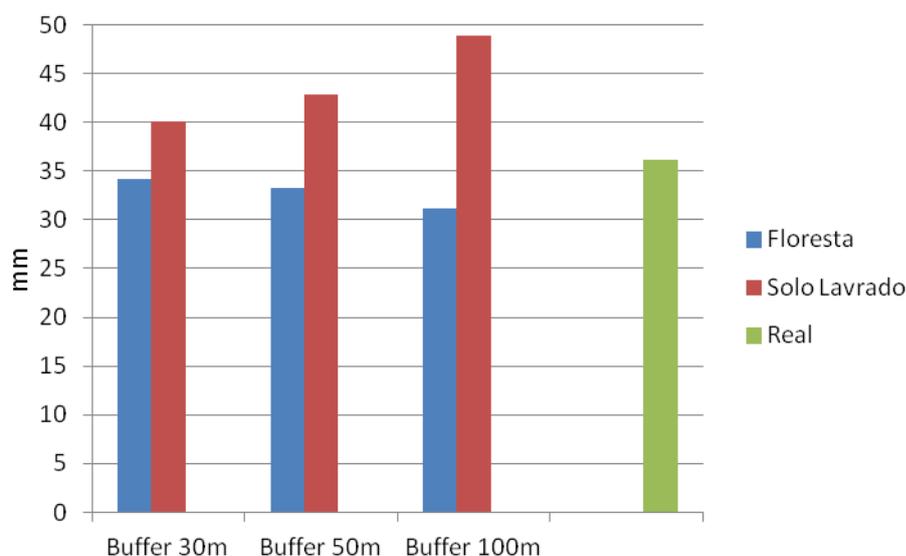


Figura 25 -Gráfico do escoamento superficial na bacia de contribuição da estação Passo dos Carros para uma precipitação baixa (PB)

Diante disso, verifica-se que as áreas de vegetação ciliar podem diminuir a quantidade escoada da bacia hidrográfica e assim a quantidade de água que chega na cidade após um evento extremo de precipitação.

A partir das simulações tem-se se que as lâminas escoadas para a precipitação baixa com as áreas de buffer reduziram 5%, 8% e 14% respectivamente para os buffers de 30m, 50m e 100m. O contrário também pode ser verificado, quando as áreas de buffer são de solo lavrado as lâminas aumentaram 11%, 19%, 36% para os buffers de 30m, 50m e 100m.

A largura desta vegetação ciliar em volta dos cursos de água tem sido objeto de estudo nas pesquisas ambientais. Com base numa ampla revisão da literatura pertinente à largura de zonas tampão, Castelle et al. (1994) encontraram larguras eficientes sugeridas entre 3 e 200m de mata ripária, dependendo das condições específicas do local. Larguras mínimas de 15 a 30 m são necessárias para proteção sob a maior parte das circunstâncias.

Buscando avaliar a eficiência de diversas larguras de mata ripária em reter o escoamento e reduzir o pico do escoamento, Simões (2001) calculando o escoamento superficial pelo método Catchment Hydrology Distributed Model (CHDM) na bacia do Alto Rio Pardo em São Paulo, concluiu que uma zona tampão de 100 metros possui 96,59% de eficiência para redução do escoamento superficial. Para precipitações com intensidades para tempo de retorno de 100 anos, 60 minutos

de duração o escoamento com uma zona tampão de 100 metros reduziria de 57mm para 31mm.

Ressaltando a importância das zonas ripárias no entorno dos cursos d'água, Schultz et al. (1997) relata que as grandes inundações no centro oeste dos Estados Unidos mostraram que as mudanças nos agroecossistemas tinham acelerado os fluxos da água para os córregos, o cultivo de mais de 90% da superfície, contribuíram para que a água flua mais rapidamente e as inundações sejam mais extensas.

#### 4.9 Quantificação da carga de Nitrogênio amoniacal e de fósforo na estação de tratamento de água do Moreira

A contaminação resultante da lixiviação e arraste de substâncias, dentre elas o nitrogênio e o fósforo, tem sido problema em bacias hidrográficas, principalmente com características agrícolas.

A carga de nitrogênio e fósforo na Estação de Tratamento de água do Arroio Moreira é averiguada mensalmente, os valores podem ser verificados na Tabela 15.

Tabela 15 - Quantidades de nitrogênio amoniacal e fósforo nas águas da ETA Moreira

<b>2014</b>	<b>jan</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jul</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>	
P	0,35	0,07	0,02	0,29	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	
N Amon.	1,99	1,06	0,5	0,48	0,38	0,98	0,6	0,03	0,79	
<b>2015</b>	<b>jan</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>
P	0,08	0,04	0,08	Zero	0,03	0,1	Zero	0,07	0,02	Zero
N. Amon.	1,6	0,48	0,49	1,02	1,66	0,43	0,27	0,33	0,29	0,32

Fonte: SANEP

Dentre os dados verifica-se que os valores de nitrogênio amoniacal estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela resolução n°357 de 2005 do CONAMA, que em condição Classe 2 é de 3,7 mg/L, para valores de pH inferiores ou iguais a 7,5 (BRASIL, 2005). Já para o fósforo apenas em janeiro e maio de 2014 os valores estão acima do permitido pelo CONAMA que é de 0,1 mg/L. Da mesma forma, pode-se perceber que no mesmo mês de janeiro deste mesmo ano o valor de nitrogênio

amoniaco também se mostrou superior. Estes valores podem ser explicados pelos valores que precipitação que no mês de janeiro de 2014 foram elevados, de acordo com o SANEP a média mensal foi de 11,31mm.

Em estudo sobre a influência do uso do solo na qualidade da água em uma microbacia em Cascavel no Paraná, Queiroz et al. (2010), encontrou um pico nos valores de nitrito e nitrato e atrelou estes valores as fortes precipitações ocorridas no período estudado, verificando que provavelmente os poluentes teriam sido carregados pelo escoamento superficial e também lixiviados ao lençol freático.

Os valores elevados de nitrogênio amoniacal também podem ser resultantes da áreas ao redor que possuem produção vegetal com a utilização de produtos químicos com compostos nitrogenados, de acordo com Azevedo Medronha et al. (2013), em suas análises da qualidade de água dos principais arroios e canais em Pelotas destacou que valores altos de nitrogênio encontrados na pesquisa provavelmente eram consequência das ações antrópicas, excesso de fertilizantes e excrementos de animais ao redor dos locais analisados.

#### **4.10 Valoração dos serviços ambientais hidrológicos dos buffers no entorno dos cursos d'água na bacia**

##### **4.10.1 Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada no valor de produção das áreas**

Após a análise de diversas referências para a avaliação de áreas produtivas, campestre e silvicultura foram definidos os seguintes valores visualizados na tabela 16.

Tabela 16 - Valores em reais das áreas produtivas

<b>Uso</b>	<b>R\$ por hectare/ano</b>
Produção vegetal	2.787,62
Silvicultura	9.600
Campestre	9.166,67

Os valores de produção vegetal foram retirados dos dados de Produção Agrícola Municipal (IBGE 2014). Os valores de referência foram utilizados para a

cultura da soja, sendo esta representativa na área de estudo, e como a classificação da imagem não permite diferenciações entre as culturas, foi utilizado este dado como parâmetro.

Para a silvicultura foi utilizado os valores de produção de eucaliptos, sendo esta a cultura representativa do Rio Grande do Sul (BINKOWSKI, 2009), o valor definido representa a receita de 2015 (AGRIANUAL, 2015). Já para o uso campestre foi obtido o valor da terra de pastagem nativa de campos (AGRIANUAL, 2015).

Prevendo a redução de enchentes decorrente da criação de um parque e área tampão em Madagascar, ilha do continente Africano, Kramer e Sharma (1995) utilizaram o método da produtividade marginal estimando em termos monetários, as perdas na produtividade das plantações que seriam evitadas, caso a preservação das florestas fosse efetiva e calculou um valor de US\$ 71.556 de benefício líquido agregado da prevenção das inundações em 20 anos.

Na avaliação econômica da despoluição da Baía de Guanabara foram incorporados métodos de valoração ambiental para alguns componentes. Dentre os métodos foi utilizado o método da produção marginal buscando uma racionalização do uso da água. Para isso foi realizado um cálculo do excedente do consumidor com dados sobre consumo médio de população com e sem hidrômetro, o valor ambiental encontrado foi de US\$ 158 milhões (DUBEUX, 1998).

#### **4.10.2 Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada nos custos dos danos decorrentes do evento de precipitação extrema de 2009**

Na tabela 17 se encontram os valores gastos em consequência da precipitação extrema de 2009 para os municípios de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo, que se encontram dentro da área de estudo.

Tabela 17 - Custos de Reposição referentes aos danos consequentes do evento de precipitação extrema de janeiro de 2009

<b>Município</b>	<b>Mil reais</b>
<b>Pelotas</b>	68.480,02
<b>Capão do Leão</b>	31.611,22
<b>Morro Redondo</b>	5.569,23

Fonte: AVADAN

Com a enchente resultante dos elevados valores de precipitação, muitos danos ocorreram para a população, gerando custos elevados em função da quantidade de água que escoou pelos cursos d'água fazendo que em muitos lugares essa quantidade precipitada fosse maior que capacidade de suporte da calha dos rios. Desta forma, a partir dos custos de reposição dos danos causados pela enchente foi valorado o serviço ambiental.

De maneira semelhante, Alípaz (2010) analisou os custos de recuperação dos serviços ambientais relacionados a proteção dos solos e a redução de sedimentos diante de eventos chuvosos na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau, no Distrito Federal. Através da Metodologia do Custo de Reposição, averiguou custo benefício na recuperação de áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, verificado um custo benefício pelo sedimento abatido de R\$ 197,62/t para a recuperação das Áreas de Preservação Permanente e R\$ 222,11/t para a recuperação da Reserva Legal.

#### **4.10.3 Valoração dos serviços ambientais hidrológicos baseada nos custos de tratamento de água**

Os custos de tratamento de água estão totalmente relacionados com a qualidade da água dos mananciais que abastecem essas estações, esta qualidade da água é influenciada pela cobertura vegetal do entorno deste manancial de abastecimento.

Os custos mais representativos em uma ETA são: consumo de produtos químicos, salário e encargos de trabalhadores, energia, compra de materiais diversos e transporte. Os custos referentes a produtos químicos representam 60% do custo total da ETA (REIS, 2004).

Na tabela 18 se encontram os produtos químicos utilizados para o tratamento da água na estação de tratamento de água do Moreira. A água tratada diariamente é em torno de 7000m<sup>3</sup>, que abastece alguns bairros do município de Pelotas.

Tabela 18 - Custos em produtos químicos referentes ao tratamento de água na ETA Moreira

	<b>Policloreto de Alumínio</b>	<b>Cal hidratado</b>	<b>Ácido Fluorssilícico</b>	<b>Cloro</b>
<b>Consumo Mensal (kg)</b>	3000	630	205	130
<b>R\$/kg</b>	1,78	1,81	1,81	6,75

Fonte: SANEP

A partir dos dados averiguados acima tem-se o valor de cada metro cúbico de água em R\$ 0,0368. A partir destes valores verifica-se que diariamente no tratamento de água são gastos R\$ 257,60 com produtos químicos. Este valor foi definido como sendo o preço do serviço ambiental prestado pelas áreas ciliares para a manutenção da qualidade da água.

Na pesquisa sobre a relação entre custos com produtos químicos da estação de tratamento de água e cobertura florestal na bacia de contribuição da ETA, na bacia do rio Piracicaba, Reis (2004) constatou que das 7 estações de tratamentos estudadas as 3 unidades que possuem os custos com produtos químicos mais baixos foram as que possuem os maiores índices de cobertura florestal todas superiores a 15% da área da bacia de contribuição.

De maneira semelhante, Fernandes et al. (2014) verificando produção de sedimentos e valorando o custo de remoção de sedimentos do sistema de captação de água, em uma microbacia em São Paulo, concluiu que a microbacia com maior cobertura florestal reduz o aporte de sedimentos e gera mais serviços ambientais reduzindo os custos de retirada de sedimentos na captação de água.

## **5 Considerações Finais**

A relevância das áreas de matas ciliares em bacias hidrográficas e ao redor de mananciais, principalmente de abastecimento público, associado aos riscos de enchentes e aos custos decorrentes destes eventos são de grande importância nas discussões sobre gestão dos recursos hídricos. O abastecimento da população em relação a quantidade e qualidade de água é dependente dos serviços ambientais que são prestados por essas áreas.

Certamente a produção de água em quantidade e qualidade não dependem da conservação apenas de áreas ciliares ao redor dos cursos d'água em uma bacia hidrográfica, mas depende de uma gestão adequada de todo território.

O manejo apropriado das áreas pode sustentar os benefícios dos serviços ambientais prestados pelos solos e água, e assim também podem mitigar e minimizar consequências de eventos extremos de precipitação. Dentre as práticas de manejo, algumas das principais são apresentadas na Tabela 19.

Grande parte das estratégias de conservação das áreas tem o objetivo de reduzir o impacto da gota de chuva no solo. Esta medida consequentemente aumenta a infiltração da água no solo e da mesma forma reduz a quantidade de água e sedimentos, diminuindo assim a possibilidade que várias substâncias possam ser carregadas com a água que escoar na bacia hidrográfica e alcançar os mananciais.

Além das formas de manejo da área, a localização geográfica da cobertura florestal na bacia, a ocupação do solo, tipo de solo e geologia tem influência sobre a qualidade e quantidade de água que chegam ao manancial de abastecimento público.

Tabela 19 - Práticas de manejo para uma melhor gestão dos recursos naturais

<b>Prática de manejo</b>	<b>Definição</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Referência</b>
Terraceamento	Terraços construídos transversalmente às encostas	Intercepta o fluxo de água e o canaliza	Guerra Cunha (2001)
Plantio direto	O não revolvimento do solo e os resíduos culturais deixados sobre a superfície	Amortecem o impacto das gotas de chuva, mantém a capilaridade do solo, aumentando a infiltração, reduz a enxurrada	Klein et al. (2008)
Sistemas agroflorestais (SAF)	Plantio de árvores com outros cultivos	Ciclagem de nutrientes, redução de perdas por lixiviação e erosão.	Mangabeira, Tosto e Romeiro (2012)

Os valores monetários referentes ao tratamento de água e aos danos causados por eventos de precipitação extrema necessitam ser reconhecidos pelo governo e pela população em geral, para que desta forma a conscientização sobre a importância da conservação dos serviços ambientais seja realizada e a partir disso se iniciem ações para este objetivo.

Uma contribuição potencial deste trabalho é fornecer subsídios aos tomadores de decisão nas áreas de gestão ambiental, bacias hidrográficas e municípios, sobre o quanto a conservação dos serviços ambientais pode trazer de benefícios, sendo que o benefício econômico é aqui destacado.

Outro destaque neste trabalho foi o quanto que a não conservação das áreas ao redor dos cursos d'água ou o seu uso intensivo podem trazer de prejuízos. Esta constatação pode ser verificada com o grande aumento do escoamento quando as áreas em questão são simuladas com o uso solo lavrado.

Na pesquisa, foram elencados parâmetros para a valoração dos serviços ambientais que podem ser considerados indicadores do grau de conservação destes serviços.

Atuando com ações de conservação dos serviços ambientais que venham a reduzir a possibilidade de danos com eventos extremos, as consequências negativas poderão ser minimizadas a médio e longo prazo.

Sugere-se a continuidade da pesquisa verificando as perdas de solo em diferentes condições de precipitações e faixas de entorno dos cursos de água, a fim de esclarecer mais questões, referentes a importância das áreas ciliares.

## **6 Conclusões**

A conservação dos serviços ambientais prestados pelas matas ciliares no entorno dos cursos d'água da bacia de contribuição da estação Passo dos Carros possibilita que os danos decorrentes de enchentes sejam mitigados e minimizados.

O uso intenso do solo e a não conservação dos serviços ambientais, nas faixas de entorno dos cursos d'água, favorece o aumento do escoamento superficial direto e, conseqüentemente, potencializa os danos decorrentes de eventos de grandes precipitações.

Para uma precipitação muito alta, como a que ocorreu em janeiro de 2009, estimou-se que a área de mata ciliar ao redor dos cursos d'água diminui 2% do escoamento para faixas de 30 metros de largura e 5% para faixas de 100 metros de largura, de cada lado do manancial.

Para uma precipitação baixa com o cenário com buffer floresta houve uma redução de 5% para o buffer de 30 metros. Já quando o cenário do buffer foi de solo lavrado houve um aumento de 11% para o buffer de 30 metros.

O valor dos serviços ambientais prestados pelas áreas de matas ciliares, referentes a quantidade de água em eventos de precipitações extrema foi aproximadamente R\$ 105.660,00.

Já o valor dos serviços ambientais prestados pelas áreas de mata ciliares em relação a qualidade da água do manancial foi de R\$ 257,60 diários.

## 7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432 p.

AGRIANUAL: Anuário da Agricultura Brasileira. 14. ed. São Paulo: FNP, 2014.

AGRIANUAL: Anuário da Agricultura Brasileira. 14. ed. São Paulo: FNP, 2015.

ALBUQUERQUE, A. R. D. C. Bacia hidrográfica: unidade de planejamento ambiental. **Revista Geonorte**, v.4, n.4, p.201 – 209, 2012.

ALÍPAZ, S. M. F. **Quantificação e valoração econômica dos serviços ambientais redutores de sedimentação na bacia do Ribeirão Pipiripau**. 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília.

ALMEIDA, A. D. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES**. . 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo.

ANA. Sistema de Informações Hidrológicas – **Hidroweb** 2014. Disponível em: <http://hidroweb,ana.gov.br/>. Acesso em: 12 nov. 2014.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “economia dos ecossistemas”. **Economia**, v.12, n.1, 2011.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Por uma economia dos ecossistemas. In: TÔSTO, S. G.; BELARMINO, L. C.; RODRIGUES, A. R. R. C. A. (Ed.). **Valoração dos serviços ecossistêmicos. Metodologia e estudos de casos**. Brasília: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2015. cap.1, p.13-33.

ANDRADE FILHO, A. G.; BRIK, E. M. SANDAKA, G. Manancial Alagados – análise evolutiva dos hidrogramas de enchente para vários cenários de ocupação. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 2, 2012

ARAÚJO, L. E. D.; SOUSA, F. D. A. S. D.; RIBEIRO, M. A. D. F. M.; SANTOS, A. S. D.; MEDEIROS, P. D. C. Análise Estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, p.162-169, 2008.

ATTANASIO, C. M.; GANDOLFI, S.; ZAKIA, M. J. B.; JUNIOR, J. C. T. V.; DE PAULA LIMA, W. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v.71, n.4, p.493-501, 2012.

- 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/MS**, v.1, n.6, 2007.
- BELARMINO, L. C.; LIMA FILHO, J. R.; BELARMINO, A. J.; OPPITZ, A. N. **Pêssego em calda de Pelotas-RS: eficiência econômica, competitividade e impactos de políticas**: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Bento Gonçalves RS: 2012.
- BINKOWSKI, P. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “Metade Sul” do Rio Grande do Sul**. . 2009. 211f. (Mestrado em Desenvolvimento Rural). Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre.
- BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F. A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L. F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v.24, n.1, 2011.
- BOLFE, É. L.; SIQUEIRA, O. J. W. D.; PEREIRA, R. S.; FILIPPINI-ALBA, J. M.; MIURA, A. K. Uso, ocupação das terras e banco de dados geográficos da metade sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.39, n.6, 2009.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005.
- BRASIL. Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. Código Florestal. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm)> Acesso em: 10 set. 2014.
- BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. Política Nacional de Defesa Civil. Brasília: Diário Oficial da União,1995.
- BRAUMAN, K. A.; DAILY, G. C.; DUARTE, T. K. E.; MOONEY, H. A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. **The Annual Review of Environment and Resources**, v.32, p.67-98, 2007.
- BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE,p.1863-1870, 2011.Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.26.17.48/doc/p0366.pdf>>. Acesso em: 20.06.2014.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, M. A. D.; CHAUDRHY, F. H. Aplicação de hidrograma unitário geomorfológico na previsão de respostas hidrológicas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n.4, p.5-17, 2001.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos avançados**, v.24, n.68, p.53-67, 2010.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um Sistema de Informações Geográficas no Estudo de Microbacias Hidrográficas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.6, n.11, 2007.

CEPED. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. **Florianópolis: CEPED, UFSC**, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blüchler, 1980.

COMPANHIA DE INFORMÁTICA DE PELOTAS - COINPEL. **Pelotas melhor**. Confira o que mudou na cidade e na sua vida. Disponível em: <[www.pelotas.rs.gov.br/pelotasmelhor](http://www.pelotas.rs.gov.br/pelotasmelhor)>. Acesso em: 12 ago. 2014.

CONFALONIERI, U. E. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra livre**, v.1, n.20, p.193-204, 2015.

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.283, n.1, p.206-217, 2003.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FABER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J. The value of the world's ecosystem services and natural capital. 1997.

COSTANZA, R.; KUBISZEWSKI, I.; ERVIN, D. E.; BLUFFSTONE, R.; BROWN, D.; CHANG, H.; DUJON, V.; GRANEK, E. F.; POLASKY, S.; SHANDAS, V. Valuing ecological systems and services. **F1000 Biology Report**, v.3, p.14, 2011.

COUTO, R. S. **Avaliação das características quanti-qualitativas dos recursos hídricos em uma sub-bacia do Rio Piratini/RS**. 2015. 136f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CRUZ, R. D. D. **Análise Espacial da Degradação Ambiental no Município de Capão do Leão, RS**. 2011. 123f. (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Tese (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. D. C. **Estudo dos solos do Município de Capão do Leão**. EMBRAPA-CPACT; UFPEL, 1996.

DAMÉ, R. D. C.; TEIXEIRA, C. F.; TERRA, V. S.; ROSSKOFF, J. L. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.14, n.1, 2010.

DUBEUX, C. B. S. **A valoração econômica como instrumento de gestão ambiental-o caso da despoluição da baía de Guanabara**. 1998. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro,

EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J. D.; RASERA, G. Precipitação associada aos SCM que afetaram o RS em novembro de 2006 In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2010, Bélem PA.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Laboratório de Agrometeorologia. **Dados meteorológicos on line**. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet>>. Acesso em: nov.5, 2015.

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

FAO. **Global Forest Resources Assessment 2015. Desk reference:**  
<http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>: 2015.

FAO/UNEP – **Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación**. El Futuro de Nuestra Tierra – Enfrentando el desafío, Roma, 2000.

FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do Rio Uberabinha-Minas Gerais. **Sociedade & Natureza**, v.19, n.1, p.65-80, 2007.

FERNANDES, M. M.; CARVALHO, D. F.; CEDDIA, M. B.; FRANCELINO, M. R. Valoração ambiental do efeito externo da erosão em duas sub-bacias com diferentes percentuais de mata atlântica. Valuation of environmental effects of erosion in external two sub-watersheds with different percentages of forest atlantic. **Bioscience Journal**, v.30, n.2, 2014.

FERNANDES, R. P.; DA COSTA SILVA, R. W.; SALEMI, L. F.; DE ANDRADE, T. M. B.; DE MORAES, J. M. Geração de escoamento superficial em uma microbacia com cobertura de cana-de-açúcar e floresta ripária/Surface runoff generation in a small watershed covered by sugarcane and riparian forest. **Revista Ambiente & Água**, v.8, n.3, p.178, 2013.

FIELD, C. B. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2012.

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. F.; FILIPPINI-ALBA, J.; WREGE, M. S. **Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na Região do Corede Sul-RS**. Embrapa Clima Temperado, 2009.

FURLAN, C. M.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. Vulnerabilidade socioeconômica à ocorrência de eventos extremos: proposta metodológica. **Anais do XV Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto-SBSR**, p.4540-4546, 2011.

GOOGLE. **Google Earth** (Ver. 7.1.1.1888) [Software]. Mountain View (CA), 2013. Disponível em: <<http://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 20.06.2014.

GONÇALVES, A. M. V. M.; FERNANDES, A. J. G.; RIBEIRO, M. I. B.; DO CABO, P. S. A. Limites e possibilidades da economia ambiental/Limits and possibilities of the environmental economy/Límites y posibilidades de la economía medioambiental. **Egitania Scientia**, n.8, p.39, 2011.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25n. 2, p. 411-418, 2001.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. D. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil, 2001.

HANSMANN, H. Z. **Descrição e caracterização das principais enchentes e alagamentos de Pelotas-RS**. 2013. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009..

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.

IBGE, I. B. D. G. E. E. Manual Técnico de Uso da Terra. **Manuais Técnicos em Geociências**, n.7, p.171, 2013.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. : Disponível em: [http://www. ibge. gov.br/home/estatistica/economia/pamIBGE](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamIBGE), 2015.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.3, p.353-360, 2015.

KHALEGHI, M.; GHOLAMI, V.; GHODUSI, J.; HOSSEINI, H. Efficiency of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph method in flood hydrograph simulation. **Catena**, v.87, n.2, p.163-171, 2011.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.365-371, 2008.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KRAMER, R. A., SHARMA, N.; MUNASINGHE, MOHAN. Valuing tropical forests: methodology and case study of Madagascar. **World Bank Environment Paper**, no 13, The World Bank, Washington, D.C., 1995.

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

LEITE, M. R.; BRITO, J. L. S. Mapeamento morfoestrutural e morfoescultural na região de cerrado no Norte de Minas Gerais. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v.24, n.1, p.115-125, 2012.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, p. 113-150, 1990.

LOPES, A. L. B. A modernização do espaço urbano em Pelotas e a Companhia Telefônica Melhoramento e Resistência: 1947-1957. 2007.

LEPSCH, I.F.; BELINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4a aproximação do manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

- MAIA, A. G.; ROMERO, A. R.; REYDON, B. P. Valoração de recursos ambientais– metodologias e recomendações. **Texto para Discussão, Instituto de Economia/UNICAMP**, n.116, 2004.
- MANGABEIRA, J. D. C.; TOSTO, S.; ROMEIRO, A. Valoração de serviços ecossistêmicos: estado da arte dos sistemas agroflorestais (SAFs). **Embrapa Monitoramento por Satélite-Documents**, 2012.
- MARCELINO, E. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. 40p. **INPE, Santa Maria, Brasil. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18>**, v.80, n.2008, p.07.02, 2008.
- MARENCO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n.103, p.25-32, 2014.
- MARENCO, J. Impactos de extremos relacionados com o tempo eo clima–impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas**, n.08, p.1-5, 2009.
- MARQUES, J. F.; COMUNE, A. E. A teoria neoclássica e a valoração ambiental. In: (Ed.). **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: UNICAMP**. 1997.
- MEDRONHA, G. A. ; MILANI, I. C. B. ; SOUZA, M. F. ; BONCZYNSKI, R. ; DECIO JUNIOR, R. ; SUZUKI, L. E. A. S.; DAI PRÁ, Mauricio ; COLLARES, G. L. . Avaliação da Qualidade da Água do Canal São Gonçalo-RS através do Índice de Qualidade de Água. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.
- MENDONÇA, L. E. R.; CERQUEIRA, E. S. A.; RIBEIRO, C. A. Á. S.; SOARES, V. P. Utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) para delimitação e caracterização morfométrica da microbacia do córrego do Paraíso-Viçosa-MG/geographic information system (gis) for delimitation and morphometric characterization of Paraiso str. **Ceres**, v.54, n.311, 2015.
- Menezes, D.J.; Scoti, A.A.V. Inventário de registro de inundações no Estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2010. In: Robaina, L.E.deS.; Trentin, R. Desastres Naturais no Rio Grande do Sul. Santa Maria: Ed. UFSM, 2013.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.3, n.4, p.33-38, 2002.
- MILANI, I. C. B.; ABREU, A. S.; MANKE, E. B.; SILVEIRA, J. F. D.; SOUZA, M. F. D.; PRIEBE, P. D. S.; CALDEIRA, T. L.; DUTRA, T. D. O.; HORBACH, F. A.; ATTISANO, K. K. Uso dos solos e recursos hídricos no município de Capão do Leão–RS: possibilidade de impacto ambiental pelas atividades antrópicas. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010, São Paulo, Brasil. **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, ,
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystem and Human Well-Being: A framework for assessment**: Island Press, 2005.
- MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). **Monte Bonito. Folha SH.22-Y-C-VI-2 (MI3020/1)**. Brasília: DSG, 1980. 1 carta topográfica, papel, color., 72x55,5cm. Escala: 1:50 000.

MIOLA, A. C. Planejamento para comunidades rurais em situações de enchentes. 2013. 216f. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria.**

**Mission.** Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

MORAES, J. L. A. D. Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) como Instrumento de Política de Desenvolvimento Sustentável dos Territórios Rurais: O Projeto Protetor Das Águas de Vera Cruz, RS. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v.3, n.1, 2012.

MORENO JUNIOR, Í. Uma experiência de gestão de recursos hídricos: a implantação de uma proposta para o estado do Rio de Janeiro. 2006 215f. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MOTTA, R. S. D. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais.** IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1998.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Shuttle Radar Topography**

NOVO, E. D. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** Edgard Blücher, 1992.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. A utilização do Método de Ven Te Chow–Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio Atuba. **Revista Geografar**, v.2, n.2, 2008.

PEDROSA, A. D. S.; MARTINS, M. D. A. R. Precipitações extremas na Região Demarcada do Douro: um património em risco. **Douro: estudos & documentos**, vol. 17, 2004, p. 195-212, 2004.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions**, v.4, n.2, p.439-473, 2007.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia-SC. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p.859-869, 2013.

PERT, P.; BUTLER, J.; BRODIE, J.; BRUCE, C.; HONZAK, M.; KROON, F.; METCALFE, D.; MITCHELL, D.; WONG, G. A catchment-based approach to mapping hydrological ecosystem services using riparian habitat: a case study from the Wet Tropics, Australia. **Ecological Complexity**, v.7, n.3, p.378-388, 2010.

PHILIPP, R. P.; MACHADO, R.; NARDI, L. V. S.; LAFON, J. M. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Brazilian Journal of Geology**, v.32, n.2, p.277-290, 2008.

PORTO, M. F.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v.22, n.63, p.43-60, 2008.

PORTO, R. L. L. escoamento superficial direto. 1995. In:TUCCI, C.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M.,. **Drenagem Urbana. Porto Alegre:** Editora da Universidade/UFRGS,p. 107- 165..

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; BOAS, M. A. V. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v.5, n.4, 2010.

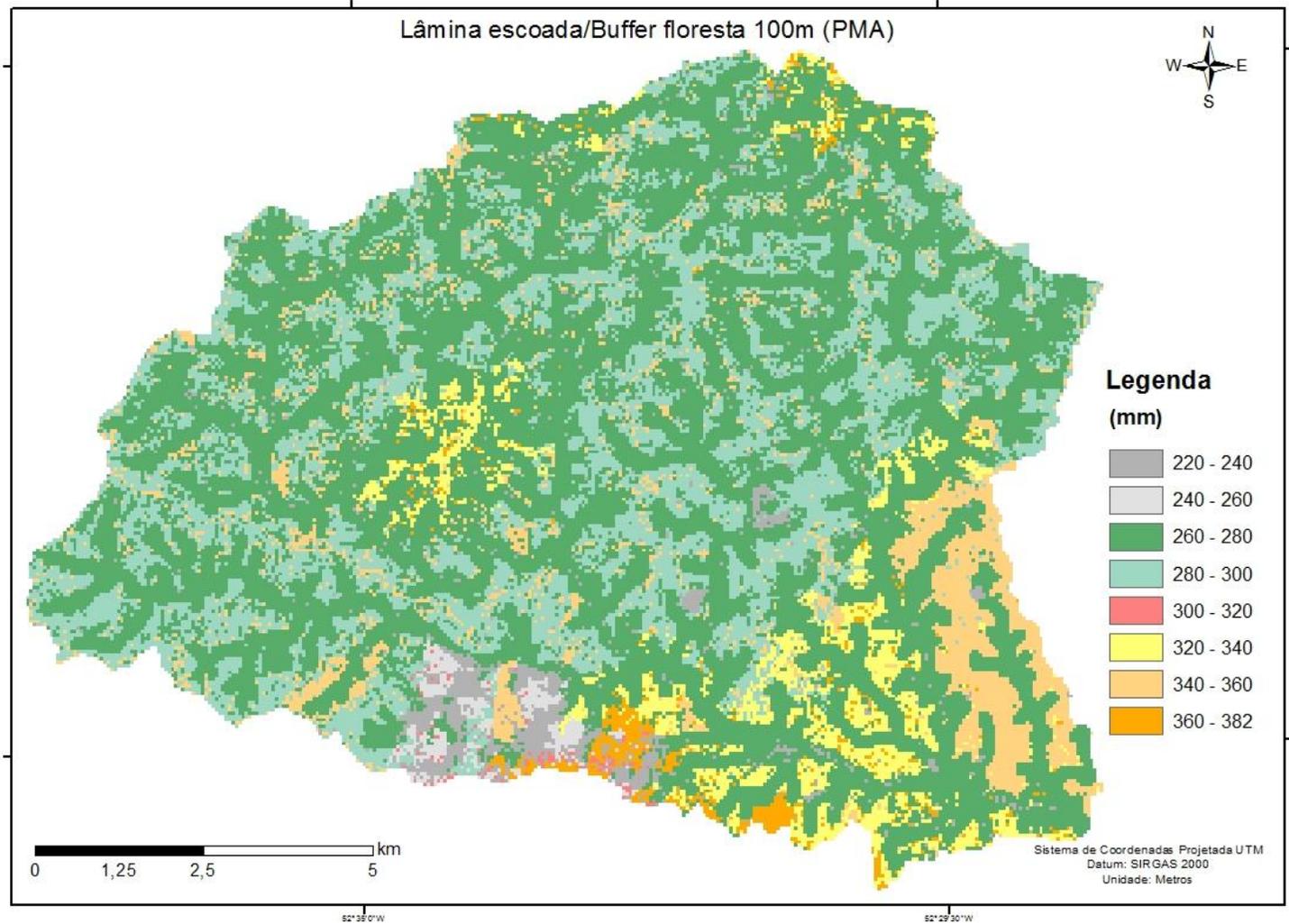
- RECKZIEGEL, B. W. Levantamento dos Desastres desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005. **Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005**, v.1, 2007.
- REIS, 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, 2006.
- REIS, L. V. D. S. Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba.2004. 215f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- ROCHA, J. M. J.; SILVA, E. Estratégias para agricultores familiares em áreas de proteção ambiental: Desenvolvimento Rural e Preservação da Natureza. **Natureza e Desenvolvimento**, v.1, n.1, p.19-28, 2005.
- RUDORFF, F. D. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Organic Trading Curitiba, 2006.
- SAHIN, V.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of hydrology**, v.178, n.1, p.293-309, 1996.
- SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P.; MADRUGA, R.; JUNIOR, E. D. R. L. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR**, 2011.
- SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M.; STEINMETZ, S.; ALMEIDA, I. R. D.; REISSER JÚNIOR, C. O Evento de Chuva Intensa de Janeiro de 2009 Sobre a Região de Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.2, p.255-265, 2012.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. D. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115-123, 2010.
- 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.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.05-18, 2005a.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.05-18, 2005b.
- SAUSEN, T. M.; NARVAES, I. Desastres naturais e geotecnologias: inundação- Caderno didático nº7. **INPE, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. São José dos Campos**, 2013.
- SCHAEFFER, P. V. Thoughts concerning the economic valuation of landscapes. **Journal of environmental management**, v.89, n.3, p.146-154, 2008.

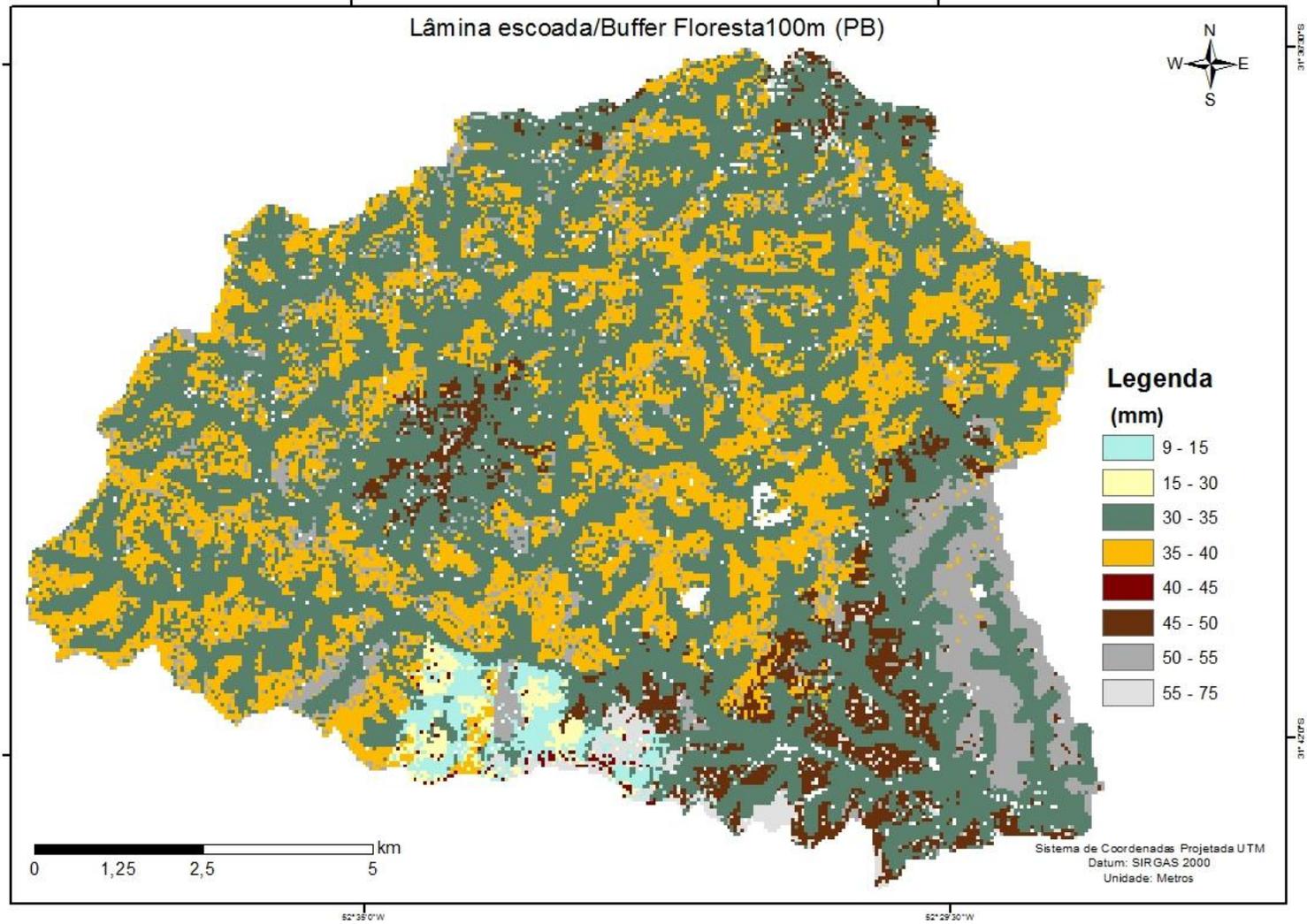
- SCHULTZ, R. C., A. KUEHL, J. P. COLLETTI, P. WRAY, T. ISENHART, L. MILLER. 1997. Riparian buffer systems. Publication Pm-1626a. Iowa State University, Ames, Iowa, USA..
- SEPÚLVEDA, S. **Avaliação da precipitação extrema na ilha da Madeira**. 2011. 120f. Dissertação (mestrado em engenharia do ambiente) - Universidade Técnica de Lisboa.
- SILVA, A. W. L.; MONTIBELLER-FILHO, G. Compensação por serviços ambientais: um novo cenário na proteção e valorização dos recursos naturais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.28, n.3, p.697-719, 2011.
- SILVA, C.S. **Inundações em Pelotas/RS: o uso do geoprocessamento no planejamento paisagístico e ambiental**. 2007. 196f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina.
- SILVA, G. C. D. Análise quantitativa de eventos extremos de precipitação da região Leste e Norte de Santa Catarina. 2011.
- SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.67-72, 2007.
- SILVEIRA, R. D.; SARTORI, M. D. G. B. Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé–RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.7, 2007.
- SIMMS, A.; WOODROFFE, C.; JONES, B. Application of RUSLE for erosion management in a coastal catchment, southern NSW. **Faculty of Science-Papers**, p.34, 2003.
- SIMÕES, L.B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. 2001, 183f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- SIMON, A. L. H.; CUNHA, C. M. L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção de atividades antrópicas: Análise temporal na Bacia do Arroio Santa Bárbara-Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.2, 2008.
- SCS – Soil Conservation Service. Hydrology. In: **National engineering handbook**. Washington: USDA, 1972. p.101-1023.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds. USDA (U.S. Department of Agriculture). June 1986
- TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. Determinação do parâmetro CN para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio-Porto Alegre/RS. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul/Sudeste, Curitiba**, 2006.
- TAVARES, V. E. Q.; RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. Valoração monetária de bens e serviços ambientais: revisão do estado-da-arte sob a ótica da gestão das águas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.4, n.3, p.97-116, 1999.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniar**, v.20, p.137-156, 2007.
- TOBIN, G. A. **Natural hazards: explanation and integration**. Guilford Press, 1997.

- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.** 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG,
- TONELLO, K.C.T.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4ª. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 943 p.
- TUCCI, C. E.; MENDES, C. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. **Ministério do Meio Ambiente/SQA. Brasília: MMA/SQA**, 2006.
- TUCCI, C.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.135-152, 1997.
- TURETTA, A. P. D. **Mudanças de Uso da Terra em Bacias Hidrográficas:** Documentos 139. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 18p.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Valuing the Protection of Ecological Systems and Services: A Report of the EPA Science Advisory Board. **USEPA. Report**, 2009.
- VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v.17, n.1, p.23-29, 2010.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. In: (Ed.). **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- VINET, F. Geographical analysis of damage due to flash floods in southern France: The cases of 12–13 November 1999 and 8–9 September 2002. **Applied Geography**, v.28, n.4, p.323-336, 2008.
- VITALLI, P. D. L.; ZAKIA, M. J. B.; DURIGAN, G. Considerações sobre a legislação correlata à zona-tampão de unidades de conservação no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v.12, n.1, p.67-82, 2009.
- VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. Florestas ripárias: importância e principais ameaças. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v.4, n.1, 2009.
- WHATELY, M.; HERCOWITZ, M. **Serviços ambientais: conhecer, valorizar e cuidar: subsídios para a proteção dos mananciais de São Paulo**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008.
- YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração pública**, v.27, n.2, p.5-18, 1993.
- ZARNOTT, D. H. **Alocação de áreas florestadas visando a conservação do solo e da água em propriedades familiares**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas.
- ZHANG, L.; DAWES, W.; WALKER, G. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water resources research**, v.37, n.3, p.701-708, 2001.

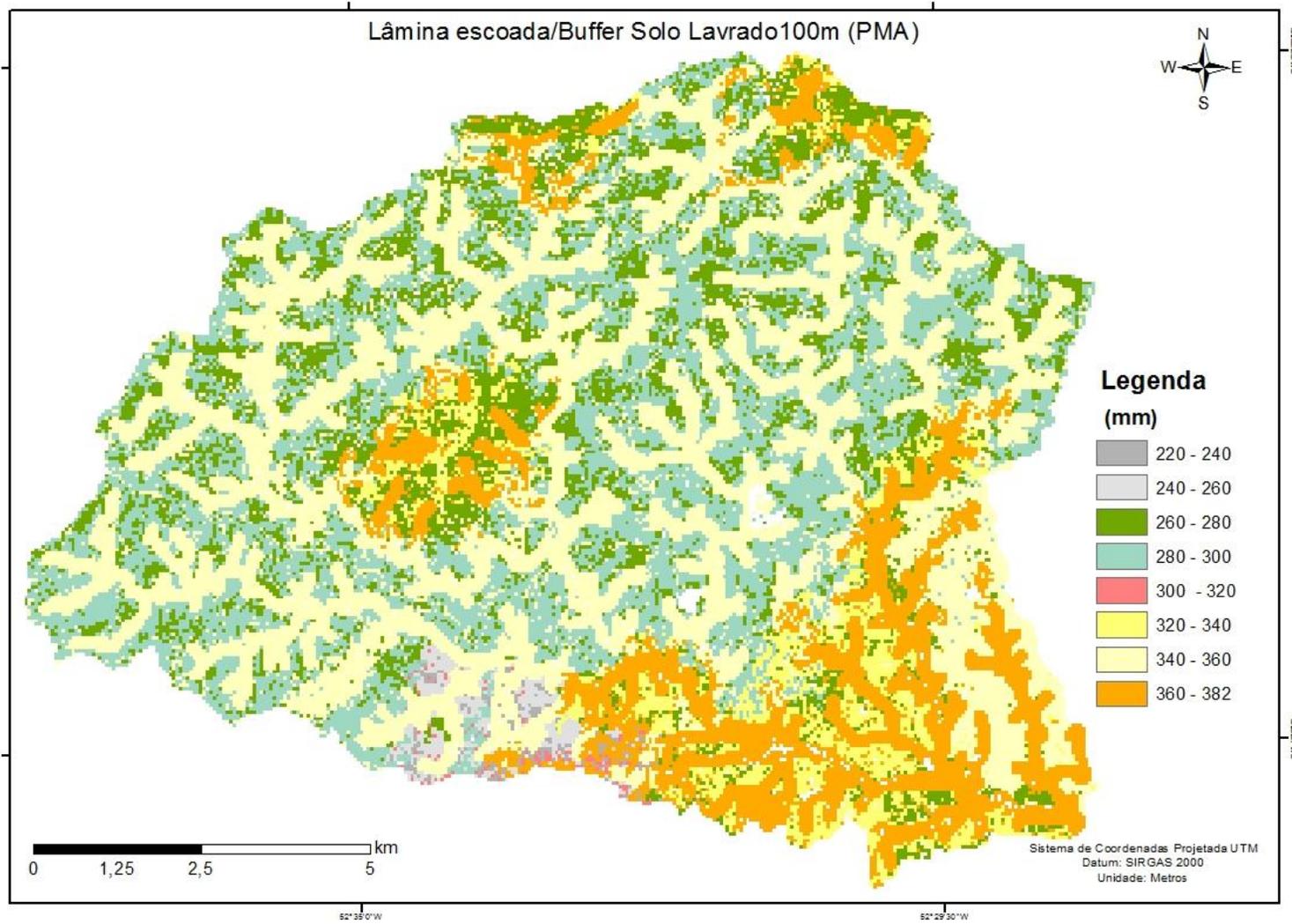
## Apêndices

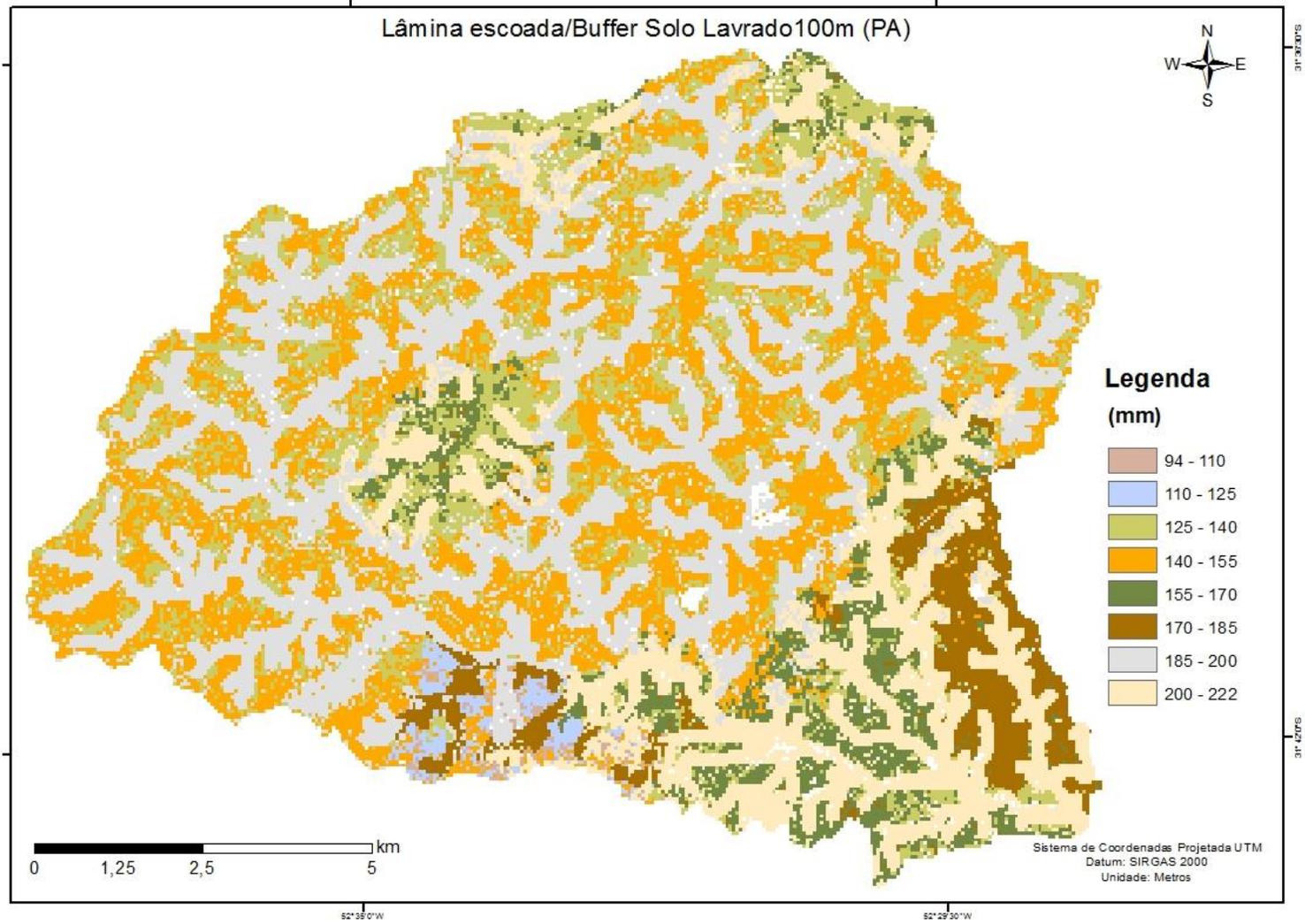
**APÊNDICE A: FIGURAS DAS SIMULAÇÕES COM BUFFER DE 100 METROS COM FLORESTAS PARA AS PRECIPITAÇÕES MUITO ALTA E BAIXA**

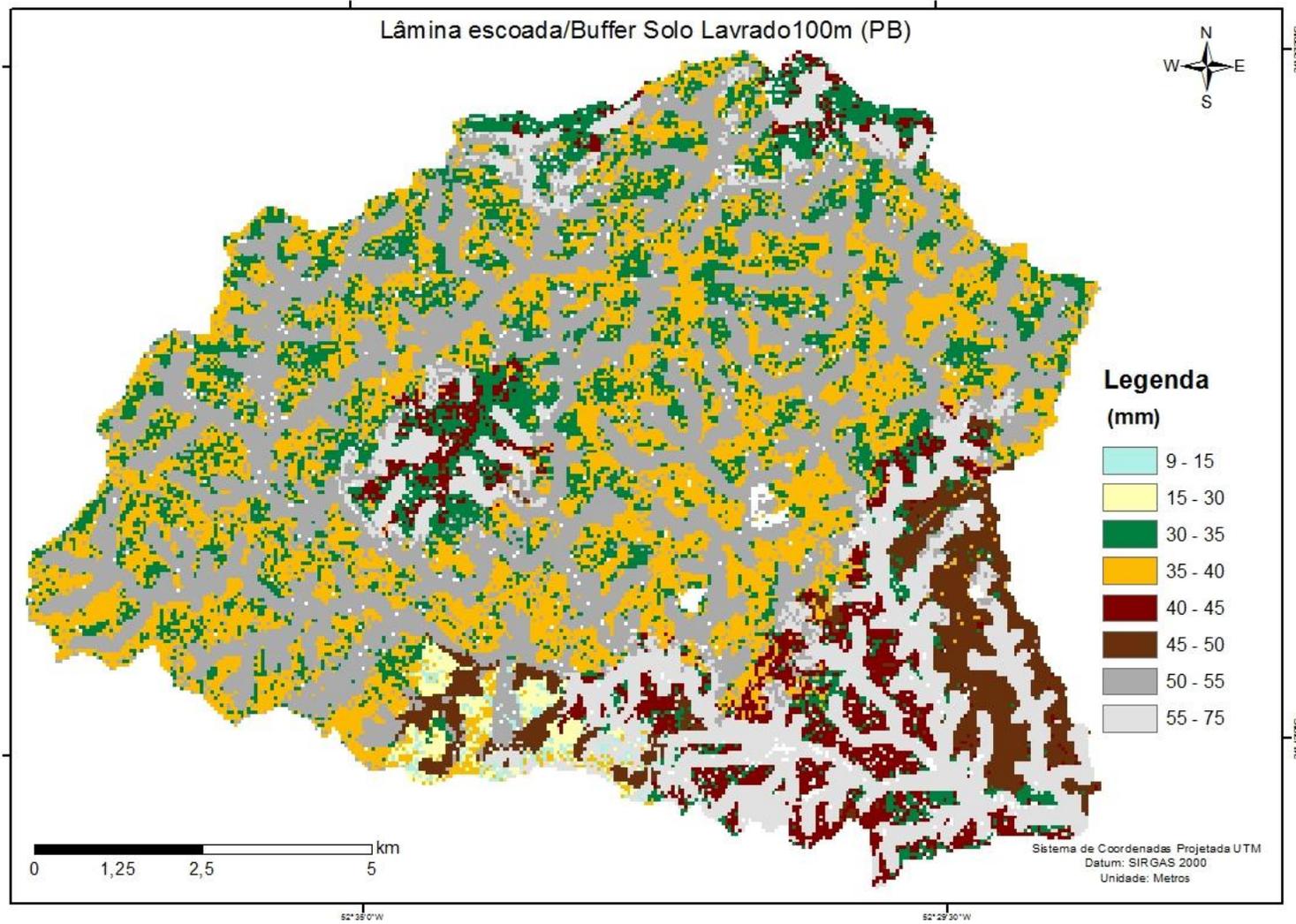




**APÊNDICE B: FIGURAS DAS SIMULAÇÕES COM BUFFER DE 100 METROS COM SOLO LAVRADO PARA AS PRECIPITAÇÕES MUITO ALTA, ALTA E BAIXA**







**APÊNDICE C: FIGURA DA SIMULAÇÃO COM BUFFER DE 50 METROS COM SOLO LAVRADO PARA A PRECIPITAÇÃO MUITO ALTA**

