

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ÍNDICES DE DESEMPENHO AMBIENTAL E
COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO
EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS**

TESE DE DOUTORADO

André Pellegrini

**Santa Maria, RS, Brasil.
2013**

**ÍNDICES DE DESEMPENHO AMBIENTAL E
COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM
DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS**

André Pellegrini

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos químicos e ciclagem de elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientador: Danilo Rheinheimer dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Pellegrini, André
Índices de desempenho ambiental e comportamento
hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais
/ André Pellegrini.-2013.
108 p. ; 30cm

Orientador: Danilo dos Santos Rheinheimer
Coorientador: José Miguel Reichert
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2013

1. escoamento superficial 2. produção de sedimento 3.
erosão hídrica 4. indicadores ambientais 5.
sustentabilidade I. dos Santos Rheinheimer, Danilo II.
Reichert, José Miguel III. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a André Pellegrini. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor. Endereço: Rua João Atílio Zampiere, 711, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-490 Fone (55) 96330126; End. Eletr: andre.pellegrini@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a tese de doutorado

**ÍNDICES DE DESEMPENHO AMBIENTAL E
COMPORTAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO EM
DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS**

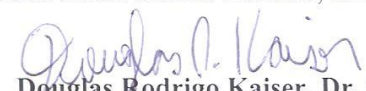
elaborada por
André Pellegrini

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:


Danilo Rheinheimer dos Santos, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)


Douglas Rodrigo Kaiser, Dr. (UFFS)


Marcia Xavier Peiter, Dra. (UFSM)


Celso Silva Gonçalves, Dr. (IFF)

Santa Maria, 08 de julho de 2013.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos agricultores assentados pela reforma agrária do assentamento Alvorada de Júlio de Castilhos, e em especial os agricultores das bacias hidrográficas, que auxiliaram em informações e abriram as porteiras para coletas, além da hospitalidade.

À minha família, pelo apoio em geral e incentivo nos estudos.

À minha companheira, Márcia Luciane Kochem, pela convivência, parceria, amizade e apoio, nos últimos anos e para os próximos que virão.

Ao meu orientador, professor Danilo Rheinheimer dos Santos, pelo apoio, amizade e orientação.

A todos os colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, pela convivência e amizade, em especial aos que cavocaram, coletaram, mediram, pesaram, analisaram, digitaram, correram, assaram, dirigiram, emprestaram, molharam-se, etc... Em fim, que contribuíram para este trabalho e para muitos outros feitos e que sairão.

Aos amigos, pelos momentos de descontração, esporte, lazer e visitas, que de forma direta ou indireta também contribuíram para o trabalho, pois assim como a tese, os amigos fazem parte da nossa vida.

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ÍNDICES DE DESEMPENHO AMBIENTAL E COMPORTAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS

AUTOR: ANDRÉ PELLEGRINI
ORIENTADOR: DANILO RHEINHEIMER DOS SANTOS
Local e data da defesa da Tese: Santa Maria, 08 de Julho de 2013.

As ações antrópicas determinam as condições de superfície de bacias hidrográficas, alterando a dinâmica hidrológica e a produção de sedimento. Indicadores de qualidade ambiental que utilizam as variáveis hidrossedimentológicas e características das bacias, e consideram a complexidade atribuída na interação homem-meio podem ser mais úteis para avaliar bacias pareadas, do que modelos mais robustos. Esses modelos demandam exaustivos levantamentos e tornam-se de alto custo para sua utilização. O objetivo geral do presente estudo foi avaliar o comportamento hidrossedimentológico e a utilização de indicadores para avaliação das diferentes proporções de usos do solo em pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas. As duas pequenas bacias hidrográficas com área de 1,445 km² (PBH140) e 0,796 km² (PBH80) estão localizadas no município de Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil. O período de estudo foi de 2010 a 2012 e as variáveis hidrossedimentológicas monitoradas foram precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimento em suspensão e arraste de fundo. Também foram utilizados os coeficientes de regularização de vazão e de dissipação de energia erosiva para avaliar as condições de superfície proporcionadas pela interação homem-meio. Através dos resultados foi possível concluir que: i) a maior ocorrência de uso do solo com matas ciliares em bacias hidrográficas minimiza os impactos de eventos pluviométricos, resultando em menor escoamento superficial e maior escoamento de base; ii) as áreas de lavouras com manejo inadequado do solo e localizadas sobrejacentes às áreas úmidas contribuíram para maximizar os impactos de grandes precipitações aumentando o escoamento superficial e reduzindo a reserva hídrica em períodos de estiagem; iii) grandes eventos pluviométricos potencializam a produção de sedimento, principalmente em áreas com a mata ciliar degradada; iv) a maior proporção de uso do solo sob área úmida minimiza a produção de sedimentos, mesmo gerando maior escoamento superficial; e que v) a conservação das áreas que circundam os cursos d'água com vegetação natural atenua o aporte de sedimentos, reduzindo os riscos de contaminação dos cursos hídricos, principalmente quando o manejo do solo da área de lavoura for inadequado. Além disso, os coeficientes utilizados apresentaram respostas condizentes às alterações hidrossedimentológicas, demonstrando que eles são eficientes em quantificar as alterações hidrológicas e de dissipação de energia geradas pela interação homem-meio em bacias hidrográficas com diferentes proporções de uso do solo.

Palavras chave: escoamento superficial, produção de sedimento, erosão hídrica, indicadores ambientais, sustentabilidade.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduation Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

INDEXES OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE AND HYDROSEDIMENTOLOGICAL BEHAVIOR IN TWO RURAL WATERSHEDS

AUTHOR: ANDRÉ PELLEGRINI
ADVISOR: DANILO RHEINHEIMER DOS SANTOS
Place and date of the defense: Santa Maria, July 08, 2013.

Anthropogenic actions determine the surface condition of watersheds by altering the hydrological dynamics and sediment yields. Environmental quality indicators that use the hydrosedimentological variables and characteristics of the watersheds, considering the complexity assigned by the human-environment interaction may be more useful than the most robust model to evaluate paired watersheds. These models require exhaustive field works, becoming very demanding in terms of both cost and manpower. The overall objective of this study was to evaluate the hydrosedimentological behavior and the use of indicators to evaluate the different proportions of soil use in rural watersheds paired. The two rural watersheds, with an area of 1.445 km² (RW 140) and 0.796 km² (RW 80) are located in the municipality of Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul State, Brazil. The study period was from 2010 to 2012 and the hydrosedimentological variables monitored were rainfall, water flow, turbidity, and concentration of suspended and drag sediment. The coefficients of flow regularization and dissipation of erosive energy were also used to assess surface conditions provided by the human-environment interaction. From the results we conclude that: i) high proportions of riparian forests in watersheds minimizes the impacts of rainfall events, resulting in less runoff and greater baseflow; ii) crop areas with inadequate soil management and localized superjacent to wetlands contributed to maximize the impacts of large precipitation by increasing runoff and reducing water reserves during drought periods; iii) large rainfall events potentiate the sediment production, especially in areas with degraded riparian forest; iv) high proportions of wetlands minimizes sediment production, generating even greater runoff, and the conservation of areas surrounding watercourses with natural vegetation attenuates the sediments mobilization, reducing the risk of contamination of water courses, especially when the soil management is inappropriate. The coefficients used showed responses in agreement with the hydrosedimentological changes, demonstrating that they are effective in quantifying the hydrological and energy dissipation changes generated by the human-environment interaction in watersheds with different proportions of land use.

Keywords: runoff, sediment yield, water erosion, environmental indicators, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1. Erosão subsuperficial e superficial na pequena bacia hidrográfica. 23
- Figura 2. Efeito da vegetação na retenção de sedimentos: (a) esquema ilustrativo (fonte: ROSE, 2004); e (b) retenção de sedimento pela vegetação em área úmida 29

ARTIGO I

- Figura 1. Mapa de distribuição de usos do solo considerando as variações médias entre os anos de 2010 e 2012, nas pequenas bacias hidrográficas PBH 140 e PBH 80, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil. 41
- Figura 2. Relações entre precipitação e escoamento superficial (A), e escoamento total e o coeficiente de escoamento superficial (B) durante o período de monitoramento na PBH 80 e PBH 140, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul. 44
- Figura 3. Relações entre a precipitação (A), a energia cinética (B) e o escoamento superficial (C) com a estimativa da produção de sedimento durante o período de monitoramento na PBH 80 e PBH 140, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul. 45

ARTIGO II

- Figura 1. Mapa de distribuição de usos do solo considerando as variações médias entre os anos de 2010 e 2012, nas pequenas bacias hidrográficas PBH 140 e PBH 80, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil. 58
- Figura 2. Hidrograma e hietograma de um evento (29/08/2011) com coeficientes de regularização de vazão (CRV) de 0,86 e 0,93, para a PBH 80 e 140, respectivamente (A); coeficientes de regularização de vazão em função da precipitação no período de agosto de 2010 a dezembro de 2012 (b); e relação do CRV entre as PBHs 80 e 140 (c). 62

Figura 3. Relações da precipitação e potencial energético (A); do potencial energético e trabalho erosivo (B); e dos coeficientes de dissipação de energia erosiva da PBH 80 e 140 (C). 64

DISCUSSÃO GERAL

Figura 3. Curva de permanência dos diferentes períodos climáticos das PBHs 80 e 140. ((a) I Normal: 30/07/2010 a 31/09/2010; II Normal: 01/04/2011 a 31/08/2011; (b) I La Niña: 01/10/2010 a 31/03/2011; II La Niña: 01/09/2011 a 31/08/2012; (c) I El Niño: 01/01/2010 a 28/02/2010; II El Niño: 01/09/2012 a 31/12/2012). 73

Figura 4. Relações e equações para estimativa da produção de sedimento: turbidez (NTU- Nephelometric Turbidity Uni) e a concentração de sedimento em suspensão observada (C_{ss}) para a PBH 140 (a) e PBH 80 (b); vazão e concentração de sedimento em suspensão observada (C_{ss}) para a PBH 140 (c) e PBH 80 (d); vazão e sedimento transportado por arraste para a PBH 140 (e) e PBH 80 (f) do assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos - RS. 75

Figura 5. Relações da intensidade máxima em uma hora e concentração de sedimento em suspensão (a) e a vazão máxima e concentração de sedimento em suspensão (b) para a PBH 140 e 80. 78

Figura 6. Densidade do solo nos diferentes usos na pequena bacia hidrográfica 80, no assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, RS. 79

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas e estimadas entre 2010 a 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 80 e 140. 43

ARTIGO II

Tabela 1. Classes de declividade, área relativa, comprimento da rede de drenagem e distância média das encostas até o curso d'água na PBH 80 e PBH 140. 60

DISCUSSÃO GERAL

Tabela 1. Variáveis hidrológicas monitoradas, estimadas e estatística conjunta por períodos climáticos entre os anos de 2010 a 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 140 e 80. 71

LISTA DE APÊNCICES

Apêndice A. Classes e agrupamento de uso do solo nas pequenas bacias hidrográficas (PBH), em valores médios e variações sazonais dos anos de 2010 e 2012, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul.	94
Apêndice B. Variáveis hidrológicas monitoradas e extraídas de eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 140 (PBH140), entre 2010 e 2012.	95
Apêndice C. Variáveis hidrológicas monitoradas e extraídas de eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 80 (PBH 80), entre 30 de julho de 2010 e dezembro de 2012.	98
Apêndice D. Variáveis hidrológicas monitorada de 2010 a 2012, agrupadas por trimestre, nas pequenas bacias hidrográficas 80 e 140.	101
Apêndice E. Agrupamento das variáveis hidrológicas monitoradas e estimadas de agosto de 2010 a dezembro de 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 80 e 140.	102
Apêndice F. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas em eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 140 (PBH140), entre 2010 e 2012.	103
Apêndice G. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas na pequena bacia hidrográfica 80 (PBH 80), entre 30 de julho de 2010 e dezembro de 2012.	106
Apêndice H. Variáveis sedimentológicas monitorada de 2010 a 2012, agrupadas por trimestre, nas pequenas bacias hidrográficas 80 e 140.	109

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Bacias hidrográficas e aspectos hidrossedimentológicos	18
2.2	Propriedades do solo e a erosão hídrica	20
2.3	Hidrossedimentologia.....	23
2.4	Uso agrícola do solo e a erosão hídrica	25
2.5	Usos do solo sob áreas de preservação permanente e a dinâmica hidrossedimentológica ..	26
2.6	Indicadores de qualidade ambiental para bacias hidrográficas	31
3	HIPÓTESES.....	34
4	OBJETIVO GERAL	35
5	ARTIGO I - O uso do solo e as alterações na dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas rurais pareadas.	36
5.1	INTRODUÇÃO	37
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	38
5.3	RESULTADOS.....	41
5.4	DISCUSSÃO.....	46
5.5	CONCLUSÕES.....	49
5.6	LITERATURA CITADA.....	49
6	ARTIGO II - Coeficientes de dissipação da energia erosiva e de regularização de vazão para avaliar a interação homem-meio em duas pequenas bacias hidrográficas pareadas.	53
6.1	INTRODUÇÃO	54
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	56
6.3	RESULTADOS.....	61
6.4	DISCUSSÃO.....	65
6.5	CONCLUSÕES.....	66
6.6	LITERATURA CITADA.....	67
7	DISCUSSÃO GERAL	69

8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
10	APÊNCICES	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

O setor agropecuário nos últimos anos vem crescendo e contribuindo para desenvolvimento do país. Dentro desse setor, a agricultura empresarial ganha força pela adoção da mecanização sobre grandes áreas de terras, produzindo *commodities*, visando principalmente o mercado externo. Já a agricultura familiar caracteriza-se por utilizar pequenas áreas de terras, com produção diversificada que normalmente abastece o mercado interno com alimentos. O processo de reforma agrária, que foi mais intenso na década de 90, contribuiu da inclusão de muitas famílias que estavam marginalizadas, a compor uma importante fração da chamada “*agricultura familiar*”. Além disso, o processo de reforma agrária pressionou os donos de grandes áreas improdutivas a melhorar os índices ou até mesmo mudar a matriz produtiva.

O processo de reforma agrária feito nesse período visou à distribuição de terras à famílias consideradas sem terra. Contudo, faltou planejamento para ocupação do solo, acompanhamento de assistência técnica e crédito suficiente para garantir o sucesso do programa. Durante estes anos os assentamentos enfrentaram inúmeros problemas, os quais apresentam resquícios até os dias de hoje, sob aspectos sociais, econômicos e ambientais. Neste estudo será apresentado o caso do assentamento Alvorada o qual foi criado no ano de 1996, sob uma área de terra de 1569 hectares, distribuída entre 72 famílias. Na divisão da área cada lote ficou com aproximadamente 22 ha. Como não foi observado a área útil de terra para o uso agropecuário, esse fracionamento gerou impactos sob áreas de preservação permanente e também sobre os recursos hídricos do assentamento.

Essa decisão inicial impactou enormemente sobre as áreas de preservação permanente, como a mata ciliar e áreas úmidas, que normalmente, são mais sensíveis e importantíssimas para o equilíbrio hidrossedimentológico em pequenas bacias hidrográficas. O traçado das estradas pelas divisas dos lotes foi outro fator que afetou a dinâmica hidrossedimentológica local. Esta forma de locação de estradas contribui para o aumento do aporte de sedimentos sobre os recursos hídricos. Esses dois fatores contribuíram e continuam a impactar sobre o ambiente local. No entanto, como não foram considerados no início do assentamento e dificilmente serão adequados agora, necessitam de outras práticas e manejos complementares para minimizar os problemas decorrentes da falta de planejamento do uso e ocupação das terras.

Na interação dos assentados sobre cada lote, que demarca a relação homem e ambiente, os problemas de degradação ambiental foram potencializados ao assentar-se sobre solos frágeis agricultores que culturalmente cultivavam através do revolvimento do solo. A erosão hídrica predominou no princípio do assentamento, conforme relato dos próprios assentados, e só foi possível minimizar esse problema com a adoção do sistema plantio direto. No entanto, equívocos neste sistema ainda são perceptíveis e potencializam os impactos sobre os recursos hídricos. Alguns problemas foram observados e mensurados nesse local, como: alta acidez do solo, aplicações de potássio em superfície, plantios morro a baixo, compactação do solo, pastejo intensivo pelo gado com excesso de pisoteio, falta de palha, não uso de terraços e ainda o uso agrícola sobre área de preservação permanente.

Diante dos problemas enfrentados pela agricultura familiar, quanto aos aspectos qualitativos dos recursos hídricos, o Ministério de Ciência e Tecnologia juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), abriu um edital em 2008 visando a *Conservação dos Recursos Hídricos e o Aumento da Produção de Água em Unidades Rurais de Base Familiar*. O grupo de pesquisa *Ciclo biogeoquímicos e produtividade dos solos* do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria que nos últimos anos tem desenvolvido vários estudos na área de qualidade de água e agricultura familiar, aprovou através desse edital o projeto denominado: *Aspectos quantitativos relacionados aos sedimentos e a água numa pequena bacia hidrográfica ocupada por agricultores assentados pela reforma agrária*. Parte deste projeto já foi concluída com uma dissertação de mestrado intitulada: *Qualidade da água e sua relação com o uso da terra em duas pequenas bacias hidrográficas* (CAPOANE, 2011). A presente tese de doutorado, além de contribuir para mais uma parte do projeto já citado, visou aprofundar o estudo na dinâmica hidrossedimentológica e também da utilização de indicadores para avaliação de qualidade ambiental para as bacias hidrográficas.

Para estudar a dinâmica hidrossedimentológica foram delimitadas duas pequenas bacias hidrográficas (Unidades de Estudo) com área de 144,5 ha (PBH140) e 79,6 ha (PBH80) que estão localizadas no assentamento Alvorada, município de Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil. Nessas duas bacias com diferenças em usos do solo foram realizados levantamentos de propriedades de solo, relevo e principais usos do solo. Além de monitorar diversas variáveis hidrossedimentológicas entre os anos de 2010 a 2012. Para melhor compreender os impactos gerados pela agricultura neste tipo de agroecossistema o presente estudo foi organizado de maneira estratégica em duas partes: (i) *Comportamento hidrossedimentológico* - desenvolvido através da quantificação e análise de variáveis de

precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimento em suspensão e arraste de fundo. Através desses resultados foi possível avaliar aspectos relacionados à dinâmica da água e a produção de sedimento em duas bacias hidrográficas com diferentes proporções de uso do solo; e (ii) *Índices de desempenho ambiental* - foram utilizados os coeficientes de regularização de vazão e de dissipação de energia erosiva que foram propostos por D'AGOSTINI (1999) e D'AGOSTINI e MARTINI (2000). Estes coeficientes visam avaliar as condições de superfície, as quais são influenciadas pela ação antrópica que determina diferentes proporções de usos do solo nas bacias hidrográficas. Os princípios para a utilização desses indicadores estão na complexidade imposta pela interação homem-meio em estudos de bacias hidrográficas, pois modelos matemáticos tradicionais não consideram tal influência. Diante disso, tais indicadores contemplaram as pressuposições, quanto à complexidade existente nas bacias hidrográficas ocupadas por agricultores assentados da reforma agrária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente revisão bibliográfica buscou-se aprofundar temas de forma mais detalhada para fundamentar os processos e fenômenos envolvidos em estudos desenvolvidos em bacias hidrográficas. Para tanto, o desenvolvimento dos temas ficaram na seguinte forma: Caracterização de bacias hidrográficas como sistemas complexos de estudo e com ênfase na dinâmica hidrossedimentológica; A influência de propriedades de solo na dinâmica erosiva; A compreensão dos impactos e influências de tipos de sedimento e sua dinâmica em bacias hidrográficas; Os efeitos de sistemas agropecuários manejados inadequadamente sobre propriedades do solo e alterações na dinâmica hidrossedimentológica; A importância das áreas de preservação permanente e os impactos gerados pela ocupação agrícola sobre estas áreas; e, a utilização de indicadores ambientais para avaliar a interação do homem sobre o meio através de uma análise comparativa em pequenas bacias hidrográficas.

2.1 Bacias hidrográficas e aspectos hidrossedimentológicos

A bacia hidrográfica caracteriza-se por ser uma unidade complexa de estudo, onde diferentes áreas do conhecimento atuam com objetivos distintos buscando entender ou detalhar alguns processos ou fenômenos desses sócio-ecossistemas. A bacia hidrográfica também é considerada um sistema físico, aberto e dinâmico. Para estudar o ciclo hidrológico devem ser monitoradas as entradas e saídas deste sistema. A entrada de água via precipitação depende energia sobre o meio, e as características físicas e de superfície da bacia dissipam e transformam-na. Uma parte da água sai através do exutório carregando sedimentos, nutrientes e outros elementos existentes no meio. A outra parte tem sua saída pela evapotranspiração e pela drenagem profunda. Esta dinâmica do ciclo hidrológico é fortemente influenciada e alterada pela interferência humana sobre o meio, através das alterações dos usos e formas de manejo do solo. No entanto, há outros fatores que tem pouca contribuição humana, como as características geológicas e morfológicas das bacias hidrográficas (DUNNE, 1978; BRUIJNZEEL, 2004). Além da ação de fenômenos climáticos que definem a intensidade-duração-frequência das precipitações.

O escoamento superficial é variável mais sensível do ciclo hidrológico e ocorre principalmente devido às alterações da superfície da bacia hidrográfica (TUCCI, 2006). A

ação antrópica, por meio do uso agrícola, interfere diretamente neste equilíbrio. A retirada da vegetação nativa para a produção agrícola degrada a estrutura do solo, onde em condições originais possui alta capacidade de infiltração, acomodando facilmente toda a intensidade das chuvas (PRITCHETT, 1979). A compactação do solo em diferentes camadas, normalmente limita a infiltração de água no solo (REICHERT et al., 2007). As consequências do aumento no escoamento superficial incluem perdas excessivas de solo, inundações, danos às infraestruturas, mudança e assoreamento do leito dos rios, degradação da qualidade da água, entre outras.

Na história da ocupação humana, a retirada da vegetação nativa para a produção agrícola sempre foi encarada como necessária ao desenvolvimento. Seguindo este princípio, áreas não aptas para cultivo ou ainda aptas, mas com grande contribuição para a estabilização do ambiente local, foram devastadas, dando lugar as diferentes atividades agropecuárias. Em geral, solos florestais não perturbados possuem alta capacidade de infiltração, que facilmente acomodam toda a intensidade das chuvas (PRITCHETT, 1979). O impacto da desflorestação interfere diretamente no aumento do escoamento superficial. O diagnóstico é feito no monitoramento do aumento da vazão média e redução das mínimas, e aumento do pico das vazões máximas.

Resultados obtidos em mais de 30 bacias experimentais mostram que, no primeiro ano após o corte raso total da floresta, em bacias hidrográficas, aumentou o volume escoado anual em aproximadamente 150 mm (variação de 34 a 450 mm) (HEWLETT e HIBBERT, 1967, BOSCH e HEWLETT, 1982). Outra constatação destes autores foi que não é possível detectar influência na vazão média quando o desmatamento é menos que 20%. Ainda, com a retirada da cobertura de coníferas e eucaliptos ocorreu um aumento de cerca de 40 mm na vazão anual para cada 10% de alteração de cobertura. Enquanto que, a retirada de 10% da vegetação rasteira produz aumento de 10 a 25 mm na vazão média.

As consequências no aumento do escoamento podem incluir além das perdas excessivas de solo, a inundação de áreas baixas, danos às infraestruturas, tais como rodovias, pontes, barragens, etc. Além destes pode provocar a mudança do leito dos rios e solapamento das margens, impedindo a navegabilidade por assoreamento do canal.

Desta forma, a ação antrópica é o principal responsável pela intensificação dos fatores erosivos. Destaca-se que pelo uso intensivo e o manejo inadequado do solo provocam desestruturação e compactação em superfície e subsuperfície, dificultando a infiltração das águas das chuvas e facilitando a ativação do processo erosivo. Somado a isto, o manejo

exploratório com a retirada da vegetação ciliar e o plantio em áreas não aptas potencializa-se o desequilíbrio hidrológico em bacias.

Para minimizar os problemas em diferentes bacias hidrográficas deve ser implantado o planejamento integrado, visando atender as demandas produtivas e a preservação ambiental, para a manutenção da qualidade de vida da população.

2.2 Propriedades do solo e a erosão hídrica

O escoamento superficial corresponde a uma parte da água do ciclo hidrológico impedida de infiltrar no solo, deslocando sobre a superfície (PRUSKI, 2004). Para que ocorra o escoamento superficial são necessárias inúmeras combinações de variáveis climáticas, características e propriedades do solo, fatores relacionados à superfície, entre outros. Resumidamente a precipitação pode produzir o escoamento superficial quando a intensidade da chuva excede a taxa de infiltração de água no solo. Os principais motivos provenientes dessa interação são gerados por camadas de impedimento em superfície ou em subsuperfície (BEAR, 1979).

A restrição do fluxo de água em superfície deve-se principalmente pela formação da crosta superficial. Ela é iniciada pela desagregação do solo devido ao impacto da gota de chuva exceder as forças coesivas dos agregados (D'AGOSTINI, 1999). O fracionamento desses agregados pode resultar partículas de tamanho variando, entre faixas de macroagregados até partículas de argila. Os solos com proporções maiores de silte e areia fina, e matéria orgânica menor 2% são facilmente desagregados, e pelo pequeno tamanho dessas partículas podem ser deslocadas para camadas inferiores do solo (GUERRA, 1999, BRANDÃO, 2006). O deslocamento ocorre por entre os poros do solo em uma pequena camada variando entre 0,1 a 50 mm (VALENTIN e BRESSON, 1992). Esse transporte irá depender da macroporosidade, tamanho de partículas, reatividade química e ainda do fluxo de água. No momento que diminui o fluxo de água, por entre os poros, começa haver aglomeração e rearranjo de partículas, ocorrendo assim, a obstrução e diminuição do tamanho dos poros. A partir desse momento a taxa de infiltração de água cai drasticamente, pela formação do chamado selamento superficial (McINTYRE, 1958; BERTOL et al., 1989; REICHERT et al., 1992; SILVA e KATO, 1997).

Em subsuperfície as camadas de impedimento que podem limitar a infiltração de água são a compactação e características pedológicas do solo. A compactação ocorre pela aplicação de cargas ao solo, resultando em modificações na estrutura do solo, com aumento da

densidade e da resistência do solo (SOANE e VAN OUWERKERK, 1994; REICHERT et al., 2003). Indiretamente, a compactação do solo afeta a infiltração e condutividade de água, temperatura e aeração do solo. A redução da porosidade, principalmente, da macroporosidade, afeta diversos atributos do solo como a condutividade hidráulica, permeabilidade do solo e infiltração de água. Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas (LETEY, 1985). Lanzasova et al. (2007) em estudo de intensidade de pastoreio bovino sobre plantio direto e os efeitos na compactação do solo, observou, que a redução do intervalo de pastoreio de 28 para 14 dias diminuíram significativamente a macroporosidade e a porosidade total na camada superficial (0-5 cm), passando de 0,11 para 0,07 e de 0,56 para 0,51 $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$, respectivamente. Vale considerar que o valor crítico para macroporosidade é de 0,10 $\text{dm}^3\text{dm}^{-3}$ (LETEY, 1985; SILVA et al., 1994). Para a taxa inicial de infiltração de água no solo e lâmina infiltrada acumulada evidenciou o efeito negativo do pisoteio bovino quando se elevou a frequência de pastejo após a cultura da soja. Já após o cultivo de milho, pela quantidade de resíduos, a infiltração não teve interferência. Esses resultados mostram a necessidade da rotação de cultura e manejo da pastagem, quanto à carga animal e frequência de pastejo.

Alguns problemas ambientais podem ser proporcionados indiretamente pela compactação. Um dos principais é o aumento do escoamento superficial, que pode aumentar o carreamento de sedimentos, fertilizantes e agrotóxicos das lavouras para os cursos d'água. Se por um lado a compactação aumenta a coesividade do solo, proporcionando menor desprendimento de partículas pela erosão, por outro, com maior escoamento e concentração da enxurrada em sulcos, pode haver energia suficiente para o cisalhamento e desagregação de partículas. O problema se agrava pela continuidade da precipitação e aumento da umidade do solo próximo à saturação. Assim ocorre a redução da energia de ligação de partículas (coesão), havendo assim, maior desagregação e transporte de sedimentos. Segundo D'Agostini (1999) a desagregação implica superar a coesão entre partículas do solo, de forma que possa ocorrer um deslocamento relativo entre partes contíguas. Já o transporte implica em superar a inércia e a atração da gravidade que atua sobre a massa das partículas de solo transportáveis. Esses problemas são agravados pela baixa utilização de práticas conservacionistas, eliminação da palha em superfície, redução da rugosidade superficial, entre outras (VOLK et al., 2009).

O impedimento pedológico deve-se principalmente pela redução da macroporosidade, por partículas mais finas, geralmente argilas dispersas, conduzidas e rearranjadas pelo

processo de podzolização (EMBRAPA, 2006). Sales (1999) em determinações de velocidade de infiltração básica (VIB) de um Argissolo e um Latossolo, em Minas Gerais, obteve valores de 12,1 e 56,6 mm h⁻¹, respectivamente. Nesse mesmo local, ele verificou que a condutividade hidráulica saturada (Ks) do Argissolo reduziu em profundidade, passando de 41,30 para 15,16 mm h⁻¹, da camada de 0-20 para a de 60-80 cm. No Latossolo, o comportamento foi inverso, com valores passando de 21,18 para 81,88 mm h⁻¹, nas mesmas camadas. Além disso, obteve correlação altamente significativa para o horizonte Bt do Argissolo e superficial do Latossolo, entre a VIB *versus* Ks e também densidade do solo. Outra consequência que as características pedológicas do solo podem proporcionar é a formação de “piping” (tubulação ou canalização). Este fenômeno é também motivado pelos fatores hidrológicos e agravados pela ocupação das áreas por atividades agropecuárias (COELHO NETTO, 1995). Solos potencialmente susceptíveis possuem horizonte Bt, com baixa permeabilidade e imediatamente acima possuem granulometria mais grosseira, especialmente na faixa acima de 250 mm, e também baixa estabilidade de agregados (JONES, 1971). O processo se desenvolve pela concentração de fluxos subsuperficiais criando alto gradiente hidráulico. Este fluxo em macroporos transporta partículas e é alimentado pela força cisalhante da água. Assim o canal vai alargando até que ocorra o colapso do teto. Até certo ponto, o material sólido permanece em equilíbrio, mas essa situação é destruída por meio de incisão de fluxo ou da própria exfiltração, criando condições para desenvolver fenômenos de canais de erosão conhecidos por “piping”. Esse processo promove a erosão regressiva, que tem início no ponto de extravasamento d’água e progride para montante, carreando os sedimentos das camadas internas do solo pela ação do escoamento subsuperficial e formando espaços vazios interligados, locais potencialmente formadores de voçorocas (COELHO NETTO, 1995).

No local do presente estudo foram observados ravinas, *piping* e até mesmo o transporte de palha no plantio direto (Figura1). Esses problemas estão vinculados ao manejo inadequado do solo e também pelas características pedológicas atribuídas ao Argissolo.



Figura 1. Erosão subsuperficial e superficial na pequena bacia hidrográfica (Fonte: Capoane e Pellegrini, 2010).

2.3 Hidrossedimentologia

O sedimento pode ser definido como a partícula derivada da rocha ou de material biológicos, que pode ser deslocada pela água ou vento (CARVALHO, 2008). O transporte pode ser do local de origem ou de algum ponto na paisagem e pode ser depositado temporariamente ou até permanentemente. Dentro do processo de erosão hídrica, a dinâmica que envolve os sedimentos é complexa, pois é determinada pela força gravitacional e pela energia cinética. Essas forças são geradas pelo impacto da gota de chuva e pelo escoamento superficial, ocorrendo o desprendimento, transporte e deposição do sedimento.

O tamanho e a composição mineralógica dos sedimentos são variados. As causas são os diferentes materiais de origem e estádios de intemperismo. As partículas consideradas como de tamanho coloidal estão entre 1 a 1000 nm (BORTOLUZZI e PETRY, 2008) e causam diversos problemas ambientais. O transporte de sedimentos geralmente é constituído por um conjunto de partículas que contém argilas, com propriedades coesivas, cujos diâmetros são menores que 2 a 4 μm . Esses sedimentos são transportados em suspensão, pois são partículas muito finas, assim impõe alta capacidade de transporte. Devido à sua grande área específica e a sua alta capacidade de sorção, os sedimentos coesivos são capazes de transportar diversos contaminantes e possuem maior potencial poluidor. Se o sedimento for oriundo de locais com elevada carga de pesticidas ou fertilizantes, e chegar aos cursos e reservatórios d'água, o mesmo irá desorver moléculas e íons, que podem ocasionar redução de aspectos qualitativos dos mananciais (EDSZWALD et al., 1974; USGS, 1999).

A produção de sedimento refere-se à quantidade de sedimento removida para fora da bacia ou uma área determinada. Esta é somente uma fração da erosão total ocorrida na bacia, pois há deposições temporárias ou permanentes que atenuam as perdas de solo desse local. O escoamento superficial é o principal agente de transporte de partículas de solo (sedimento), e a deposição ocorre somente quando a velocidade do escoamento superficial for reduzida (PRUSKI et al., 2004). Vários fatores determinam a produção de sedimento. Dentre eles, destacam-se: a intensidade da chuva, a intensidade do escoamento superficial, a textura do solo, o grau de consolidação da superfície do solo, a forma da erosão (entressulcos, sulco e/ou voçoroca), a cobertura do solo por resíduos culturais, o relevo da bacia, a rugosidade superficial do solo, o tamanho e a estabilidade dos agregados do solo (HUDSON, 1995).

A quantificação dos sedimentos em suspensão, em bacias hidrográficas, é fundamental, pois reflete as taxas erosivas causadas pela energia da chuva e da enxurrada sobre as diferentes proporções de uso do solo e tipos de manejos aplicados (MINELLA et al., 2008a). Amostragens do sedimento em suspensão feitas diretamente no exutório da bacia são essenciais para a quantificação e determinação da qualidade dos sedimentos. Contudo, o acompanhamento contínuo, por amostragem direta, demanda elevado custo em recursos humanos ou, mesmo, na aquisição de eficientes amostradores automáticos.

Alternativamente, o monitoramento hidrossedimentológico pode ser feito por alguns equipamentos como: amostradores de nível ascendente e descendente; amostrador de sedimento integrador e por turbidimetria. As medidas de turbidez poderão ser empregadas para proporcionar dados contínuos de concentração de sedimentos em suspensão, para o cálculo de sedimentos transportados.

A avaliação da turbidez do escoamento, apesar de ser um método indireto para a determinação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS), tem sido utilizada com sucesso (LEWIS, 2002; SCHOELLHAMER, 2002). O método é chamado de nefelométrico, pelo qual um feixe de luz incidente sobre a amostra tem parte dos raios luminosos refratados pelas partículas em suspensão, enquanto que o restante do feixe atravessa a solução. O sistema medidor é acionado pelos raios refratados que, por sua vez, estão em função das partículas em suspensão na amostra. A turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão na água, tais como: materiais orgânico, mineral e biológico de diferentes dimensões, cores, forma e transparência (ZIEGLER, 2002).

Para tanto, o êxito na validação dos resultados só é possível por meio de calibração. Minella et al. (2008b) em estudo da relação da turbidez para com a concentração de sedimentos em suspensão encontrou que, quando a calibração foi feita com os solos

amostrados da bacia ocorreu a superestimação da CSS. A melhor correlação foi obtida com as amostras de CCS coletadas durante eventos de precipitação e os valores de turbidez. Já a calibração com os sedimentos proveniente do amostrador torpedo apresentou um comportamento intermediário.

A quantificação de sedimentos em suspensão é essencial no monitoramento e estudos hidrossedimentológico em bacias hidrográficas. Os resultados refletem indiretamente a ação do homem sobre o meio, através das diferentes proporções de uso do solo e tipos de manejos aplicados.

2.4 Uso agrícola do solo e a erosão hídrica

A retirada da cobertura vegetal original para a implantação de atividades agrícolas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, rompem com o equilíbrio do sistema. As principais alterações ocorrem no solo, afetando as propriedades químicas, físicas e biológicas, tornando-o mais suscetível à erosão, podendo até ocorrer limitações para a utilização agrícola.

O principal uso agrícola dos solos no Rio Grande do Sul está relacionado à produção de grãos de sequeiro. No planalto a área de cultivo ocupa aproximadamente 5 milhões de hectares, sendo que, a maior parte é cultivado sob plantio direto. Todavia, a atividade econômica baseada na sucessão de soja e pastoreio extensivo de inverno, principalmente em pequenas propriedades pode causar redução das reservas de água em bacias hidrográficas. A principal interferência se deve ao plantio direto não assegurar as condições suficientes para disciplinar os fluxos de energia e matéria emanados do ciclo hidrológico no âmbito de bacia hidrológica (DENARDIN et al., 2005).

O aumento da área de cultivo sob plantio direto foi importantíssimo para estancar as perdas de solo do sistema convencional. Historicamente, a adoção desse sistema entre o período de 1992 a 1998 cresceu linearmente na ordem de 561 mil hectares por ano (DENARDIN et al., 2005). Lino (2010) em uma simulação feita em varias bacias do RS obteve a redução de 82,6% na produção de sedimento, entre os anos de 1985 a 2006, representando a mudança de sistema de manejo do solo. Impactos positivos podem ser visualizados pela mudança na coloração da água dos rios, aumento da fertilidade dos solos e consequentemente aumento de produtividade e produção no Estado (RHEINHEIMER et al., 2001; 2003).

Apesar destes avanços, o sistema plantio direto mantém o mesmo pacote tecnológico da agricultura moderna, recomendando grandes quantidades de agroquímicos e, muitas vezes,

aplicados na superfície do solo. Dessa maneira, a capacidade de retenção de nutrientes e agrotóxicos da camada superficial do solo pode e é saturada rapidamente. O problema aumenta pela retirada de terraços, falta de outras práticas conservacionistas, semeaduras no sentido de maior distância da lavoura (não considerando a declividade) e pela baixa rugosidade superficial. Nestas condições ocorre alta quantidade de escoamento superficial, transportando nutrientes solúveis, podendo até chegar à formação de sulcos, perdendo maior quantidade de solo e nutrientes (DENARDIN et al., 2005; VOLK et al., 2009).

O sedimento transportado pela enxurrada, em avaliações feitas em um Latossolo foi encontrado 2,0 vezes mais matéria orgânica, 2,8 vezes mais P_2O_5 , 2,3 vezes mais K_2O e 1,9 vezes mais CaO , do que no solo original da lavoura (DENARDIN et al., 2005).

Para a conservação do solo e da água é necessário selecionar medidas que reduzam a erosão, principalmente em áreas com agricultura intensiva. A conservação do solo consiste na utilização da terra de acordo com a sua capacidade e na aplicação correta de práticas de conservação, para garantir seu uso intensivo e permanente sem provocar sua degradação. A capacidade de uso da terra pode ser conceituada como a adaptabilidade da terra às diversas formas de utilização agrícola, sem que ocorra o depauperamento do solo pelos fatores de desgaste e empobrecimento, através do seu uso (LEPSCH, 1991). Segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), o desgaste e o empobrecimento do solo nas suas diversas fases e formas, podem ser evitados com a utilização de práticas que aumentam a cobertura vegetal e a infiltração da água no perfil do solo e reduzem o escoamento superficial. Desta forma, obtém-se, como reflexo, uma melhoria da quantidade e qualidade das águas, além da preservação da vida silvestre e melhoria do ambiente.

2.5 Usos do solo sob áreas de preservação permanente e a dinâmica hidrossedimentológica

A preservação da vegetação nativa, assim como a definição de áreas de preservação permanente podem ser encontradas na Lei Nº **12.651, de 25 de maio de 2012**, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, qual no Artigo 3º inciso II define,

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

No Capítulo II, secção I, dessa mesma Lei, estão expostas as delimitação das áreas de preservação permanente, transcrevendo que:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;*
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;*

Nesse sentido, a legislação brasileira visa preservar o ambiente natural mais frágil, manter a biodiversidade, obter bom nível de sustentabilidade e assegurar o bem estar público. De certa forma grande parte da área da zona ripária, que são mais frágeis do ponto de vista ambiental, está dentro das Áreas de Preservação Permanente (APP's). Contudo, nem sempre há sobreposição, ficando parte de áreas frágeis à mercê, principalmente de drenagens, desmatamentos e utilização por gado.

Diante disso, o trabalho feito por Attanasio et al. (2006) para uma bacia hidrográfica do estado de São Paulo identificou que a zona ripária correspondeu a 24,9 % da bacia estudada. Pela elaboração da localização das APP a qual ao ser justaposta à carta de zona ripária, mostrou que apenas 27,6 % da zona ripária estava inserida em APP, conseqüentemente resguardada pelas leis ambientais.

A zona ripária é área que acompanha o curso d'água da bacia hidrográfica e está intrinsecamente ligada as variáveis hidrossedimentológicas. Os limites ou à distância a partir do curso d'água são variáveis, mas naturalmente caracterizados por uma vegetação típica de áreas úmidas e/ou a própria mata ciliar (RODRIGUES e SHEPHERD, 2000). O limite a montante, por exemplo, seria a nascente, mas durante parte do ano a zona saturada da bacia se expande consideravelmente, o que implica na necessidade de se considerarem também as áreas côncavas das cabeceiras. De modo geral, quanto a aspectos fisiográficos, a zona ripária encontra-se dentro dos limites da planície de inundação e quanto à hidrologia apresenta comportamento variável pela flutuação da saturação do solo. Por ser um ecossistema extremamente dinâmico, complexo e com alta diversidade pode ser chamado de ecossistema ripário (LIMA e ZAKIA, 2002; LIMA, 2003; ATTANASIO et al, 2006).

A dinâmica desse ecossistema ripário proporciona ampla diversidade na vegetação apresentando uma alta variação em termos de estrutura, composição e distribuição espacial.

Esta variação deve ocorrer tanto ao longo do curso d'água, quanto lateralmente, com presença de mata em diferentes estágios de desenvolvimento, além de vegetação herbácea na periferia. Essa vegetação está sobre as áreas de maior dinâmica da paisagem, tanto em termos hidrológicos, como ecológicos e geomórficos, que geralmente coincidem com as áreas variáveis de afluência.

A floresta que ocupam as zonas ripárias é chamada de mata ciliar ou mata ripária. A importância na preservação não se dá somente pela vegetação arbórea, mas também da vegetação herbácea tipicamente de áreas úmidas. Pois, do ponto de vista ecológico, as zonas ripárias têm sido consideradas como corredores extremamente importantes para o movimento da fauna ao longo da paisagem, assim como para a dispersão vegetal. Além da extrema importância do equilíbrio do sistema hidrossedimentológico e da própria bacia hidrográfica, proporcionando melhorias dos aspectos quanti e qualitativos da água.

A mata possui maior influência no ciclo hidrológico quanto à interceptação, infiltração/escoamento e evapotranspiração. Pelo processo de interceptação a copa das árvores retém uma quantidade limitada do volume precipitado. Contudo, ela pode ser suficiente para retardar o escoamento e até pela evaporação da água que está sobre as folhas pode diminuir minimamente este volume. Outra função da copa das árvores, juntamente com a serapilheira, é de dissipar a energia cinética ocasionada pelo impacto das gotas de chuva. Outro fato é que o solo sob a floresta normalmente apresenta boas condições de infiltração podendo absorver todo o volume precipitado. Em locais onde o lençol freático é superficial (área úmidas) a cobertura florestal provoca, pela evapotranspiração, um rebaixamento do lençol freático, disponibilizando espaço vazio para armazenar a água para os eventos subsequentes. Nestas mesmas áreas, o corte da floresta pode, frequentemente, resultar na subida do lençol freático, tornando-a mais propensa a gerar escoamento superficial (BROWN et al., 2005).

A maior densidade da vegetação influenciará nas variáveis hidrossedimentológicas através do aumento do índice de área foliar, da cobertura do solo por serapilheira, do coeficiente de atrito (*n de manning*), entre outros (LIMA, 2008). Dessa maneira, a vegetação natural ao redor da rede de drenagem apresenta uma função importante na contenção do escoamento superficial e do fluxo de sedimento (LOWRANCE et al., 2002). A enxurrada tende a se espalhar ao ultrapassar a vegetação ciliar densa devido à resistência hidráulica. Assim, a sua velocidade é diminuída, permitindo que os sedimentos em suspensão depositem-se antes de chegar ao canal. Outra função da vegetação, que proporciona melhorias na qualidade de água, é na absorção dos nutrientes potencialmente poluidores, adsorvidos nos sedimentos que foram retidos pela vegetação. Além disso, a presença de árvores e vegetação

rasteira nas margens do canal aumenta significativamente a coesão do solo, por meio da ação das raízes, além das que atingem maior profundidade do solo, servindo como uma espécie de alicerce de contenção das margens, evitando o solapamento e a erosão do canal (LIMA e ZAKIA, 2000).

Faixas de vegetação densa, chamadas no inglês de *buffer*, podem ser implantadas em locais susceptíveis a erosão ou mesmo antes da mata ciliar. Essa vegetação atua similarmente a vegetação herbácea nativa de áreas úmidas. Pode ser atribuído um efeito “tampão” a essa vegetação, pela retenção de potenciais poluidores para que não cheguem ao curso e fontes d’água (Figura 2). Dessa maneira, poderá ser melhorada a qualidade de água do ambiente local.

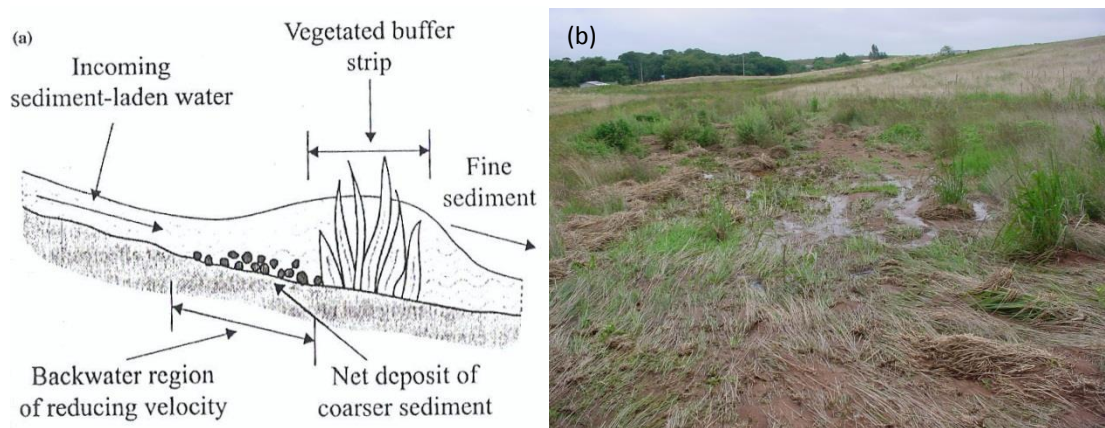


Figura 2. Efeito da vegetação na retenção de sedimentos: (a) esquema ilustrativo (fonte: ROSE, 2004); e (b) retenção de sedimento pela vegetação em área úmida (Fonte: PELLEGRINI, 2010).

A área variável de afluência (AVA) da bacia hidrográfica corresponde à área com expansão e contração da saturação hídrica do solo, ou seja, possui variação espacial na paisagem e temporal, devido a uma única precipitação ou até com flutuações sazonais. Em geral, encontram-se situadas ao longo dos cursos d’água e em suas cabeceiras, nas concavidades de terrenos para as quais convergem as linhas de fluxo e mesmo em porções de áreas saturadas encontradas em pontos elevados de encostas (ZAKIA et al., 2006; LIMA, 2003). Walter et al. (2000) se refere às áreas de afluência variável (AVA) como áreas saturadas que iniciam o escoamento superficial momentaneamente após o início da precipitação. Esta inferência é válida para os locais que já estão saturados, visto que, ao distanciar-se do curso d’água ou pelo próprio aumento de nível na paisagem, o conteúdo de

água no solo diminui. Com isto, a porosidade do solo estará disponível para armazenar os volumes provenientes da precipitação e do escoamento dos locais sobrejacentes.

Dessa forma, estas regiões são referidas como áreas hidrologicamente mais ativas, pois são as regiões em uma bacia hidrográfica, que são mais suscetíveis a produzir o escoamento do que o restante da bacia (BEVEN, 2001). Apesar das inúmeras variações de clima, topografia, solo e vegetação, Walter et al. (2000) atribui que cerca de 10% da área da bacia (média anual) é designado como área hidrologicamente sensível (AHS) e cerca de 20% do escoamento total anual origina-se dessas áreas.

As AVA's são denominadas através de conceito físico e científico. Dentro destas, mais duas variações com base em conceitos hidrológicos ligados à qualidade da água, que são as áreas hidrologicamente sensíveis e áreas críticas de poluentes (Critical Source Areas - CSA). O AHS é qualquer área de uma bacia hidrográfica que está propenso à geração de escoamento e, portanto, tem o potencial para o transporte de poluentes (WALTER et al., 2000). A CSA é uma área em uma bacia hidrográfica em que a carga potencial de poluente coincide com uma HSA. A consideração destes conceitos e a identificação dessas áreas para o planejamento de bacias hidrográficas ajudaram a minimizar os efeitos das fontes não pontuais de poluição na qualidade de água (GBUREK e SHARPLEY, 1998, WALTER et al., 2001, HIVELY, 2004). A poluição difusão é originária de áreas que estão ativamente e intensamente utilizados de produção agrícola. Uma grande quantidade de poluentes da água, tais como nitrogênio, fósforo e sedimentos são provenientes de um número relativamente pequeno de parcelas de áreas crítica de poluentes (CSAs) em uma bacia hidrográfica (DICKINSON et al., 1990).

Nessa mesma linha, Van Noordwijk et al. (1998) apresentou resultados que, para o fluxo de sedimento, a localização das áreas e as faixas de preservação são mais importantes que a área total de florestas na bacia. Estas constatações também foram apontadas por Pellegrini (2011) em estudo realizado em uma PBH com elevada complexidade agroambiental. Este autor alerta que as matas ciliares não serão suficientes em reter os poluentes se o manejo do solo nas áreas de cultivo for inadequado. Quanto aos aspectos hídricos quantitativos, cabe resaltar que a recuperação da vegetação ciliar contribui para com o aumento da capacidade de armazenamento da água na bacia ao longo da zona ripária, o que contribui para o aumento da vazão na estação seca do ano (ELMORE e BESCHTA, 1987). E pelos aspectos qualitativos da água, a preservação da zona ripária e mata ciliar possui efeito direto, isolando estrategicamente o curso d'água das áreas de poluição pontual ou difusa, ao desempenhar uma ação eficaz de filtragem superficial de sedimentos (AUBERTIN e

PATRIC, 1974; SCHLOSSER e KARR, 1981; MORING et al., 1985; MAGETTE et al., 1989).

2.6 Indicadores de qualidade ambiental para bacias hidrográficas

A hidrologia estuda os fenômenos naturais complexos como precipitação, evaporação, infiltração e o escoamento superficial que compõe o ciclo hidrológico (TUCCI, 2005). A dinâmica e a quantificação dessas variáveis hidrológicas normalmente tomam a bacia hidrográfica como a unidade de referência. Contudo, esse ambiente é um sistema aberto e complexo. Dessa forma, recebe energia do clima e ações antrópicas e perde continuamente energia e matéria através do deflúvio. No sistema aberto a observação exige uma visão geral, sobre as interações e inter-relações do sistema (GREGORY e WALLING, 1973; CHRISTOFOLETTI, 1974).

Segundo D'Agostini (1999) a água que incide e escoar sobre a superfície do solo, provocando erosão, é um processo que, embora análogo, é muito mais complexo. Pois o número de informações altamente precisas que são necessárias para prever o resultado satisfatoriamente no tempo e no espaço é muito maior. Esta ressalva faz-se necessário para o estudo e a parcimônia na aplicação de modelos.

A comunidade científica vem, nos últimos anos, empenhando esforços para desenvolver modelos matemáticos para prever e estimar impactos gerados em diferentes áreas. Na ciência do solo, ou especificamente na área de hidrossedimentologia, existe uma série de modelos que podem ser utilizados em diferentes escalas para avaliar os impactos erosivos ou a dinâmica hidrológica. Como a modelagem hidrológica visa à representação do comportamento de pelo menos uma parte do sistema, a aleatoriedade das variáveis, juntamente com a dinâmica do meio, torna-se necessário a cautela na análise dos resultados. Como em dois eventos de igual volume precipitado (entrada) poderão ser transformados em diferentes volumes de deflúvio (saída), à medida que ocorre a interação das características do evento com meio (solo, vegetação, topografia, entre outros). Assim, quanto mais complexo for o sistema, mais desafiadores e necessários serão os modelos (TUCCI, 2005). Para entender o comportamento de uma bacia hidrográfica é preciso monitorar as entradas, saídas e o armazenamento. Assim, será possível prever minimamente sua resposta às alterações impostas pelo homem sobre o meio.

A modelagem hidrológica é utilizada como ferramenta para atingir os objetivos de prever situações, evitar perdas e diminuir os danos, como maior precisão. De acordo com More (1975) “os modelos são usados em Hidrologia com três objetivos: (1) simplificar e generalizar uma realidade complexa; (2) prever a ocorrência de eventos hidrológicos; e (3) planejar o uso futuro dos recursos hídricos.” A modelagem possui várias vantagens, como: facilidade de execução, baixo custo e rápida obtenção dos resultados. Comprovadamente, em inúmeros estudos, os modelos hidrológicos são ótimos preditores de pesquisas em bacias hidrográficas, obtendo resultados do comportamento quanto ao uso e manejos inadequados do solo. Além disto, servem para simular cenários de melhor eficiência para as atividades agrícolas, para posterior recomendação e implantação.

No entanto, a utilização de modelos matemáticos mais confiáveis como ferramenta para prever impactos sobre o ambiente geralmente requerem altos investimentos para monitoramento, mensurações e estabelecimentos de parâmetros para sua calibração e validação. No entanto, há indicadores ou coeficientes mais simples para comparar o nível e eficiência da ocupação de terras e de manejo do solo em bacias hidrográficas. Estes coeficientes, apesar de simples, consideram a complexidade do meio. Esta vem da ação do homem sobre o meio, que implica na escolha das proporções de uso do solo, na adoção do manejo do solo, na aplicação de práticas conservacionistas, entre outras. Estas decisões e atitudes, por sua vez, influenciam sobre algumas características ambientais sem interferência humana, como as características físicas das bacias hidrográficas e além de variáveis climáticas.

Segundo D’AGOSTINI (1999), um evento pluviométrico pode dispende quantidades similares de energia erosiva em bacias hidrográficas vizinhas. Porém, o autor alerta que, por serem sistemas abertos, onde ocorrem trocas de matéria e energia com o meio, implicando em diferentes resultados, como o desequilíbrio hidrológico ou perdas de solo. As quantificações desses resultados são feitos principalmente no exutório das bacias hidrográficas, por meio de medições contínuas ou, até mesmo, esporádicas, de vazão e transporte de sedimento. Com essas informações podem ser utilizados indicadores de desempenho ambiental, que visam demonstrar as práticas organizacionais no sentido de minimizar os impactos ao meio ambiente decorrentes de suas atividades humanas (GASPARINI, 2003). Entre os indicadores que seguem este princípio destacam-se o coeficiente de dissipação de energia erosiva e o coeficiente de regularização de vazão, ambos sugeridos por D’AGOSTINI (1999) e D’AGOSTINI e MARTINI (2000). Estes indicadores foram construídos para serem utilizados de forma comparativa, no intuito de avaliar a relação homem-meio, em estudos de bacias

hidrográficas. Estes coeficientes, apesar de simples, consideram a complexidade do meio, que também se atribui à interação como o homem. Estes agem por meio da escolha das proporções de uso do solo, na adoção do manejo do solo, na aplicação de práticas conservacionistas, etc... Os autores ressaltam que os indicadores de desempenho ambiental, não visam descrever os processos com máxima discretização, mas sim, demonstrar que, por meio de uma análise comparativa, as práticas de planejamento podem minimizar os impactos ao meio ambiente decorrentes de suas atividades humanas (GASPARINI, 2003).

Esses indicadores também podem contribuir para avaliar a situação ocorrente neste estudo, em que a ocupação do solo passou pelo processo de reforma agrária e não foi considerada a aptidão agrícola dos solos para a divisão de lotes. Além de haver no local um emaranhado de formas de usos e manejos do solo motivado pela individualidade dos assentados.

Diante do exposto, a análise das respostas hidrossedimentológicas e dos índices de desempenho ambiental utilizados de forma comparativa em bacias hidrográficas pareadas e ocupadas por diferentes usos do solo pode indicar quais as características de cada bacia que contribuem em minimizar os impactos do escoamento superficial e da produção de sedimento, bem como o aumento das reservas hídricas em períodos de estiagem (RODRIGUES et al., 2013; GRIMM, 2003). As informações geradas neste estudo poderão contribuir no entendimento da dinâmica do ciclo hidrossedimentológico e no planejamento adequado dos usos e manejos dos solos em bacias hidrográficas.

3 HIPÓTESES

O uso agrícola do solo contribui em aumentar as perdas de solo e água em bacias hidrográficas. Como há similaridade nas proporções de área sob uso agropecuário nas bacias hidrográficas em estudo, e a forma de manejar o solo não diferencia, atribui-se as alterações na dinâmica hidrossedimentológica às diferentes proporções de usos do solo com matas e áreas úmidas.

As áreas úmidas encontram-se grande parte do ano com solo saturado. Desta forma, esses locais são mais propensos a gerar escoamento superficial, momentaneamente após o início da precipitação. Assim, a maior proporção de área úmida em bacias hidrográficas contribui em aumentar o escoamento superficial. No entanto, a vegetação natural densa das áreas úmidas, diminui a velocidade do escoamento superficial, tendendo a espalhar a enxurrada ao ultrapassar a vegetação, diminuindo a capacidade de transporte de sedimento, fazendo com que se depositem antes de chegar ao canal.

As áreas de mata ciliar normalmente apresentam comportamento similar às áreas úmidas para a retenção de sedimento. Para isso, a mesma deve apresentar a preservação dos extratos inferiores e possuir também vegetação densa. Quando a mesma encontra-se degradada pela utilização da pecuária, os efeitos na retenção de sedimento são reduzidos. Além disto, pode proporcionar maior conectividade no transporte de sedimento nos caminhos criados pelo gado.

Outro fator que afeta o fluxo de sedimento deve-se a localização das áreas e das faixas de preservação que são mais importantes que a área total de florestas na bacia. No entanto, quanto ao escoamento superficial, a maior proporção de área de floresta proporcionará maior evapotranspiração, ocorrendo o rebaixamento do lençol freático, disponibilizando espaço vazio para armazenar a água em eventos subsequentes, assim diminuindo o escoamento superficial.

O uso de índices de balanço de energia em bacias pareadas possibilita quantificar os efeitos do uso e manejo dos solos nos processos hidrossedimentológico na escala de bacia hidrográfica.

4 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos do uso e manejo do solo sobre a dinâmica hidrossedimentológicas em pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas, através das respostas hidrossedimentológicas e com o uso de indicadores de balanço de energia, em análise comparativa para bacias hidrográficas com distintas proporções de uso do solo de área úmida e mata ciliar.

5 ARTIGO I - O uso do solo e as alterações na dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas rurais pareadas¹.

Resumo: As alterações na dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas são fortemente influenciadas por ações antrópicas sobre o uso e manejo do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos das áreas úmidas e das matas ciliares sob as alterações nas respostas hidrossedimentológicas na escala de bacia hidrográfica. O estudo foi conduzido entre 2010 e 2012 em duas bacias hidrográficas rurais (PBHs) pareadas sob plantio de soja, com área de 1,44 km² (PBH 140) e 0,80 km² (PBH 80) localizadas no Município de Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul. Para tanto foram monitoradas a precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimento em suspensão e descarga em arraste. Os resultados demonstram que as bacias com diferentes proporções de mata ciliar e áreas úmidas apresentaram comportamento hidrossedimentológico distinto. Entretanto, a influência da mata ciliar e das áreas úmidas condicionam resultados distintos, a bacia com maior proporção de mata ciliar apresentou uma maior regularidade nas variáveis relacionadas à vazão e a bacia com maior proporção de áreas úmidas apresentou uma redução sensível nas variáveis associadas com o transporte de sedimentos. Os resultados indicam que a preservação de mata-ciliares e das áreas úmidas são ações complementares e necessárias para a amortização das ondas de cheia e para a redução e desconectividade das áreas fontes de sedimentos para os cursos de água.

Palavras-chave: escoamento superficial, escoamento de base, produção de sedimento, mata ciliar, áreas úmidas.

The land use and changes in hydrosedimentological dynamics alteration in rural watersheds paired

Changes in hydrosedimentological dynamic in watersheds are strongly influenced by human actions on the soil use and management. The objective of this study was to evaluate the effects of wetlands and riparian areas on the changes in hydrosedimentological dynamic in the scale of a river watershed. The study was conducted between 2010 and 2012 in two rural

¹ Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Exceto à numeração para sumário).

watersheds (RW) paired both under soybean cultivation , with an area of 1.44 km² (140 RW) and 0.80 km² (RW 80) located in the Municipality of Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul. For this purpose were monitored the rainfall, flow, turbidity, and concentration of suspended and drag sediment. The results show that the watersheds with different proportions of riparian vegetation and wetlands showed different hydrosedimentological behavior. However, the influence of riparian and wetland areas produces distinct results, where the watershed with the highest proportion of riparian vegetation had a greater regularity in variables related to flow and the watershed with the highest proportion of wetlands showed a significant reduction in the variables associated with sediment transport. The results indicate that the preservation of riparian forest and wetland areas are complementary and necessary for the full amortization of the high flows and for the reduction and the non connectivity of the sediment sources areas to the watercourses.

Keywords: runoff, baseflow, sediment production, riparian forest, wetlands.

5.1 INTRODUÇÃO

As decisões e ações antrópicas no meio rural determinam as proporções de usos e as formas de manejo do solo. A retirada da vegetação nativa para utilização do solo por atividades agrícolas é uma das alterações antrópicas que mais impactam a dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas (Coe et al., 2009), pois promove a redução da capacidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial (Brow et al., 2005; Rodrigues et al., 2013).

O manejo inadequado do solo por atividades agropecuárias contribui para esse desequilíbrio principalmente pela falta de cobertura do solo, redução da matéria orgânica e da macroporosidade, aumento dos níveis de compactação, além da baixa utilização de práticas agronômicas conservacionistas, como a utilização de terraços (Denardin et al., 2005; Reichert et al., 2007). O aumento do escoamento superficial promove a degradação dos solos cultivados e a contaminação e assoreamento dos recursos hídricos. Contudo, o bom manejo e o uso correto do solo pode também minimizar os efeitos da energia erosiva gerada por fenômenos naturais (D'Agostini, 1999).

As matas ciliares possuem grande importância para o equilíbrio do sistema hidrossedimentológico (Lima & Zakia, 2000). Em estudo de qualidade de água em nascentes

circundadas por diferentes usos do solo Pinto et al. (2012) atribuiu à presença de matas ciliares a maior proteção quali-quantitativa de seus recursos hídricos. Entre as principais vantagens desses ecossistemas estão à dissipação da energia cinética da precipitação, a alta taxa de infiltração de água no solo e o rebaixamento do lençol freático pela transpiração, que disponibiliza espaço vazio para armazenar água em eventos subsequentes (Lima & Zakia, 2000).

A dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas também é fortemente influenciada pelas áreas úmidas, localizadas principalmente às margens dos cursos d'água (Hewlett & Hibbert, 1967). Essas áreas apesar de serem propensas a gerar escoamento superficial, normalmente possuem vegetação palustre e densa, que agem como armadilha na retenção de sedimento (Lowrance et al., 2002; Verstraeten et al., 2006; Attanasio et al., 2012). Desta forma, as áreas de mata ciliar e áreas úmidas em bacias hidrográficas podem contribuir para diminuir as perdas de sedimento, apesar da maior proporção de áreas úmidas resultarem em maior escoamento superficial.

Apesar da reconhecida importância das áreas hidrologicamente frágeis na dinâmica hidrossedimentológica em bacia hidrográfica, existem poucos estudos no Brasil em pequenas bacias rurais e pareadas. Considerando as influências das áreas hidrologicamente frágeis (matas ciliares e áreas úmidas) no comportamento hidrológico de bacias e da sua capacidade em interceptar sedimentos e solutos, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos de duas condições distintas de mata ciliar e área úmida em minimizar os impactos gerados pela atividade agrícola aos recursos hídricos, por meio da análise do comportamento hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas rurais pareadas sob cultivo de soja.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

As bacias hidrográficas (PBHs) estão localizadas no Assentamento Alvorada, município de Júlio de Castilhos, Região Geomorfológica do Planalto das Missões do estado do Rio Grande do Sul, sul do Brasil. Seus limites encontram-se entre as coordenadas UTM 239000 a 244000 E e 6746000 a 6752000 S, sistema SAD 69. As áreas das PBHs são de 1,445 km² e 0,796 km², as quais foram denominadas como PBH 140 e PBH 80, respectivamente.

Segundo Köppen o clima é classificado como *Cfa* subtropical úmido com verões quentes, inverno com geadas frequentes. A precipitação média anual histórica é de 1,639 mm (AGRITEMPO, 2013). O relevo local é suave a levemente ondulado com declividade média de 0,07 m m⁻¹. O solo predominante é o Argissolo e em menor proporção estão os

Cambissolos, Neossolos e Gleissolos. A textura média para a camada de 0-20 cm é de 67,2% de areia, 17,4% de silte e 15,4% de argila.

As PBHs fazem parte da bacia hidrográfica do rio Jacuí e são consideradas na hierarquia fluvial como de terceira ordem. O fator de forma e o coeficiente de compacidade foram 0,47 e 1,34 para a PBH 80, e 0,45 e 1,31 para a PBH 140, respectivamente, indicando que as bacias apresentam formas relativamente semelhantes. O tempo de concentração e o tempo de pico foram de 57 e 140 min para a PBH 140, e 84 e 210 min para a PBH 80, respectivamente. Esses resultados foram obtidos através da análise de cerca de 100 eventos realizados nas duas PBHs.

O período de monitoramento foi de 36 meses (01/01/2010 a 31/12/2013) na PBH 140 e 29 meses na PBH 80 (30/07/2010 a 31/12/2013). Foram monitoradas a precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimento em suspensão (CCS) e descarga fundo (CSF), as três primeiras automaticamente com intervalo de aquisição de 10 minutos e as duas últimas durante eventos de chuva-vazão. A precipitação foi monitorada por uma estação agrometeorológica automática e um pluviógrafo que registraram os volumes precipitados a cada 10 e 5 minutos, respectivamente, além de três pluviômetros. A vazão foi monitorada através de duas calhas Parshall com larguras críticas de 1,22 e 1,52 m, para a PBH 80 e 140, respectivamente. Os resultados foram registrados em intervalos de 5 minutos, por um datalogger conectado a um linígrafo de pressão instalado em cada seção de controle. Nesses mesmos locais também foram instalados turbidímetros para monitoramento da concentração de sedimento em suspensão. As amostras de sedimento em suspensão foram coletadas com um amostrador modelo DH 48, por meio da integração vertical da amostra. Foram coletadas 261 amostras durante 12 eventos na PBH 80, e 315 amostras em 13 eventos na PBH 140. Além destas, foram coletadas mais 10 amostras de sedimento em suspensão em cada PBH para caracterizar os períodos de escoamento de base. Para quantificação do sedimento transportado por arraste de fundo foi utilizado o amostrador BLM-84, com malha de 250 μm . O número de subamostras, assim como o tempo de amostragem em cada vertical, variou em função da vazão, visando não limitar o fluxo da enxurrada por obstrução da malha. As coletas foram realizadas em três eventos totalizando 38 amostras na PBH 140 e 19 na PBH 80.

A energia cinética foi calculada em cada evento pluviométrico segundo Wischmeier & Smith (1978). Os resultados da produção de sedimento (PS) foram obtidos através do somatório da descarga sólida em suspensão (DSS) e da descarga sólida em arraste (DSA). A CSS foi determinada pelo método da evaporação em estufa à 105°C. Com os resultados de CSS foram geradas equações através de relações com os valores de turbidez (NTU -

Nephelometric Turbidity Unit). Ambas as variáveis foram monitoradas por sensores de turbidez e nível acoplados a um datalogger que registrou os valores em intervalos de 5 minutos. Para a produção de sedimento de arraste de fundo foi construída, para cada PBH, uma curva-chave através dos pontos amostrados, a qual relaciona a massa de sedimento transportada no tempo em diferentes vazões. Estas equações foram aplicadas nos valores contínuos de vazão resultando na descarga de sedimento, que posteriormente foi multiplicado pelo tempo, obtendo a descarga de sólida em suspensão e arraste.

O volume do escoamento superficial e, por consequência, o escoamento de base, foi obtido através do método da linha reta proposto por Chow et al. (1988). O coeficiente de escoamento superficial foi obtido pela razão da lâmina escoada e respectiva precipitação.

O principal uso do solo nas PBHs é a integração lavoura-pecuária (76% aproximadamente nas PBHs). Este sistema caracteriza-se localmente pela ocupação predominante de áreas com cultivo de soja, através da semeadura direta (lavoura anual), sobre pastagem de azevém, germinado espontaneamente. Já nas áreas de pastagem perene, com predomínio de espécies de ciclo estival, o gado permanece no período de crescimento da soja, assim como em alguns locais de áreas úmidas, silvicultura e matas. As distribuições dos usos do solo nas PBHs podem ser visualizadas na Figura 1. As principais diferenças entre as PBHs devem-se à ocorrência de matas ciliares e áreas úmidas (banhados). A área ocupada com mata ciliar e áreas úmidas na PBH 140 foi de 12,2 e 5,3%, respectivamente, já na PBH 80, foi de 2,4 e 15,3%.

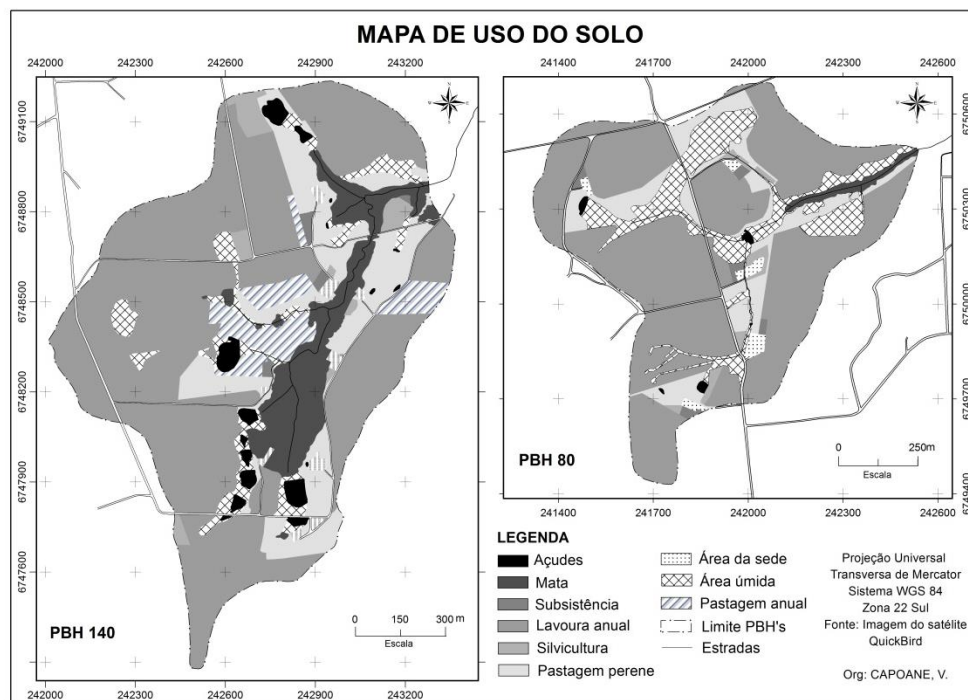


Figura 1. Mapa de distribuição de usos do solo considerando as variações médias entre os anos de 2010 e 2012, nas pequenas bacias hidrográficas PBH 140 e PBH 80, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil.

5.3 RESULTADOS

O escoamento superficial é a principal variável resposta para a análise comparativa entre as PBHs. O escoamento superficial, apresentada na forma de vazão específica sempre foi maior na PBH 80 do que na PBH 140. Por outro lado, o contrário ocorreu com os valores de escoamento de base apresentando-se superiores na PBH 140 (Tabela 1). Agrupando os valores a partir julho de 2010 para as PBHs e analisando o balanço da dinâmica hidrológica aproximado, encontram-se para a PBH 80, aproximadamente 25,8% foram transformados em escoamento de base, 7,6% em escoamento superficial e o restante 66,6% atribuídos às perdas como evapotranspiração, infiltração profunda e armazenamento de água no solo. Já para a PBH 140, 37,5% resultaram em escoamento de base, 4,2% mm em escoamento superficial e 58,3% nas outras variáveis. Dessa forma, na PBH 80 houve incremento de aproximadamente 80% do volume de escoamento superficial em relação à PBH 140. Por conta disto, houve baixo armazenamento de água no solo, resultando em uma redução de 31% o escoamento de base.

Em Júlio de Castilhos, a precipitação média mensal histórica de 1971 a 2002 é de 137 mm (AGRITEMPO, 2013). Tomando este valor por referência observa-se que o primeiro trimestre de 2010 e o último de 2012, os valores aproximaram-se do dobro da precipitação prevista para este período. Isto gerou as maiores perdas de escoamento superficial e sedimento, juntamente como os trimestres de julho, agosto e setembro de 2010 e 2011. Nesse período, em um único evento de 323 mm ocorrido em janeiro de 2010, houve a perda aproximada de 115 toneladas de sedimento na PBH 140, quantidade superior à perda anual sob condições normais. A partir de outubro de 2011 a setembro de 2012 foi um período com baixa quantidade de precipitação, assim como perda de solo, mas importante para observar a reserva hídrica das bacias. Neste período pode ser observados maiores valores de escoamento de base na PBH 140. Por este mesmo motivo os valores de perdas de sedimento entre evento foram maiores do que nos eventos, com perdas totais de sedimento para a PBH 140 e 80 de 16,5 e 7,4 $\text{Mg km}^{-2} \text{ano}^{-1}$, respectivamente. Houve grande variação percentual das perdas entre e durante os eventos, mas em média as perdas nos eventos foram de 88,4 e 72,8% para as PBH 140 e 80, respectivamente. Para o sedimento de arraste de fundo, na PBH 140, os valores percentuais variaram de 1,63 a 29,8%, com média de 7,35%. Já na PBH 80 os valores foram menores e variaram na ordem de 0,05 a 5,07%, com média de 1,32%, demonstrando o grande incremento nas perdas de sedimento por transporte de fundo e durante os eventos na PBH 140.

Tabela 1. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas e estimadas entre 2010 a 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 80 e 140.

PBH	Ano	Meses	P total ¹	E total ²	ES ³	E base ⁴	DV ⁵	PSS	PSS	PSA ⁸	PS	
								eev ⁶	ev ⁷		total ⁹	
							mm	Mg km ⁻²				
PBH 80	2010	J ¹⁰ AS	337,7	190,8	53,3	137,51	146,8	2,46	15,69	0,23	18,38	
		OND	224,7	48,2	3,7	44,45	176,5	1,27	0,75	0,00	2,02	
	2011	JFM	365,1	55,5	3,2	52,32	309,6	1,47	1,30	0,00	2,77	
		AMJ	428,1	124,9	29,7	95,28	303,2	2,23	6,60	0,10	8,93	
		JAS	489,7	167,5	58,9	108,59	322,3	1,70	10,28	0,17	12,24	
		OND	264,0	78,0	16,6	61,33	186,0	0,17	2,23	0,04	2,97	
	2012	JFM	322,4	52,2	1,7	50,50	270,2	0,55	0,15	0,00	0,69	
		AMJ	219,6	60,0	4,8	55,17	159,6	0,51	0,69	0,01	1,21	
		JAS	297,8	105,9	17,4	88,54	191,9	0,69	1,78	0,05	2,52	
		OND	874,2	281,1	68,6	212,54	593,1	1,71	7,41	0,49	9,61	
	PBH 140	2010	JFM	975,9	598,4	168,9	429,46	377,5	12,97	125,55	58,80	197,32
			AMJ	442,9	202,0	14,4	187,62	240,9	3,24	19,65	1,07	23,97
JAS			580,6	341,9	55,2	286,66	238,7	4,08	49,31	3,79	57,18	
OND			213,3	81,7	0,9	80,86	131,6	1,30	0,21	0,02	1,53	
2011		JFM	363,7	49,9	3,6	46,32	313,8	0,55	3,29	0,13	3,97	
		AMJ	428,2	156,4	22,3	134,10	271,8	1,25	27,48	1,73	30,45	
		JAS	489,6	258,0	28,4	229,63	231,6	2,12	32,11	1,68	35,91	
		OND	264,0	168,7	8,0	160,67	95,3	1,84	2,78	0,21	4,83	
2012		JFM	312,0	96,1	1,8	94,30	215,9	1,25	1,06	0,06	2,37	
		AMJ	227,5	73,5	3,1	70,38	154,0	0,90	0,99	0,14	2,04	
		JAS	325,2	128,0	5,6	122,38	197,2	1,48	5,46	0,35	7,28	
		OND	836,2	269,3	42,5	226,82	566,8	2,67	21,68	3,78	28,13	

(¹) precipitação total; (²) escoamento total; (³) escoamento superficial; (⁴) escoamento de base; (⁵) demais variáveis = evapotranspiração + infiltração profunda + armazenamento; (⁶) produção de sedimento em suspensão entre eventos; (⁷) produção de sedimento em suspensão nos eventos; (⁸) produção de sedimento por arraste de fundo; (⁹) produção de sedimento total; (¹⁰) mês de julho iniciou em 30/07/2010.

A correlação entre o volume precipitado e o escoamento superficial foi positiva, mas com baixo coeficiente de determinação (Figura 2A). A grande dispersão dos pontos no gráfico demonstra a variabilidade ocorrida no período estudado, contudo, através da análise dos intervalos de confiança observa-se que para precipitações entre 18 e 30 mm ainda houve diferença entre as bacias. A correlação entre o escoamento total e o coeficiente de escoamento superficial foi alta nas duas PBHs, havendo diferença entre as PBHs para valores de 0,5 a 30 mm de escoamento total com um intervalo de confiança de 95% (Figura 2B). Os resultados confirmam que, independentemente de influências meteorológicas, houve menor escoamento

superficial na PBH 140, a qual apresenta 10% a mais de área de matas ciliares do que a PBH 80, que por sua vez apresenta 10% a mais de áreas úmidas (Tabela 1).

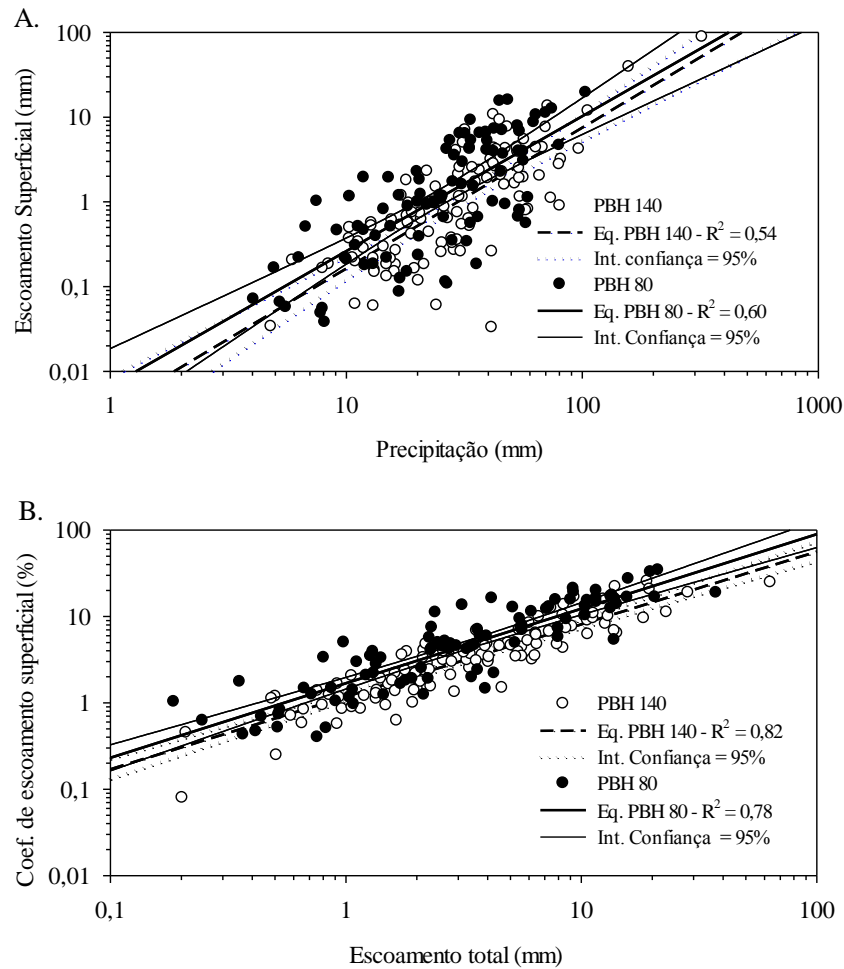


Figura 2. Relações entre precipitação e escoamento superficial (A), e escoamento total e o coeficiente de escoamento superficial (B) durante o período de monitoramento na PBH 80 e PBH 140, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul.

A produção de sedimentos correlacionou-se positivamente com a precipitação, com a energia cinética do evento pluviométrico, e com o escoamento superficial em ambas as PBHs (Figuras 3 A, B, C). Independentemente do volume precipitado, da energia cinética do evento pluviométrico e da quantidade de escoamento superficial, a PBH 140 apresentou maior produção de sedimento que a PBH 80.

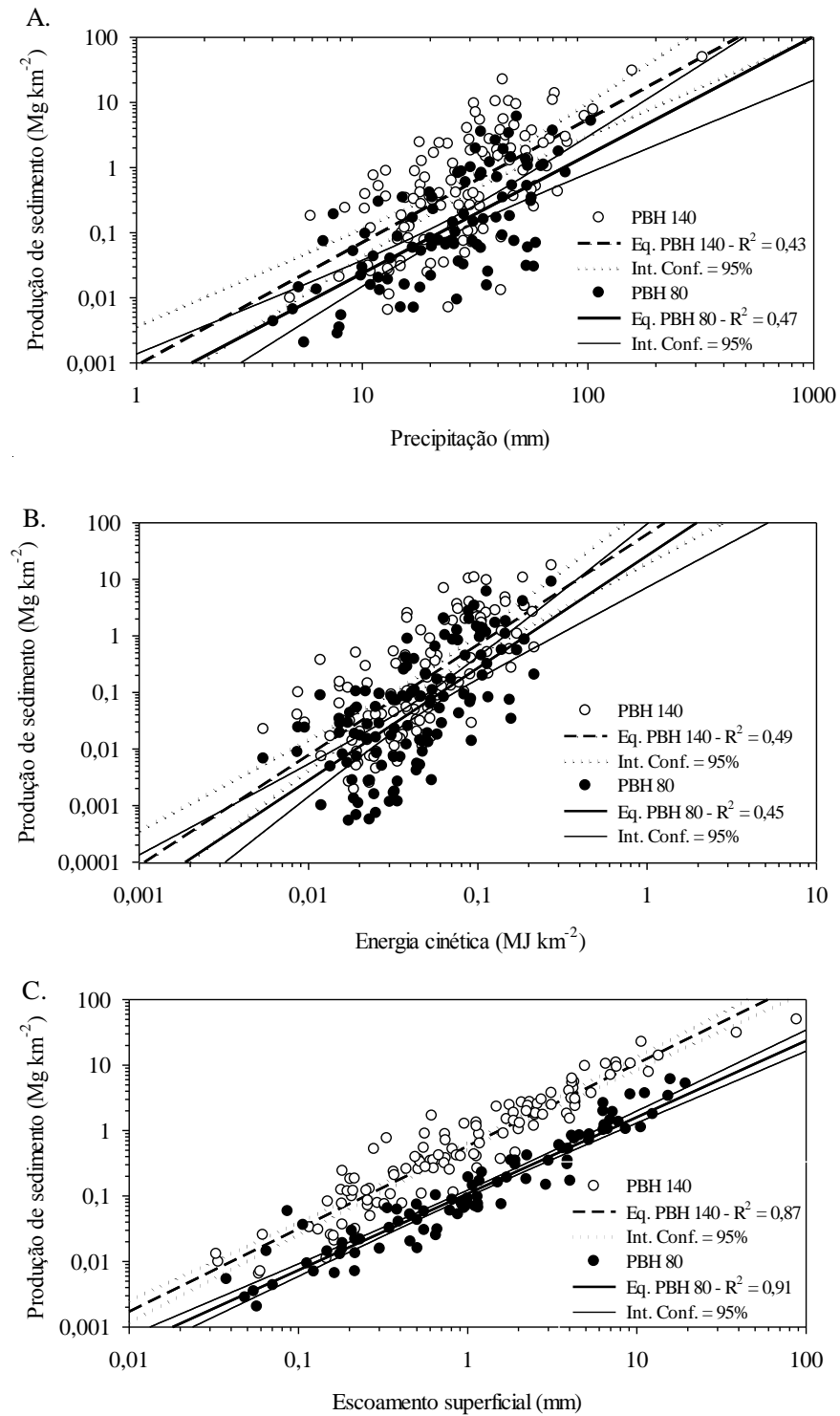


Figura 3. Relações entre a precipitação (A), a energia cinética (B) e o escoamento superficial (C) com a estimativa da produção de sedimento durante o período de monitoramento na PBH 80 e PBH 140, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul.

As precipitações menores que 10 mm não apresentaram diferença quanto a produção de

sedimento, assim como para os valores maiores que 100 mm. Neste extremo superior não foi monitorado dois grandes eventos na PBH 80, o que pode ter contribuído para os intervalos de confiança se sobrepossem. A energia cinética de cada evento apresentou melhor correlação com a produção de sedimentos do que o EI_{30} , sendo observado diferenças significativas entre 0,01 até 0,1 MJ km².

Já para a correlação do escoamento superficial e a produção de sedimento observa-se melhor ajuste dos pontos (Figura 3C). Em parte pode ser explicada pela própria origem dos valores, em que ambos utilizam os valores de vazão para a sua determinação. Contudo, não devemos negligenciar que o escoamento superficial é responsável pelo transporte no processo erosivo e consequente produção de sedimento em bacias hidrográficas.

5.4 DISCUSSÃO

O sistema de integração lavoura-pecuária realizado no local do presente estudo não segue os princípios que determinam o sucesso do sistema (Macedo, 2009). Por ser o uso do solo predominante nas PBHs torna-se importante pontuar vários fatores observados que estão contribuindo para alteração da dinâmica hidrossedimentológica. Dentre eles, pode-se destacar o manejo inadequado do solo e das pastagens, considerando que a palha remanescente, normalmente é insuficiente para proteger o solo, além dos níveis elevados de compactação em muitas lavouras (Pellegrini et al., 2010). Esse fator contribui em muito para o aumento do escoamento superficial nas áreas de uso agropecuário, aportando nas zonas ripárias grande volume de água e sedimento. Outro fato observado se refere à prática de semeadura que, normalmente, tem sido realizada no sentido de maior distância das lavouras, sem considerar os declives do relevo. A falta de práticas mecânicas ou culturais de controle de enxurradas, como terraços e curvas de nível, também contribuem para aumentar erosão e as perdas de sedimento das lavouras.

Diante dos resultados observados pode-se inferir que o escoamento superficial é uma variável de alta sensibilidade aos impactos decorrentes do uso e ocupação dos solos com atividades agropecuárias, o que também foi demonstrado por Brown et al. (2005). As diferenças nas PBHs de áreas úmidas e mata ciliar apresentaram respostas convincentes para este indicador, assim como para os demais coeficientes e variáveis analisadas. Considerando que o uso do solo com lavouras e pecuária foi similar entre as PBHs, os principais motivos para a ocorrência desta diferença pode ser apontado aos maiores percentuais de matas ciliares

na PBH 140 e de áreas úmidas na PBH 80. Grande parte destas áreas se encontra posicionada na paisagem abaixo das áreas de lavoura e próximo aos cursos d'água. Como as áreas úmidas são hidrologicamente mais ativas, pois são mais suscetíveis a gerar escoamento superficial (Hewlett & Hibbert, 1967), a PBH 80 (com 15,3% de área úmida) apresentou maiores valores de escoamento superficial do que na PBH 140 (com somente 5,3% área úmida), mesmo apresentando uma área 81% menor.

A PBH 140 que possui maior área com matas ciliares respondeu adequadamente com os resultados apresentados em outros estudos. Resultados obtidos por Hewlett & Hibbert (1967) em mais de 30 bacias hidrográficas experimentais mostraram que no primeiro ano após o corte raso total da floresta houve um aumento do escoamento total anual, em aproximadamente 150 mm. Iroume (2005) demonstrou que as florestas reduzem o escoamento superficial e que ao eliminar a floresta, especialmente nas zonas ciliares, pode levar ao aumento significativo do escoamento superficial.

As matas ciliares são fundamentais para a manutenção da qualidade das águas superficiais Capoane (2011), e são determinantes para a regularização das vazões dos cursos d'água (Lima & Zakia, 2000). Pellegrini (2011) demonstrou que as matas ciliares são eficientes em reduzir a carga de poluentes aos cursos d'água e nascentes. Porém, esta eficiência é diminuída quando há lavouras em áreas de preservação permanentes e de baixa aptidão dos solos para uso agrícola sendo manejadas em sistema de cultivo convencional. Nesse sentido, Vanzela et al. (2010), em estudo realizado no noroeste de São Paulo, concluíram que as áreas ocupadas por matas e pastagens (em menor intensidade) favoreceram o aumento da vazão específica e a melhoria de alguns atributos de qualidade de água. Por outro lado, as áreas habitadas, agricultadas e com matas degradadas reduziram a vazão e qualidade de água.

O uso do solo para os cultivos agrícolas pode ter contribuído para o aumento no escoamento superficial nas PBHs por meio da redução da condutividade hidráulica do solo devido principalmente à elevada compactação do solo em subsuperfície nas áreas de cultivo (Pellegrini et al., 2010). Essa compactação do solo vai se acumulando com maiores valores de densidade na camada de 10 a 15 cm, tornando-se uma situação comum em sistema de plantio direto, principalmente naqueles mal manejados (Reichert et al., 2007). Segundo estes autores, nestas condições o escoamento superficial pode aumentar, refletindo diretamente no balanço hídrico das bacias hidrográficas.

O escoamento superficial nas PBHs também pode ser mensurado por meio do coeficiente de escoamento, que apesar de ser uma simples relação do volume de escoamento superficial sobre o precipitado (Figura 1A), integra a influência de atributos climáticos como intensidade,

duração e frequência de eventos. A dispersão dos coeficientes de escoamento superficial (Figura 2B) reflete as interferências de várias características e aspectos que compõem o sistema de bacia hidrográfica e são de difíceis atribuições de valores. O coeficiente de escoamento superficial apresenta-se como bom indicador do equilíbrio da dinâmica hidrológica por apresentar os resultados das variáveis hidrológicas de forma agrupada. Estes resultados fundamentam as respostas da PBH 140, onde se observou uma maior regularização de vazão, com maior infiltração de água no solo e maior escoamento de base durante os períodos secos. Estas informações ressaltam a importância das matas ciliares no equilíbrio do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, atenuando os efeitos dos fenômenos climáticos nas variáveis hidrológicas. Da mesma forma, que devem ser observadas as práticas e manejo dos solos adotados para minimizar o escoamento superficial e potencializar a infiltração de água no solo. Com isto, as áreas úmidas tornar-se-ão mais significativas em gerar escoamento de base, sendo a sua manutenção vital para o equilíbrio hidrossedimentológico das bacias hidrográficas.

Quanto à produção de sedimento, mesmo havendo alta correlação com o volume de escoamento superficial, a PBH 80, conforme os resultados apresentou maior escoamento superficial, contudo houve menores perdas de sedimento. Ressalta-se que a principal diferença e característica desta PBH é a maior proporção de áreas úmidas. Esses locais, embora gerem maior escoamento superficial, por permanecerem saturados por longos períodos, podem estar contribuindo na retenção de grande quantidade de sedimentos por meio da vegetação palustre e densa (Verstraeten et al., 2006). Por conta disto, torna-se importante considerar que, se houver a drenagem dessas áreas para utilização agrícola, pode ocorrer maior produção de sedimento em bacias hidrográficas. Isto porque, além de haver a supressão da vegetação ocorre redução da distância das lavouras dos cursos d'água. Deste modo, os resultados de maior produção de sedimento na PBH 140, em parte, são atribuídos à menor porcentagem de áreas úmidas. De outra parte, deve-se salientar que, mesmo possuindo uma maior proporção de matas ciliares, estas se encontram degradadas pelo acesso de bovinos. Por conta disto, há pouca vegetação rasteira, o que pode ter sido insuficiente para reter os sedimentos das áreas de lavoura.

Mesmo que as áreas úmidas e de matas, em ambas as PBHs, encontrem-se predominantemente posicionadas ao longo dos cursos d'água e nascentes, as atividades agropecuárias estão afetando a sua dinâmica hidrossedimentológica. Mesmo assim, Van Noordwijk (1998), estudando o fluxo de sedimento em bacias hidrográficas atribuiu maior importância para a localização das florestas e também da largura da faixa preservada ao longo

dos cursos d'água, do que para a área total de matas existentes nas bacias hidrográficas. Estas constatações também foram apontadas por Pellegrini (2011) em estudo realizado em uma PBH com elevada complexidade agroambiental. Este autor alerta que as matas ciliares não são suficientes em reter os poluentes se o manejo do solo nas áreas de cultivo for inadequado. Em fim, o uso do solo pode minimizar ou potencializar os efeitos da energia erosiva sobre a produção de sedimento (Verstraeten et al., 2006). Desta forma, para minimizar seus efeitos sobre a produção de sedimento, recomenda-se a recuperação e proteção de áreas úmidas e das matas ciliares. Não menos importante deve ser a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo nas lavouras e pastagens, para promover maior infiltração e armazenamento de água no solo.

5.5 CONCLUSÕES

1. A maior ocorrência de uso do solo com matas ciliares em bacias hidrográficas minimiza os impactos de eventos pluviométricos, resultando em menor escoamento superficial e maior escoamento de base.

2. As áreas de lavouras com manejo inadequado do solo e localizadas sobrejacentes às áreas úmidas contribuíram para maximizar os impactos de grandes precipitações aumentando o escoamento superficial e reduzindo a reserva hídrica em períodos de estiagem.

3. Grandes eventos pluviométricos potencializam a produção de sedimento, principalmente em áreas com a mata ciliar degradada.

4. A maior proporção de uso do solo sob área úmida minimiza a produção de sedimentos, mesmo gerando maior escoamento superficial.

5. A conservação das áreas que circundam os cursos d'água com vegetação natural atenua o aporte de sedimentos, reduzindo os riscos de contaminação dos cursos hídricos, principalmente quando o manejo do solo da área de lavoura for inadequado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos disponibilizados através do Edital CT-Hidro 27/2008, Proc. 574371/2008.

5.6 LITERATURA CITADA

AGRITEMPO - Sistema de monitoramento agrometeorológico. Dados meteorológicos - Júlio de Castilhos: dados históricos. Disponível em:

- <http://www.agritempo.gov.br/cnpt/elnino/mensal.php>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2013.
- 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 [en línea]* v. 71, n.4, p.493-501, 2012.
- Brown, A. E.; Zhang, L.; McMahon, T. A.; Western, A. W.; Vertessy, R. A. A review of paired catchment studies for determining changes in water production resulting from alterations in vegetation. *Journal of hydrology*, 310(1), 28-61. 2005.
- Capoane, V. Relações entre qualidade da água, uso da terra e zona ripária em duas pequenas bacias hidrográficas. 2011. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.
- Chow, Ven Te; Maidment, David R.; Mays, Larry W. *Applied hydrology*. Tata McGraw-Hill Education, 1988.
- Coe, M.T. et al. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon River—Land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, v. 369, n. 1-2, 165-174, 2009.
- D'Agostini, L.R. Erosão: o problema mais que o processo. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 131p.
- Denardin, J.E.; Kochhann, R.A.; Flores, C.A.; Ferreira, T.N.; Cassol, E.A.; Mondardo, A. ; Schwarz, R.A. Manejo da enxurrada em sistemas de plantio direto. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.
- Hewlett, J.D.; Hibbert, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: *International Symposium on Forest hydrology*. New York: Pergamon Press, 1967. p. 275-290.
- Iroume, A.; Schulz, K. Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile. *Journal of Hydrology*, 300: 300–313, 2005.
- Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. Edusp, São Paulo, 33-44, 2000.
- Lowrance, R.; Dabney, S.; Schultz, R. Improving soil and water quality with conservation buffers. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny. v. 57, n.2 , p.36A-43A, 2002.
- Macedo, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p.133-146 Suplemento, 2009.
- Noordwijk, M. V.; Roode, M. V.; McCallie, E. L.; Lusiana, B.; Penning de Vries, F. W. T.; Agus, F.; Kerr, J. Erosion and sedimentation as multiscale, fractal processes: Implications

- for models, experiments and the real world. In: Penning de Vries, F. W. T., Agus, F. e Kerr J. (Eds.), Soil erosion at multiple scales, New York, p.223-235, 1998.
- Pellegrini, A.; Schaefer, G.L.; Kochem, M.L.; Rasche, J. W. A.; Rheinheimer, D.S.; Capoane, V.; Mallmann, F. J. K. Compactação do solo de uma pequena bacia hidrográfica do assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos-RS. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, Anais... Santa Maria, 2010.
- Pellegrini, J. B. R.; dos Santos, D. R.; Gonçalves, C. S.; Copetti, A. C. C.; Bortoluzzi, E. C.; Tessier, D. Impacts of anthropic pressures on soil phosphorus availability, concentration, and phosphorus forms in sediments in a Southern Brazilian watershed. *Journal of Soils and Sediments (Print)*, v.10, n. 3, p.393-399, 2009.
- Pellegrini, J.B.R. Planejamento do uso do solo em unidades de produção familiar produtoras de fumo: limites e possibilidades para a superação de conflitos agroambientais. 2011. 128f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria.
- Pinto, L. V. A.; de Roma, T. N.; de Carvalho Balieiro, K. R. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. *CERNE*, Lavras, v. 18, n. 3, Sept. 2012.
- Reichert, J. M., Suzuki, L. E. A. S.; Reinert, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação In: CERRETA, C.A. et al. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p.49-134, 2007.
- Rodrigues, J. O.; Andrade, E. M. D.; Mendonça, L. A.; Araújo, J. C. D.; Palácio, H. A. D. Q.; Araújo, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 17(3), 312-318, 2013.
- Tucci, C.E.M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Estudo preparado como contribuição da ANA – Agência Nacional de Águas para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas Brasília. Agência Nacional de Água, 2002, 150p.
- Vanzela, L. S.; Hernandez, F. B.; Franco, R. A. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, 55-64, 2010.
- Verstraeten, G.; Poesen, J.; Gillijns, K.; Govers, G. The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure? *Hydrological Processes*, Chichester, v.20, p.4259-4267, 2006.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservative planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. n. 537, 1978. 58p.

6 ARTIGO II - Coeficientes de dissipação da energia erosiva e de regularização de vazão para avaliar a interação homem-meio em duas pequenas bacias hidrográficas pareadas².

Resumo: As ações antrópicas determinam as condições de superfície, resultando em diferentes proporções de uso e manejo do solo em bacias hidrográficas. Através dessas alterações ocorrem respostas na dinâmica hidrossedimentológica. O uso de coeficientes que consideram essas variáveis, para avaliar a interação homem-meio, pode ser a forma mais eficaz de quantificar os impactos. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi de avaliar as condições de superfície proporcionadas pela interação homem-meio através da utilização dos coeficientes de regularização de vazão e dissipação de energia erosiva em duas pequenas bacias hidrográficas com diferentes proporções de uso do solo, ocupadas por agricultores assentados pela reforma agrária. Os coeficientes apontaram que há maior equilíbrio hidrológico para a bacia com maior área úmida, mas por outro lado ocorre maior dissipação de energia erosiva, possivelmente pela retenção de sedimento nessas áreas. Na bacia com maior proporção de mata, os coeficientes apontaram para maior regularização da vazão, mas menor dissipação de energia erosiva, que pela degradação dos extratos inferiores da mata possivelmente reduziram a eficiência na retenção de sedimentos.

Palavras chaves: produção de sedimento, erosão hídrica, zona ripária.

Dissipation of erosive energy and regularization coefficients to evaluate the human-environment interaction in two small watersheds paired.

Abstract: Anthropogenic actions determine surface conditions, resulting in different proportions of soil use and management in watersheds. These changes can modify the hydrossedimentological dynamics. The use of coefficients that consider these variables to assess the human-environment interaction can be the most effective way to quantify the anthropic pressure. Thus, the aim of this study was to evaluate the surface conditions provided by the human-environment interaction through the use of the flow regularization coefficient

² Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Ciência Rural (Exceto à numeração para sumário)..

and the dissipation of erosive energy coefficient in two small watersheds with different proportions of soil uses, occupied by farmers settled by agrarian reform. The coefficients indicated that the higher hydrosedimentological imbalance occurs in the watershed with higher proportion of wetlands. On the other hand, the wetlands promoted higher dissipation of erosive energy by trapping sediments. In the watershed with higher proportion of riparian forest there was a higher regularization of the water flow, but lower dissipation of erosive energy, possibly because of the degradation of the lower strata of the forest, reducing its efficiency in trapping sediments.

Keywords: sediment yield, water erosion, riparian zone.

6.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas naturais foram desenvolvendo em um lento e dinâmico processo pela interação das forças climáticas, geológicas e biológicas. Inicialmente, a interferência do homem sobre o ambiente visava principalmente à sobrevivência, refletindo em menor impacto sobre o ambiente, possibilitando a resiliência do meio. Entretanto, o aumento da população e o crescimento econômico desordenado aconteceram através da exploração e degradação da natureza. Em muitos locais, os ecossistemas como as matas, campos e áreas úmidas foram transformados em cultivos comerciais, não considerando a aptidão de uso do solo. Contudo, a legislação vigente cobra dos agricultores a responsabilidade ambiental e adequação dos usos do solo, segundo a aptidão das terras.

Atualmente, na região do planalto do Rio Grande do Sul, mais de 80% das áreas naturais foram ocupadas por culturas anuais, principalmente com a soja. Inicialmente, a forma de manejar o solo era por meio do seu revolvimento. Com o advento do plantio direto a maior parte das áreas passou a ser manejada por esse sistema. Os reflexos positivos, principalmente na redução das perdas de solo, foram quantificados pela comunidade científica e também sentido pelos próprios agricultores. Contudo, os problemas ambientais ainda estão presentes, principalmente pelos usos do solo fora da capacidade de aptidão e por manejos inadequados do solo, que geram escoamento superficial transportando sedimentos, nutrientes e pesticidas (Bortoluzzi et al., 2006; Pellegrini et al., 2009).

Além disto, no plantio direto alguns equívocos podem ser observados como: a baixa adoção da rotação de culturas, a manutenção de pouca palha em superfície, a compactação do solo, a retirada de terraços, a semeadura morro abaixo, a aplicação de fertilizantes como

fósforo e potássio em superfície, entre outros de menor influência (Denardin et al. 2005). Por meio da interação de alguns desses problemas desencadeia-se o processo de erosão em diferentes magnitudes. Em nível local, os custos econômicos de manejos inadequados do solo são sentidos no momento de fazer uma re-semeadura, aplicar mais fertilizante ou ter redução da produtividade. Já em escala regional, os custos podem ocorrer com grandes enchentes, deposição de sedimentos em barragens, tratamento de água para o consumo humano, entre outros.

A utilização de modelos matemáticos como ferramenta para prever impactos sobre o ambiente são muitos estudados e geralmente requerem altos investimentos para mensuração e estabelecimentos de parâmetros para sua calibração e validação. No entanto, há indicadores ou coeficientes mais simples para comparar o nível e eficiência da ocupação de terras e de manejo do solo em bacias hidrográficas. Estes coeficientes, apesar de simples, consideram a complexidade do meio. Esta vem da ação do homem sobre o meio, que implica na escolha das proporções de uso do solo, na adoção do manejo do solo, na aplicação de práticas conservacionistas, entre outras. Estas decisões e atitudes, por sua vez, influenciam sobre algumas características ambientais sem interferência humana, como as características físicas das bacias hidrográficas e além de variáveis climáticas.

Segundo D'Agostini (1999), um evento pluviométrico pode dispendar quantidades similares de energia erosiva em bacias hidrográficas vizinhas. Porém, o autor alerta que, por serem sistemas abertos, onde ocorrem trocas de matéria e energia com o meio, implicando em diferentes resultados, como o desequilíbrio hidrológico ou perdas de solo. As quantificações desses resultados são feitos principalmente no exutório das bacias hidrográficas, por meio de medições contínuas ou, até mesmo, esporádicas, de vazão e transporte de sedimento. Com essas informações podem ser utilizados indicadores de desempenho ambiental, que visam demonstrar as práticas organizacionais no sentido de minimizar os impactos ao meio ambiente decorrentes de suas atividades humanas (Gasparini, 2003). Entre os indicadores que seguem este princípio destacam-se o coeficiente de dissipação de energia erosiva e o coeficiente de regularização de vazão, ambos sugeridos por D'Agostini (1999) e D'Agostini e Martini (2000). Estes indicadores foram testados para serem utilizados de forma comparativa, no intuito de avaliar a relação homem-meio, em estudos de bacias hidrográficas. Trata-se de coeficientes que se caracterizam como ferramentas simples, porém úteis na comparação entre bacias hidrográficas, com diferentes proporções de uso e manejos do solo. Tendo em vista que, as ações humanas condicionam as variações na cobertura do solo e adoções de práticas

mecânicas de controle de erosão que irão agir na dissipação de energia erosiva, e poderão ser mensuradas por estes indicadores.

Diante do exposto, espera-se que estes coeficientes sejam úteis para avaliar a realidade deste estudo, em que a ocupação do solo passou pelo processo de reforma agrária e não foi considerada a aptidão do solo para a divisão dos lotes. Além disto, neste local encontram-se diferentes atividades agropecuárias e variações no manejo do solo que são adotados pelos agricultores. Os resultados obtidos por este estudo podem ser de grande importância para o planejamento agroambiental das pequenas propriedades rurais que se caracterizam pela complexidade de manejos e usos do solo.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de superfície proporcionadas pela interação homem-meio por meio da utilização dos coeficientes de regularização de vazão e dissipação de energia erosiva em duas pequenas bacias hidrográficas com diferentes usos e ocupadas por agricultores assentados pela reforma agrária.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

As pequenas bacias hidrográficas (PBHs) do presente estudo estão localizadas no Assentamento Alvorada, no município de Júlio de Castilhos, Região Geomorfológica do Planalto das Missões do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Seus limites encontram-se entre as coordenadas UTM 239000 a 244000 E e 6746000 a 6752000 S, sistema SAD 69 (Figura 1). A área total do assentamento é de 1569 ha. As áreas das PBHs são de 144,5 ha e 79,6 ha e foram denominadas como PBH 140 e PBH 80, respectivamente.

O relevo local é suave a levemente ondulado com declividade média aproximada para as PBHs de $0,07 \text{ m m}^{-1}$. O solo predominante é o Argissolo, com textura média para o horizonte A de 67,2% de areia, 17,4% de silte e 15,4% de argila. O clima é subtropical úmido com verões quentes, inverno com geadas frequentes. A precipitação média anual histórica entre os anos de 1972 a 2002 foi de 1.639 mm bem distribuídos ao longo do ano (AGRITEMPO, 2013). As PBHs fazem parte da bacia hidrográfica do rio Jacuí e são consideradas de terceira ordem. O tempo de concentração e o tempo de pico para a PBH 140 é de 57 e 140 minutos; para a PBH 80 é de 84 e 210 minutos, respectivamente. O fator de forma e o coeficiente de compacidade foram 0,47 e 1,34 para a PBH 80, e 0,45 e 1,31 para a PBH 140, respectivamente.

Os principais usos do solo nas PBHs são ocupados através da integração lavoura-pecuária, com aproximadamente 76% da área. Este sistema produtivo no assentamento baseia-se no

cultivo da soja no verão e pastagem de inverno para bovinos de produção de leite e carne. Os outros usos do solo com proporção mais significativa são as áreas de mata ciliar e áreas úmidas. As proporções desses usos do solo foram de 12,2% ocupados com mata na PBH 140 e 2,4% na PBH 80, enquanto as áreas úmidas foram de 5,3 na PBH 140 e 15,3 na PBH 80. O número de sedes de propriedades na PBH 140 são oito (8) e na PBH 80 são cinco (5). Próximo a estas são encontradas pequenas áreas para o cultivo de subsistência como, mandioca, feijão, arroz e batata doce.

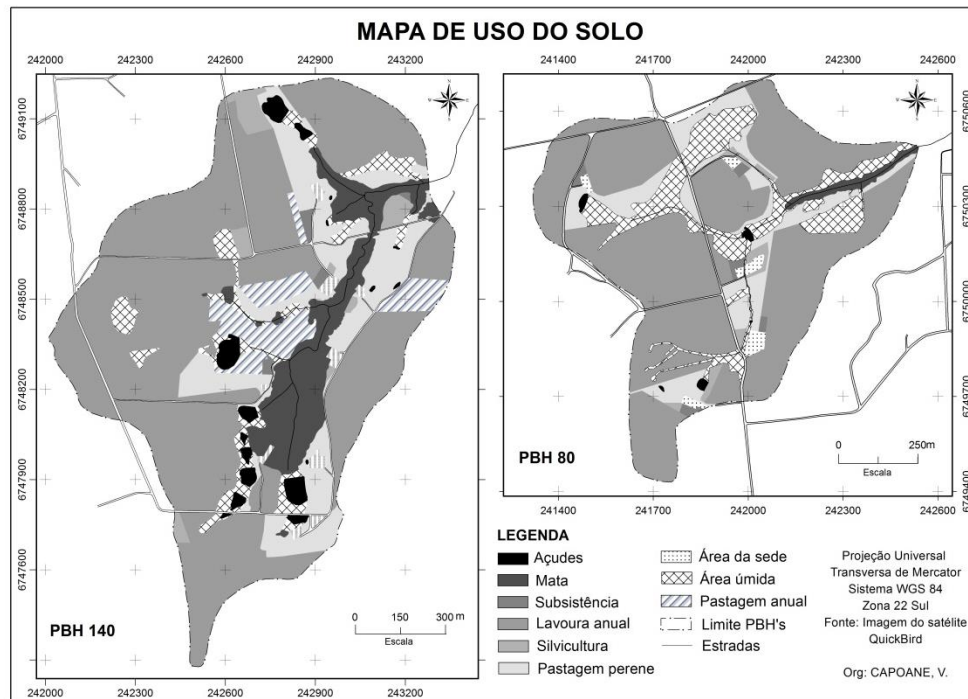


Figura 1. Mapa de distribuição de usos do solo considerando as variações médias entre os anos de 2010 e 2012, nas pequenas bacias hidrográficas PBH 140 e PBH 80, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul, Brasil.

O Coeficiente de Regularização de Vazão (CRV) foi descrito por D'Agostini e Martini (2000). A comparação entre bacias hidrográficas através deste coeficiente estão entre as recomendações e princípios de sua utilização. Sua utilização foi sugerida para avaliar as condições de manejo e de cobertura vegetal do solo. O CRV arquiteta um coeficiente capaz de quantificar a eficiência de fatores que determinam as flutuações de vazão (Equação 1). Seus termos podem ser descritos através do resultado matematizado do coeficiente da eficiência de fatores mutáveis pela ação humana (β_{hs}) capazes de produzir flutuações de vazão (Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); D e t (s)), através da interação do volume precipitação em determinado tempo (i (m s^{-1})), sobre uma bacia hidrográfica com características imutáveis de área (A (m^2)) e padrão geométrico (θ_λ (m)).

$$\beta_{hs} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Q_j - Q)^2 D \Delta Q_j}{n}}}{\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n [(t_k - i_m) A]^2 \Delta t_k S_{en}^{-1} \theta_\lambda}{n}}} \quad (1)$$

Para equiparar os resultados deste coeficiente (equação 1), com o coeficiente seguinte, foram subtraídos os resultados do valor um (equação 2) e assim devem ser interpretados como situações favoráveis de regularização de vazão valores mais próximo a um ($CRV=1$).

$$CRV = 1 - \beta_{hs} \quad (2)$$

O Coeficiente de Dissipação de Energia Erosiva (CDEE) também foi descrito por D'Agostini (1999). Assim como o CRV, este segue as mesmas pressuposições, principalmente de utilizar de modo comparativo entre bacias. Possui maior detalhamento de características físicas das PBHs (Tabela 1), além de necessitar de resultados de vazão e precipitação, em volume e no tempo, para eventos individuais. Através da intensidade da precipitação foi obtida a energia cinética (Wischmeier e Smith, 1978). Para calcular o trabalho erosivo é necessário quantificar a produção de sedimento perdida em cada PBHs e em cada evento erosivo.

Os resultados da PS para este estudo foram obtidos através do somatório da produção de sedimento em suspensão e da produção de sedimento transportado em arraste de fundo. A concentração de sedimento em suspensão (CSS) foi determinada pelo método da evaporação em estufa à 105°C. Com os resultados de CSS foram geradas equações através de relações com os valores de turbidez (NTU - Nephelometric Turbidity Unit) e também com os valores de vazão. Esta foi monitorada através de duas calhas Parshalls com larguras críticas de 1,22 e 1,52 m, para a PBH 80 e 140, respectivamente. Ambas as variáveis foram registradas constantemente por sensores de turbidez e nível acoplados a um datalogger que registrou os valores em intervalos de 5 minutos. A produção de sedimento em suspensão (PSS), nos diferentes períodos climáticos, foi obtida pela média dos resultados da aplicação de equações nos valores contínuos de vazão e turbidez. Por meio destes pontos foi construída, para cada PBH, uma curva-chave a qual relaciona a massa de sedimento transportada no tempo e em diferentes vazões. Estas equações foram aplicadas nos valores contínuos de vazão resultando na descarga de sedimento, que posteriormente foi multiplicado pelo tempo, obtendo a produção de sedimento transportado por arraste de fundo.

Tabela 1. Classes de declividade, área relativa, comprimento da rede de drenagem e distância média das encostas até o curso d'água na PBH 80 e PBH 140.

Classes (%)	PBH 80	PBH 140
	-----Área (ha) -----	
0 - 3	10,1	10,3
3 - 6	20,6	27,3
6 - 9	17,7	32,2
9 - 12	14,3	31,2
12 - 15	16,7	43,5
Total	79,6	144,5
Lw ⁽¹⁾ (m)	3876,0	5118,0
L ⁽²⁾ (m)	51,5	71,0
Sen θ ⁽³⁾	0,077	0,089

(1) comprimento total de cursos d'água perenes e intermitentes;

(2) resultado do comprimento médio da rampa;

(3) Seno da inclinação média ponderada.

O coeficiente beta (β) pode ser descrito em seus termos, por meio da razão entre o resultado do trabalho erosivo (W_E (J)) e o somatório correspondente à energia cinética da massa da chuva incidente (E_{cp} (MJ)), com o produto entre (M) a lâmina de chuva (m), a massa específica (Kg) e a área da bacia (m^2), a aceleração da gravidade (g ($m\ s^{-1}$)), o comprimento médio da rampa (L (m)) e o seno ao quadrado da inclinação média ponderada (θ (grau)).

$$\beta = \frac{W_E}{(E_{cp} + MgLSen^2\theta)} \quad (3)$$

O coeficiente de dissipação de energia erosiva (CDEE) foi subtraído do valor um (equação 4) e assim deve ser interpretado, como situações favoráveis, valores mais próximo a um (CDEE=1).

$$CDEE = 1 - \beta \quad (4)$$

Estes coeficientes devem ser aplicados de forma comparativa para bacias hidrográficas. Desta forma, durante o período de monitoramento, de agosto de 2010 e dezembro de 2012, foi possível separar 119 eventos pluviométricos, que resultaram em aumento na vazão e perda de sedimento.

6.3 RESULTADOS

O coeficiente de regularização de vazão (CRV) foi obtido em eventos individuais através dos hidrogramas e hietogramas para as PBHs, conforme representado na Figura 2A. Nesta situação, o volume precipitado foi de 27 mm, com CRV de 0,86 e 0,93 para a PBH 80 e 140, respectivamente. Cabe salientar, que o valor máximo é um, ou seja, possui grande regularização de vazão.

Quanto aos resultados da relação entre a precipitação e o CRV observa-se grande dispersão dos pontos (Figura 2B), os quais foram obtidos em 119 eventos pluviométricos que geraram escoamento superficial. Contudo, a relação foi significativa ($P > 0,001$), sendo que na PBH 80 apresentou tendência de maior redução do CRV com incremento dos volumes precipitados. Também houve menor diferença nos valores de CRV, principalmente em precipitações menores de 30 mm e, possivelmente, com baixa intensidade.

Na comparação das PBHs utilizando o CRV foi observado um alto coeficiente de determinação (Figura 2C), com melhores resultados para a regularização de vazão na PBH 140, do que na PBH 80. Por meio da equação apresentada na figura 2c, se for aplicado os valores da PBH 80, representada no eixo horizontal, verifica-se valores mais altos para a PBH 140. Outra observação que pode ser feita é quanto aos valores mais próximos a um. Na figura 2b não foram nítidas as diferenças, mas através da relação entre os CRVs das PBHs tornou-se mais clara.

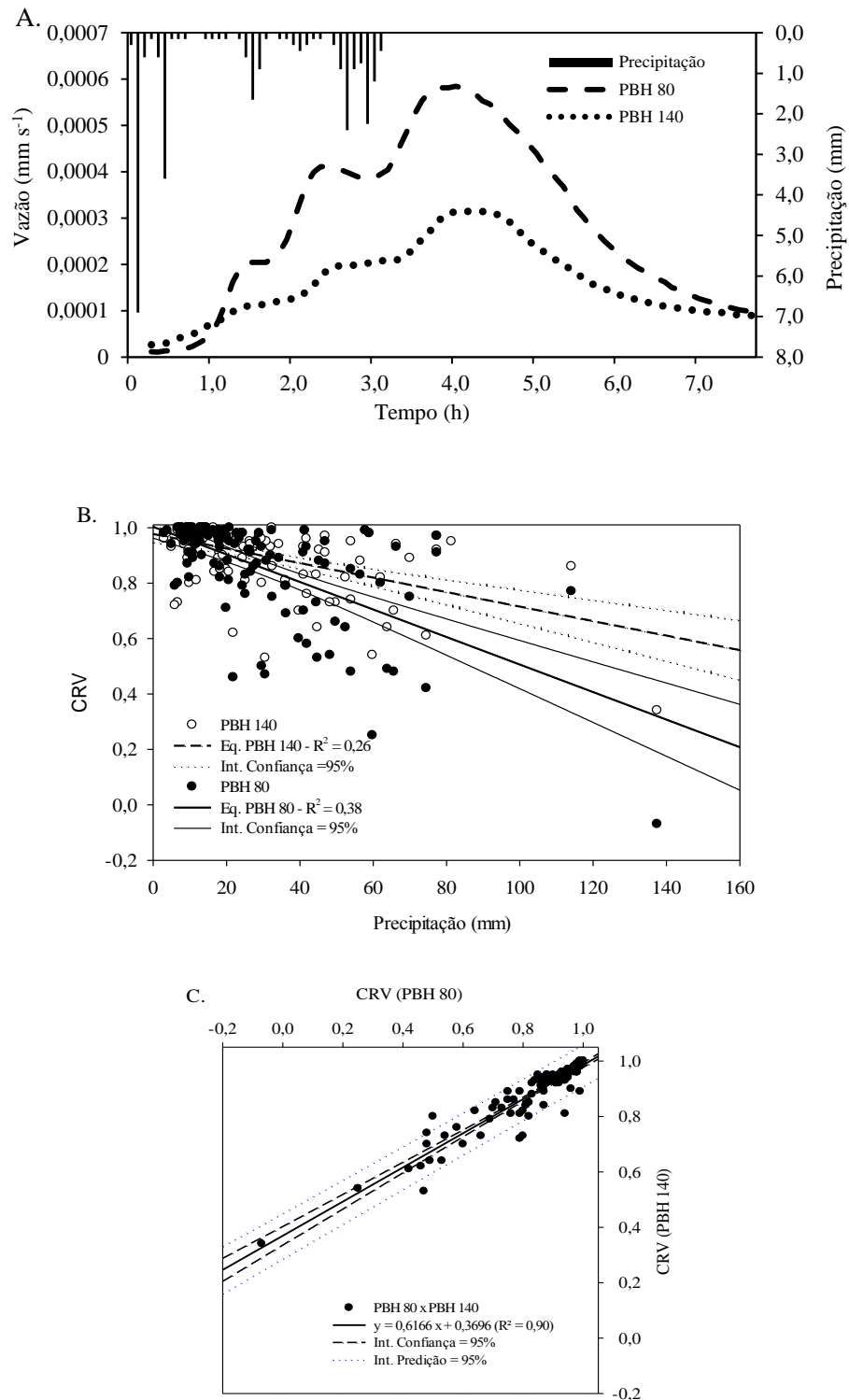


Figura 2. Hidrograma e hietograma de um evento (29/08/2011) com coeficientes de regularização de vazão (CRV) de 0,86 e 0,93, para a PBH 80 e 140, respectivamente (A); coeficientes de regularização de vazão em função da precipitação no período de agosto de 2010 a dezembro de 2012 (b); e relação do CRV entre as PBHs 80 e 140 (c).

A relação da precipitação e o potencial energético (Figura 3A) apresentou alto ajuste dos pontos. Na PBH 140 houve maior incremento de energia potencialmente erosiva, com aumento do volume precipitado. A diferença da PBH 80 acentua-se principalmente acima de 20 mm precipitados. Os resultados do potencial energético de cada PBH, quando correlacionados com o trabalho erosivo, aumentam a dispersão de pontos, reduzindo o coeficiente de determinação (Figura 3B). As equações geradas foram semelhantes, podendo ser observado em suas constantes. Contudo, observa-se que os maiores valores de potencial energético e trabalho erosivo foram gerados na PBH 140. Sendo que, na parte inicial da relação observa-se maior quantidade de pontos da PBH 80.

O coeficiente de dissipação de energia erosiva (CDEE), assim como o CRV, foi criado para serem utilizados de forma comparativa entre as PBHs. Na figura 3c observa-se que o CDEE apresentou boa correlação entre as PBHs, ressaltando também suas diferenças. Ao contrário do ocorrido com o CRV, o CDEE apresentou os piores indicadores para a PBH 140. Para cada KJ aplicado de energia erosiva resultou em 0,69 J de trabalho erosivo, ou seja, foi atribuído o CDEE de 0,31. Já na PBH 80, para cada KJ de energia, resultou na média de 0,21 J de trabalho, ou seja, com CDEE de 0,79. Assim, a PBH 80 apresentou um incremento médio de $0,48 \text{ J KJ}^{-1}$ na taxa de dissipação de energia erosiva em relação à PBH 140.

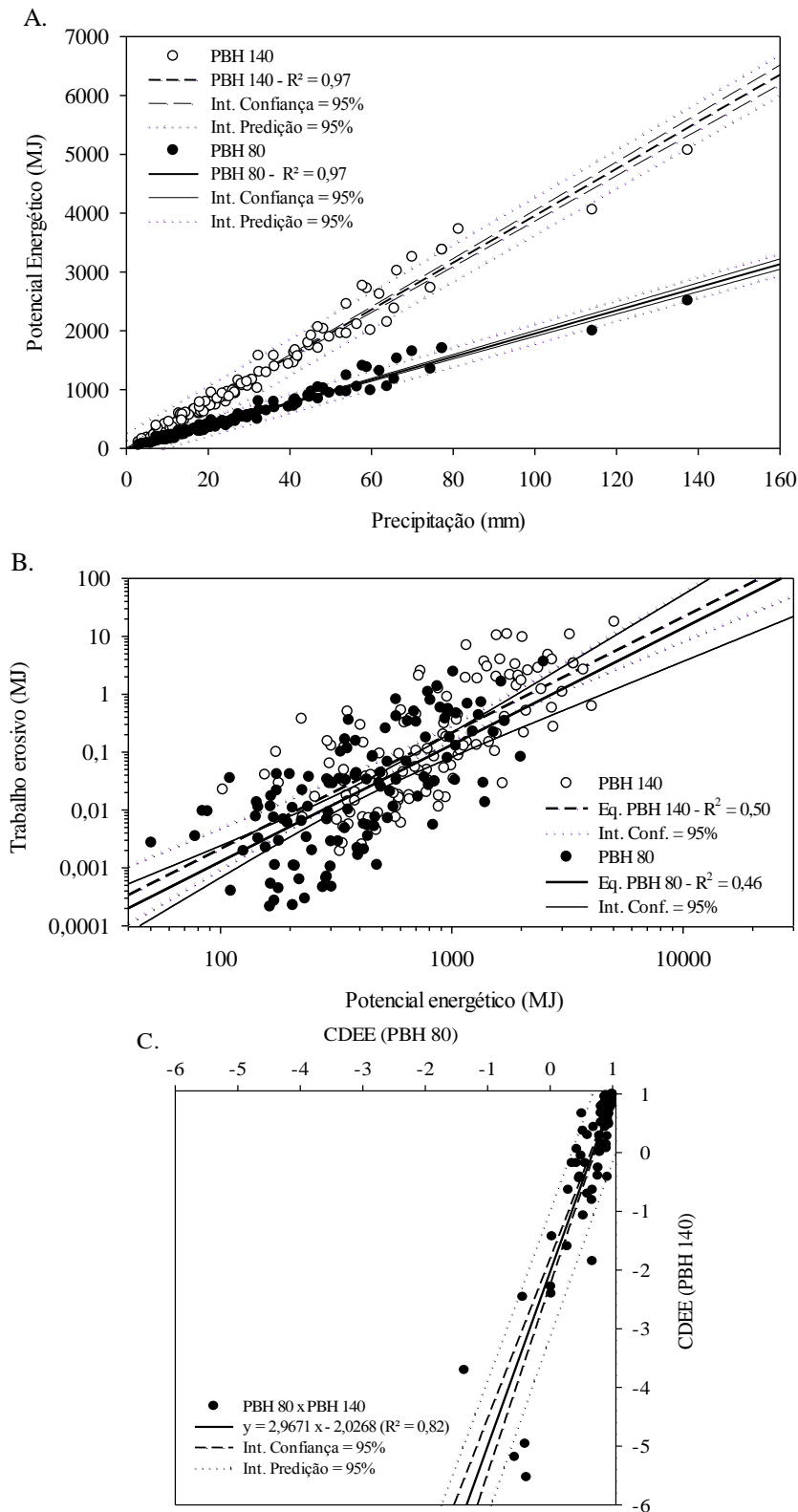


Figura 3. Relações da precipitação e potencial energético (A); do potencial energético e trabalho erosivo (B); e dos coeficientes de dissipação de energia erosiva da PBH 80 e 140 (C).

6.4 DISCUSSÃO

O coeficiente de regularização de vazão (CRV) foi aplicado neste estudo com o intuito de quantificar as interferências humanas sobre as condições de superfície das bacias hidrográficas. Este coeficiente leva em consideração que, condições de superfície são dissipadoras de energia tornando-as significantes na minimização do volume e no retardamento do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas (D'Agostini e Martini, 2000). Diante disto, os resultados do CRV apresentados pela PBH 80 foram menos representativos do que a PBH 140. As condições de superfície que podem ter influenciado mais nestes resultados devem-se a maior proporção de área úmida existente na PBH 80 e também maior proporção de área de mata na PBH 140. De acordo com Hewlett e Hibbert (1967), as áreas saturadas são mais propensas a gerar escoamento superficial. Por outro lado, as matas ciliares proporcionam o rebaixamento do lençol freático pela transpiração, contribuindo na regularização da vazão.

D'Agostini e Marini (2000) ressaltam que o uso do CRV não deve ser com o intuito de descrever processos com a máxima fidelidade e nem quantificar com exatidão parâmetros a ele associados. Segundo os autores, interessa mais a sua aplicação por representar uma forma simples de quantificar a interferência do homem no meio. Entre tanto, nas condições locais deste estudo, as proporções de uso do solo com matas e áreas úmidas não sofreram grandes transformações. Desta forma, as principais diferenças entre PBHs devem-se as características naturais. Contudo, grande parte destas áreas se encontra posicionada na paisagem abaixo das áreas de lavoura e próximas aos cursos d'água. Assim, o escoamento superficial gerado nas áreas de lavoura foi atenuado pela área de mata e potencializados pelas áreas úmidas.

O coeficiente de dissipação de energia erosiva (CDEE) também é uma medida comparativa afetada, principalmente pela situação de cobertura do solo de bacias hidrográficas (D'Agostini, 1999). Este coeficiente resulta da razão entre o trabalho erosivo e o valor do potencial energético em cada chuva. Entre os resultados destacados, o potencial erosivo da PBH 140 foi maior principalmente pela área da bacia, pois considera o somatório da energia cinética dispendida e a massa de água em cada evento. Os valores dos outros fatores constituintes do potencial energético tais como: o volume, a intensidade, a recorrência de precipitações e inclinação ponderada, foram muito similares pelo fato das PBHs serem pareadas.

A dispersão dos pontos ocorrida na relação que da origem ao CDEE (figura 3B) expressam as interferências de variáveis não controladas pelo homem, mas também pelas atividades

agropecuárias que determinam o grau de cobertura do solo, no tempo e no espaço. As principais alterações devem-se a grande proporção de áreas utilizadas na integração lavoura-pecuária (soja-pastagem) que, em curto período de tempo, altera a cobertura do solo. Os períodos de semeadura da soja e implantação das pastagens de inverno podem ser considerados os intervalos mais críticos. Nestas ocasiões, eventos de El Niño podem resultar em maior transformação do potencial energético em trabalho erosivo.

O CDEE apresentou-se como bom indicador através de sua análise comparativa entre PBHs. D'Agostini et al. (2001) reforçam que este coeficiente não se refere a quantidades de erosão resultante, ou que poderia resultar. Mas é apresentado como uma medida da eficiência do ser humano em impedir a conversão de energia erosiva em indesejável trabalho de erosão. Neste sentido, a PBH 80 apresentou melhores condições de superfície resultando em menor trabalho erosivo. A proporção de uso do solo ocupada com áreas úmidas pode ter sido responsável em reter parte do sedimento produzido nas áreas de lavoura. Por outro lado, a PBH 140 foi menos eficiente em dissipar a energia erosiva. As perdas de solo quantificadas nesta bacia podem ter sido maiores considerando que as matas ciliares apresentam-se em grande parte degradada pelo gado, não sendo eficiente em reter os sedimentos provenientes das lavouras. Segundo Minella et al. (2007), a contribuição das fontes de poluição difusas para as perdas de sedimentos são maiores nas áreas de lavoura se comparada com as estradas e a rede fluvial.

Os coeficientes utilizados, mesmo apresentando objetivos similares de avaliar as condições de superfície determinadas pela ocupação humana, apresentaram resultados foram opostos, mas condicentes pelas variáveis utilizadas. Possivelmente, as diferenças nas proporções dos usos do solo de cada PBH foram as principais determinantes desses resultados. A ação humana sobre estes coeficientes, apesar de subjetiva e difícil quantificação, certamente determinam a dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas. Os agricultores decidem quais as áreas serão utilizadas para lavoura, pastagem, reflorestamento ou preservação. Também determinam a utilização de práticas conservacionistas e o tipo de manejo do solo utilizado para minimizar os impactos do potencial energético dispendido pelas variáveis climáticas e também fatores como declividade e concentração de escoamentos.

6.5 CONCLUSÕES

1. O coeficiente de regularização de vazão indicou maior desequilíbrio na bacia hidrográfica com maior proporção de uso do solo sobre área úmida.

2. O coeficiente de regularização de vazão foi melhor na bacia hidrográfica com maior proporção de área de mata ciliar.

3. O coeficiente de dissipação de energia erosiva indicou maior trabalho erosivo na bacia hidrográfica com maior proporção de área de mata ciliar, possivelmente por apresentar degradação dos extratos vegetativos inferiores da mata.

4. O coeficiente de dissipação de energia erosiva indicou que em bacia hidrográfica com maior proporção de área úmida o trabalho erosivo é menor, principalmente pela característica da vegetação que dissipam a energia e retém os sedimentos.

6.6 LITERATURA CITADA

AGRITEMPO - Sistema de monitoramento agrometeorológico. Dados meteorológicos - Júlio de Castilhos: dados históricos. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/cnpt/elnino/mensal.php>>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2013.

Bortoluzzi, E. C.; Rheinheimer, D. D. S.; Gonçalves, C. S.; Pellegrini, J. B.; Zanella, R.; Copetti, A. C. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(4), 881-887. 2006

D'Agostini, L.R.; Martini, L.C.P.; Schlindwein, S.L. Índice-indicador de desempenho ambiental: uma metodologia integradora de perspectivas no controle da erosão. In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001. 2001.

D'Agostini, L.R.; Martini, L.C.P. Um coeficiente de regularização da vazão: quantificando a qualidade de condições de superfícies. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5.2: 27-37, 2000.

D'Agostini, L.R. Erosão: o problema mais que o processo. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 131p.

Denardin, J.E.; Kochhann, R.A.; Flores, C.A.; Ferreira, T.N.; Cassol, E.A.; Mondardo, A. ; Schwarz, R.A. Manejo da enxurrada em sistemas de plantio direto. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.

Gasparini, L.V.L. Análise das inter-relações de indicadores econômicos, ambientais e sociais para o desenvolvimento sustentável. 2003. 221 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas), Universidade Federal de Santa Catarina.

- Hewlett, J.D.; Hibbert, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: International Symposium on Forest hydrology. New York: Pergamon Press, 1967. p. 275-290.
- Minella, J. P. G.; Merten, G. H.; Reichert, J. M.; Santos, D. D. Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 6, p.1637-1646, 2007.
- Pellegrini, J. B. R.; dos Santos, D. R.; Gonçalves, C. S.; Copetti, A. C. C.; Bortoluzzi, E. C.; Tessier, D. Impacts of anthropic pressures on soil phosphorus availability, concentration, and phosphorus forms in sediments in a Southern Brazilian watershed. *Journal of Soils and Sediments (Print)*, v.10, n. 3, p.393-399, 2009.
- Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservative planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook*. n. 537, 1978. 58p.

7 DISCUSSÃO GERAL

O artigo sobre a dinâmica hidrológica e a produção de sedimento (Artigo I) visou detalhar mais os processos envolvidos, além de interligar a dependência desses processos aos usos do solo. O segundo artigo que utilizou os índices indicadores de desempenho ambiental, também buscou fazer a discussão conjunta entrelaçando os indicadores obtidos, as respostas hidrossedimentológicas e as influências dos usos do solo. A seguir estão apresentados mais alguns resultados relevantes quanto a influência de fenômenos climáticos sobre as alterações na dinâmica hidrossedimentológica. Estes resultados estão agrupados de forma a considerar os períodos climáticos ocorridos durante este estudo. Pois sabe-se da interferência desses fenômenos, no entanto para inferências conclusivas merece maior período de monitoramento e controle de variáveis, todavia esta discussão embasar-se-á em resultados das alterações climáticas ocorridas durante o período de estudo.

Segundo Grimm (2003) a dinâmica hidrológica em bacias hidrográficas é também fortemente influenciada pela ação de fenômenos climáticos como o El Niño e a La Niña. Segundo este autor, no Sul do Brasil esses fenômenos promovem situações opostas: enquanto o El Niño caracteriza-se pelo aumento do regime de chuva, a La Niña promove estiagens severas. MATZENAUEERS et al. (2008) analisaram a ocorrência destes fenômenos para o Planalto Médio do RS, entre 1975 a 2001, e observaram que em 33% dos meses houve a ocorrência de El Niño, em 22% com La Niña e 45% dos meses foram considerados anos neutros ou normais. Assim, em cada década, têm-se a ocorrência de pelo menos três El Niños e duas La Niñas. De Paula et al. (2010) atribuiu ao fenômeno climático El Niño no Sul do Brasil a ocorrência de grandes eventos pluviométricos e aumento da energia erosiva dessa precipitações. Isso resulta em maiores perdas de sedimentos em bacias hidrográficas, principalmente se as condições de superfície e de solo são insuficientes para acomodar o grande volume precipitado. Contudo, o bom manejo e o uso correto do solo pode também minimizar os efeitos da energia erosiva gerada por tais fenômenos naturais (D'AGOSTINI, 1999). Por conta disso, ocorrem prejuízos pela perda de solos com alterações qualitativas dos recursos hídricos, além de redução de produtividade dos cultivos por déficit hídrico.

A intensidade-duração-frequência das precipitações nesses períodos pode ser relacionada com a produção de sedimentos na escala de bacias hidrográficas. No entanto, o uso do solo pode minimizar ou potencializar os efeitos desses fenômenos climáticos sobre a

produção de sedimento (VERSTRAETEN et al., 2006). Assim, os resultados apresentados a seguir, sobre a produção de sedimento, como também, as alterações nas variáveis climáticas estão em consonância com o estudo realizado por DE PAULA et al. (2010). Estes autores atribuíram ao fenômeno El Niño o aumento do potencial erosivo das chuvas, avaliadas em Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Nesse sentido, o período de monitoramento foi separado em seis segmentos distribuídos da seguinte maneira: dois de El Niño, sendo o primeiro de janeiro a fevereiro de 2010 e o segundo de setembro a dezembro de 2012; dois de La Niña, sendo o primeiro de outubro de 2010 a março de 2011 e o segundo de setembro de 2011 a agosto de 2012; e, os outros dois intervalos foram considerados normais. Para a separação desses períodos também foi analisado os boletins climáticos elaborados pelo 8º DISME/INMET e CPPMet/UFPEL e foi observada as alterações na média das precipitações mensais do local de estudo. Como em Júlio de Castilhos, a precipitação média mensal histórica de 1971 a 2002 é de 137 mm (AGRITEMPO, 2013), os períodos de El Niño apresentaram precipitação média mensal de 460 e 256 mm, respectivamente para o primeiro e segundo período (Tabela 1). A La Niña em seus dois períodos, o primeiro de seis meses e o segundo de um ano, a precipitação média mensal foi de aproximadamente para 97 e 84 mm, respectivamente (Tabela 1). Os demais intervalos foram considerados normais por ocorrerem meses variando acima e abaixo da média, mas os valores foram de aproximadamente 155 e 165 mm, respectivamente para o primeiro e segundo período considerado (Tabela 1).

O primeiro período de El Niño apresentou o maior valor percentual de escoamento total (58%), refletindo ainda, no período normal subsequente (55,7%). Por conta disto, neste período foi observado o maior valor de escoamento superficial (17,5%). No primeiro período de La Niña, ocorrido predominantemente nos meses de verão, foram observados os menores valores de escoamento total, com aproximadamente 23% e 18% do volume precipitado, para as PBHs 140 e 80, respectivamente. De maneira geral, nestes eventos de La Niña ocorreram baixos percentuais de escoamento superficial, os quais variaram de 0,7 a 2,9% do escoamento total.

Para as variáveis de escoamento total, superficial, coeficiente de escoamento e vazão de pico analisadas em conjunto houve diferenças entre os períodos de El Niño e La Niña. Nos períodos Normais destaca-se o comportamento intermediário aos períodos extremos, para quase todas as variáveis, exceto para o coeficiente de escoamento que em ambas as PBHs o comportamento foi similar ao El Niño, mas diferenciaram da média dos períodos de La Niña (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis hidrológicas monitoradas, estimadas e estatística conjunta por períodos climáticos entre os anos de 2010 a 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 140 e 80.

Período Climático	Unid.	PBH 140					PBH 80				
		Variáveis hidrológicas monitoradas e estimadas por período									
		P ⁽¹⁾	Et ⁽²⁾	EB ⁽³⁾	ES ⁽⁴⁾	DV ⁽⁵⁾	P	Et	EB	ES	DV
EL NIÑO Jan-Fev/2010	(mm)	920,1	538,4	377,4	161,1	381,6	-	-	-	-	-
	(%)	100,0	58,5	41,0	17,5	41,5	-	-	-	-	-
NORMAL Mar- Set/2010 ⁽⁶⁾	(mm)	1079,3	600,9	532,9	68,0	478,4	337,7	191,0	137,6	53,4	146,7
	(%)	100,0	55,7	49,4	6,3	44,3	100,0	56,6	40,8	15,8	43,4
LA NIÑA Ago- Set/2010 ⁽⁷⁾	(mm)	575,2	131,3	127,0	4,3	443,9	589,8	103,8	96,2	7,6	486,0
	(%)	100,0	22,8	22,1	0,7	77,2	100,0	17,6	16,3	1,3	82,4
NORMAL Abril- Ago/2011	(mm)	852,1	365,8	317,3	48,4	486,4	852,1	275,6	188,0	87,6	576,6
	(%)	100,0	42,9	37,2	5,7	57,1	100,0	32,3	22,1	10,3	67,7
LA NIÑA Set/2011 - Ago/2012	(mm)	1031,0	452,4	438,7	13,7	578,6	990,0	260,7	232,5	28,2	729,3
	(%)	100,0	43,9	42,6	1,3	56,1	100,0	26,3	23,5	2,9	73,7
EL NIÑO Set-Dez/2012	(mm)	998,5	327,1	281,9	45,2	671,3	1053,6	333,8	252,1	81,7	719,8
	(%)	100,0	32,8	28,2	4,5	67,2	100,0	31,7	23,9	7,8	68,3
		Estatística conjunta de variáveis hidrológicas									
		<i>n</i>	Et ⁽⁸⁾ (mm)	ES ⁽⁴⁾ (mm)	C ⁽⁹⁾ (%)	Q ⁽¹⁰⁾ (m ³ s ⁻¹)	<i>n</i>	Et (mm)	ES (mm)	C (%)	Qp (m ³ s ⁻¹)
EL NIÑO		<i>n</i> =38	10,4 a	5,4 a	6,8 a	0,9 a	<i>n</i> =19	7,8 a	4,3 a	8,4 a	0,5 a
NORMAL		<i>n</i> =55	5,8 ab	2,1 ab	5,4 a	0,4 ab	<i>n</i> =43	6,2 a	3,3 ab	9,7 a	0,3 ab
LA NIÑA		<i>n</i> =23	2,1 b	0,8 b	1,9 b	0,2 b	<i>n</i> =28	2,7 b	1,3 b	3,7 b	0,1 b

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento de base; ⁽⁴⁾ escoamento superficial; ⁽⁵⁾ demais variáveis = evapotranspiração + infiltração profunda + armazenamento; ⁽⁶⁾ período monitorado na PBH 140; ⁽⁷⁾ período monitorado na PBH 80; ⁽⁸⁾ escoamento total do hidrograma; ⁽⁹⁾ coeficiente de escoamento; ⁽¹⁰⁾ vazão de pico ou máxima; Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, comparando os períodos climáticos em cada pequena bacia hidrográfica, não diferem estatisticamente pelo teste de comparação de médias não paramétrico de Kruskal-Wallis *H*. *n* = número de eventos.

O escoamento superficial pode ser destacado como a principal variável resposta para a análise comparativa entre as PBHs. Desta maneira se observar em todos os períodos avaliados os valores sempre foram maiores na PBH 80, do que na PBH 140. Por outro lado, o contrário ocorreu com os valores de escoamento de base que sempre foram superiores na PBH 140. Para os valores de vazão de pico na PBH 140 foram superiores aos da PBH 80. Durante os

períodos de El Niño os valores de vazão de pico foram de $0,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a PBH 140 e de $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a PBH 80. No período de La Niña os valores foram de $0,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a PBH 140 e de $0,13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a PBH 80.

As variáveis agrupadas durante todo o período de estudo, também apresentaram respostas diferentes ao analisar o balanço da dinâmica hidrológica referente a 100 mm de precipitação: na PBH 80, aproximadamente 25 mm foram transformados em escoamento de base, 7,6 mm em escoamento superficial e o restante 66,6 mm atribuídos às perdas como evapotranspiração, infiltração profunda e armazenamento de água no solo. Já para a PBH 140, 37,5 mm resultaram em escoamento de base, 4,2 mm em escoamento superficial e 58,3 mm nas outras variáveis. Dessa forma, na PBH 80 houve incremento de aproximadamente 80% do volume de escoamento superficial em relação à PBH 140. Por conta disto, houve baixo armazenamento de água no solo, resultando em uma redução de 31% o escoamento de base.

A influência de fenômenos climáticos sobre as respostas de vazão nas bacias em estudo contribuíram na alteração da dinâmica hidrológica e podem ser observadas também através das curvas de permanência de vazão (Figura 3). As curvas com menores inflexões, no início e no final, refletem bacias com maior regularidade de vazão (Tucci, 2002), conforme observado na PBH 140 (Figura 3). Em períodos normais as inflexões das curvas foram menos marcantes, principalmente na PBH 140 (Figura 3a). O escoamento de base durante os períodos sob influência do fenômeno La Niña em 80% do tempo na PBH 80 foi de aproximadamente 3 L s^{-1} , que é aproximadamente a metade da vazão da PBH 140. A situação fica mais crítica para a PBH 80 ao observar o valor de probabilidade maior que 0,9, onde a vazão tendeu a zero (Figura 3b). Durante o período de El Niño na PBH 80, a vazão foi maior que 10 L s^{-1} em 50% do tempo, enquanto que nos períodos de La Niña a vazão foi maior que 10 L s^{-1} em apenas 5% do tempo (Figura 3c). Tais resultados demonstram que as curvas de permanência apresentaram-se como bons indicadores do equilíbrio da dinâmica hidrológica e fundamentaram as respostas da PBH 140, através da maior regularização de vazão durante os períodos secos.

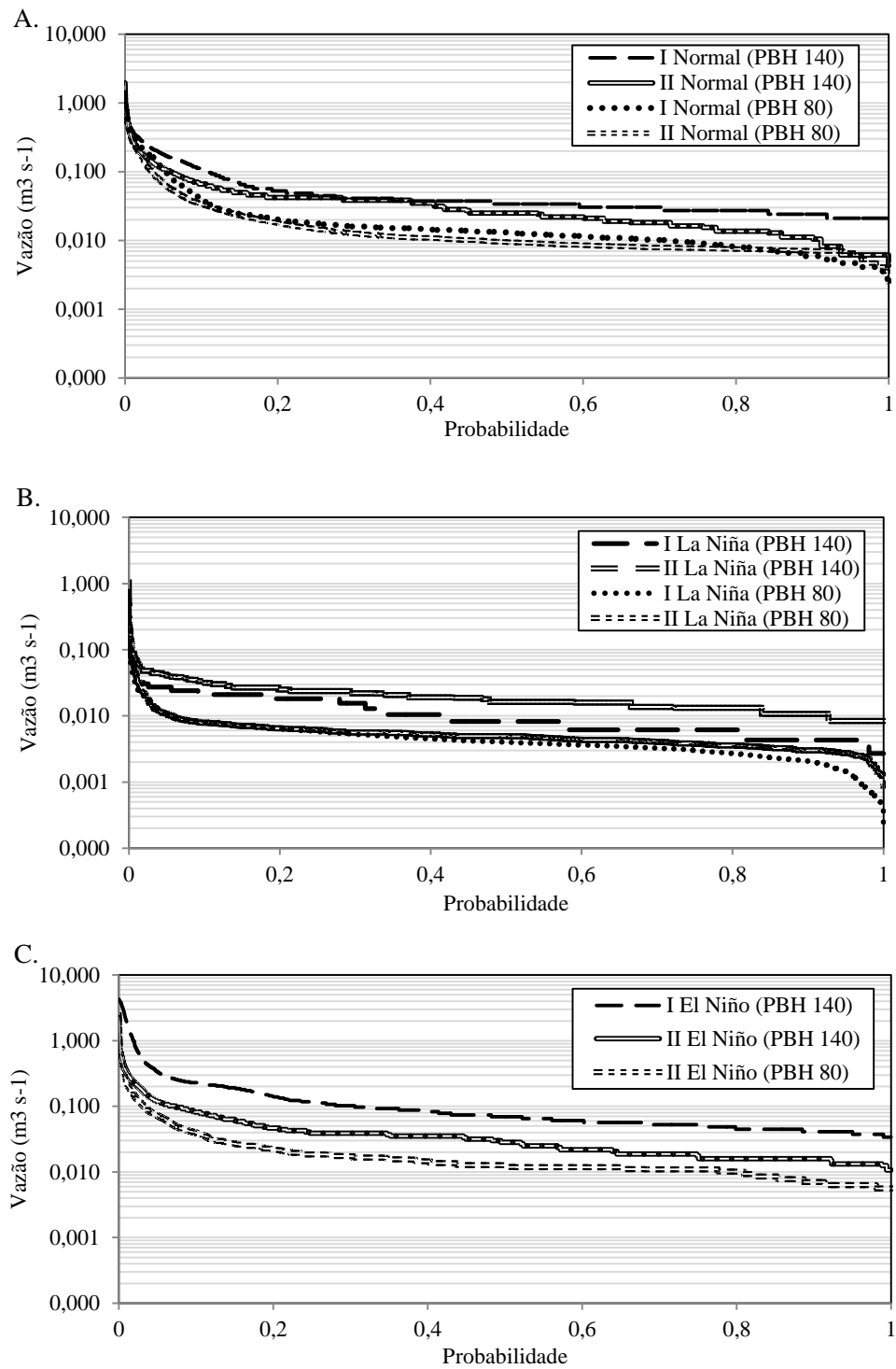


Figura 3. Curva de permanência dos diferentes períodos climáticos das PBHs 80 e 140. ((a) I Normal: 30/07/2010 a 31/09/2010; II Normal: 01/04/2011 a 31/08/2011; (b) I La Niña: 01/10/2010 a 31/03/2011; II La Niña: 01/09/2011 a 31/08/2012; (c) I El Niño: 01/01/2010 a 28/02/2010; II El Niño: 01/09/2012 a 31/12/2012).

Estes resultados fundamentam as respostas da PBH 140, onde se observou uma maior regularização de vazão, com maior infiltração de água no solo e maior escoamento de base durante os períodos secos. Estas informações ressaltam a importância das matas ciliares no equilíbrio do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, atenuando os efeitos dos fenômenos climáticos nas variáveis hidrológicas. Da mesma forma, que devem ser observadas as práticas e manejo dos solos adotados para minimizar o escoamento superficial e potencializar a infiltração de água no solo. Com isto, as áreas úmidas tornar-se-ão mais significativas em gerar escoamento de base, sendo a sua manutenção vital para o equilíbrio hidrossedimentológico das bacias hidrográficas.

Na estimativa da produção de sedimento em bacias hidrográficas normalmente se utiliza a amostragem de sedimento em alguns eventos com escoamento superficial, para posterior calibração e utilização de modelos matemáticos. No entanto, o monitoramento hidrossedimentológico contínuo vem ganhando espaço nos últimos anos através da utilização de turbidímetros, para leitura da concentração de sedimento em suspensão. Esta técnica não elimina as amostragens de sedimento, mas permite uma estimativa contínua e com menores incertezas que modelos não ajustados às condições locais. Os resultados estimados de concentração de sedimento em suspensão foram importantes na quantificação de produção de sedimento nos diferentes períodos climáticos analisados. Isso permitiu mensurar os grandes volumes de sedimento transportados para fora das PBHs, principalmente nos períodos de El Niño e Normais.

Para as variáveis que afetam a produção de sedimento pode ser observado que a energia cinética nos eventos pluviométricos foi maior nos períodos de El Niño. O fenômeno climático El Niño potencializou as perdas de solo, principalmente no primeiro período monitorado. Nesse período, em um único evento de 323 mm ocorrido em janeiro de 2010, houve a perda média estimada através da vazão e turbidez, de 250 toneladas de sedimento na PBH140, quantidade superior à perda anual de sedimentos durante os períodos normais. Ou ainda esse montante poderia ser muito maior visto que a turbidez subestima as quantidades de sedimento em situações de sedimento arenoso e grandes volumes de vazão (CARVALHO et al., 2004).

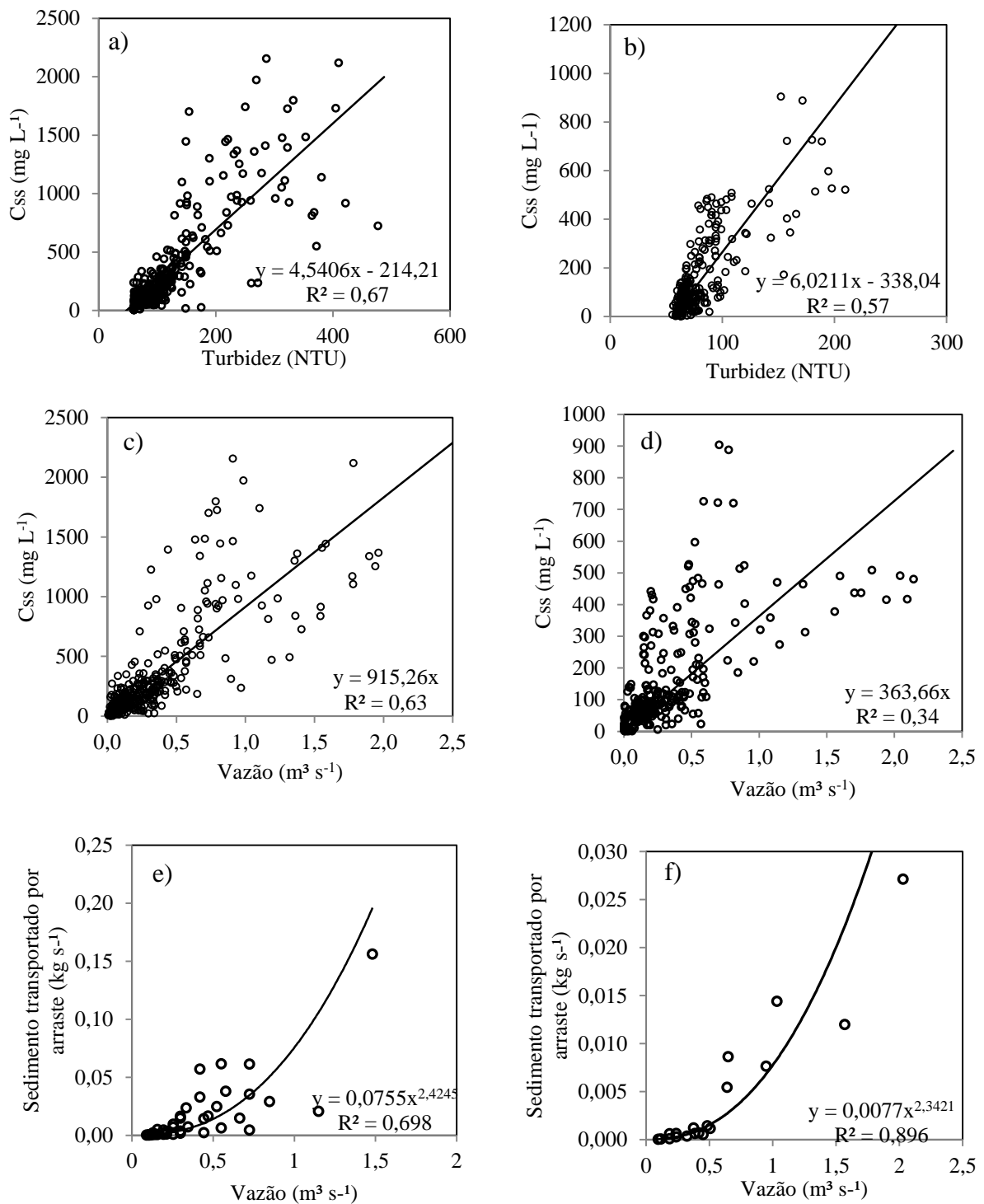


Figura 4. Relações e equações para estimativa da produção de sedimento: turbidez (NTU- Nephelometric Turbidity Uni) e a concentração de sedimento em suspensão observada (C_{ss}) para a PBH 140 (a) e PBH 80 (b); vazão e concentração de sedimento em suspensão observada (C_{ss}) para a PBH 140 (c) e PBH 80 (d); vazão e sedimento transportado por arraste para a PBH 140 (e) e PBH 80 (f) do assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos - RS.

No primeiro período de El Niño a perda total de sedimento na PBH 140 foi de 533,8 Mg, com valores médios mensais na ordem de $1,85 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabela 2). Já no segundo período de El Niño ocorrido no final do ano de 2012 as perdas acumuladas em quatro meses foram de 0,481 e $0,195 \text{ Mg ha}^{-1}$, para a PBH 140 e 80, respectivamente. As perdas mensais, do segundo período de El Niño, foram semelhantes aos períodos considerados normais ($0,120 \text{ Mg ha}^{-1}$). Nos períodos com a influência do fenômeno La Niña as perdas foram muito inferiores aos demais períodos. No primeiro período com duração de seis meses, o acumulado foi de 0,048 e $0,026 \text{ Mg ha}^{-1}$, para a PBH 140 e 80, respectivamente, e no segundo período de um ano, as perdas foram de 0,135 e $0,050 \text{ Mg ha}^{-1}$, para a PBH 140 e 80, respectivamente. Já os valores médios mensais foram de 0,0094 e $0,0045 \text{ Mg ha}^{-1}$, na PBH140 e PBH80, respectivamente. Na PBH140, os valores percentuais de perdas de sedimento de fundo variaram de 2,6 a 15,3%, com valores menores nos períodos sob influência da La Niña e maiores em períodos com El Niño (Tabela 2). Já na PBH 80 os valores foram menores e variaram na ordem de 0,1 a 2,8%, também com os menores percentuais em períodos de La Niña e maiores em períodos normais e El Niño.

A produção de sedimento foi apresentada no primeiro artigo. Para obtenção daqueles resultados foi utilizada a média entre a concentração de sedimento em suspensão estimada por turbidez e por curva chave de vazão, somada a esta média, os valores estimados de produção de sedimento transportado por arraste de fundo. Para esta estimativa contínua foram estabelecidas relações entre a concentração de sedimento observada e variáveis correlacionadas como, turbidez e vazão. Para ambas as correlações em valores de maior concentração houve maior variação dos pontos observados com as variáveis correspondentes. Através destas correlações também foi observado alta concentração de sedimento em suspensão e arraste para a PBH 140. Observa-se na figura 4 (A e B) que as concentrações máximas na PBH 80 não ultrapassaram 1000 mg L^{-1} , enquanto que na PBH 140 os valores máximos superaram os 2000 mg L^{-1} . Na relação com vazão as equações mostram um incremento de 300% na CSS da PBH 140 (Figura 4 C e D). Da mesma forma ocorreu com o transporte de fundo, resultando em aumento exponencial para a PBH 140, com incremento da vazão. Esses resultados, além de mostrarem as diferenças entre as PBHs, também determinaram os resultados de produção de sedimento, apresentados no artigo II.

Tabela 2. Variáveis hidrossedimentológicas em diferentes períodos climáticos ocorridos entre os anos de 2010 e 2012 nas pequenas bacias hidrográficas PBH 80 e PBH 140, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul.

Período Climático	Unid.	PBH 140					PBH 80				
		P ⁽¹⁾	Ec ⁽²⁾	PSS ⁽³⁾	PSA ⁽⁴⁾	PSt ⁽⁵⁾	P	Ec	PSS	PSA	PSt
		mm	MJ	Mg			mm	MJ	Mg		
EL NIÑO Jan-Fev/2010	%	920,1	29377,1	449,0	84,8	533,8	-	-	-	-	-
	Mg ha ⁻¹			3,11	0,59	3,69			-	-	-
NORMAL Mar-Set/2010 ⁽⁶⁾ Ago-Set/2010 ⁽⁷⁾	%	1079,3	27166,7	119,2	7,2	126,4	337,7	508,6	12,8	0,2	13,0
	Mg ha ⁻¹			0,83	0,05	0,87			0,16	0,00	0,16
LA NIÑA Out/2010 - Mar/2011	%	557,2	16106,1	6,8	0,2	6,9	589,8	11712,8	2,1	0,0	2,1
	Mg ha ⁻¹			0,05	0,00	0,05			0,03	0,00	0,03
NORMAL Abril-Ago/2011	%	852,1	23093,8	84,2	4,9	89,1	852,1	12468,2	15,0	0,2	15,2
	Mg ha ⁻¹			0,58	0,03	0,62			0,19	0,00	0,19
LA NIÑA Set/2011 - Ago/2012	%	1031,0	27595,3	18,9	0,7	19,5	990,0	15158,2	4,0	0,0	4,0
	Mg ha ⁻¹			0,13	0,00	0,14			0,05	0,00	0,05
EL NIÑO Set-Dez/2012	%	998,5	29123,3	63,6	5,9	69,5	1053,6	15997,5	15,0	0,4	15,5
	Mg ha ⁻¹			0,44	0,04	0,48			0,19	0,01	0,19

⁽¹⁾ precipitação; ⁽²⁾ energia cinética em Mega Joule (MJ); ⁽³⁾ produção de sedimento em suspensão; ⁽⁴⁾ produção de sedimento por arraste; ⁽⁵⁾ produção de sedimento total = PSS+PSA; ⁽⁶⁾ período climático referente à PBH 140; ⁽⁷⁾ período climático referente à PBH 80.

Outras variáveis que influenciam a CSS foram estabelecidas, como a intensidade máxima da precipitação ocorrida em uma hora e a vazão máxima nas diferentes PBHs. Através dessa pode ser observado que com intensidades similares o resultado na CSS da PBH 140 foi maior, assim como houve um aumento exponencial com incremento da vazão, diferenciando ainda mais as PBHs em altas vazões (Figura 5 A e B).

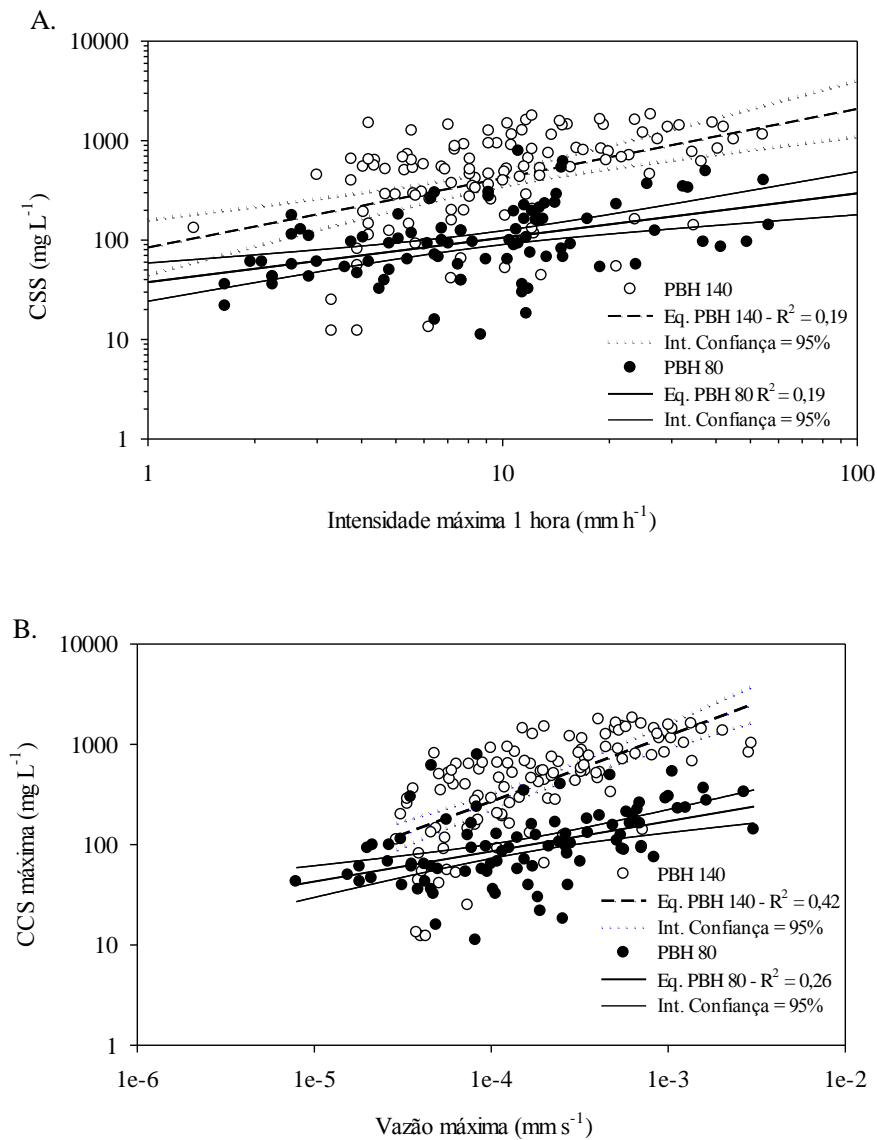


Figura 5. Relações da intensidade máxima em uma hora e concentração de sedimento em suspensão (a) e a vazão máxima e concentração de sedimento em suspensão (b) para a PBH 140 e 80.

A ação antrópica, através do uso agrícola, interferiu diretamente no aumento do escoamento superficial. A condutividade hidráulica do solo reduz enormemente pelo aumento na compactação do solo. Resultados de densidade do solo compararam as áreas de lavoura, pastagem perene e áreas naturais, como de mata ciliar e úmidas, existentes na PBH 80 (Figura 6) (Anexo c). Valores de densidade do solo encontrados diferenciaram-se principalmente na camada de 10 a 15 cm, entre áreas naturais e lavouras, com valores de 1,15 e 1,60 g cm⁻¹,

respectivamente. Essa compactação superficial do solo vai se acumulando com maiores valores de densidade do solo na camada de 10 a 15 cm e torna-se característica em sistema de plantio direto, e principalmente nos mal manejados (REICHERT, et al., 2007). Os reflexos da compactação sobre a dinâmica da água no solo começa ao reduzir a porosidade total, principalmente sobre os macroporos. Com isso, o conteúdo volumétrico de água e a capacidade de campo são aumentados, enquanto a aeração, a taxa de infiltração de água e a condutividade hidráulica do solo saturado são reduzidas (REICHERT, et al., 2007). Conseqüentemente, o escoamento superficial de água pode aumentar, refletindo diretamente no equilíbrio hidrossedimentológico de bacias hidrográficas. REICHERT et al. (2007) ao agrupar dados de diferentes estudos, em solos com características físicas similares aos das lavouras deste estudo, gerou uma equação do efeito direto da redução de macroporos sobre a condutividade hidráulica. Estimou que para macroporosidade considerada crítica de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ o valor correspondente de condutividade hidráulica foi de $13,8 \text{ mm h}^{-1}$. Este valor pode limitar a condutividade de água em mais de 50% dos eventos, se observarmos os resultados de intensidade máxima apresentados anteriormente.

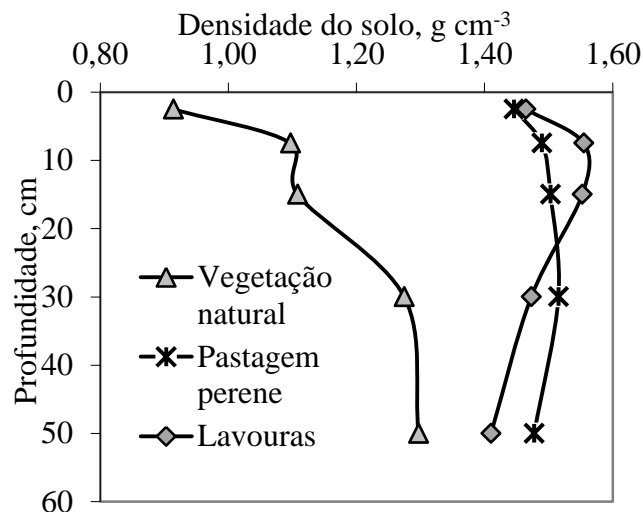


Figura 6. Densidade do solo nos diferentes usos na pequena bacia hidrográfica 80, no assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, RS.

Esses resultados vêm a corroborar com os artigos apresentados anteriormente, além de contribuir com a discussão geral que está sintetizada a seguir. Fundamentando as diferenças entre as PBHs e os fatores climáticos analisados durante o período de monitoramento.

Em períodos de El Niño ocorrem altas perdas por escoamento superficial, e também por serem variáveis de correlação direta, houve maior produção de sedimento. O maior potencial energético das precipitações durante este período foi apresentado por DE PAULA (2010), contudo o presente estudo contribuiu em quantificar as perdas de sedimento em uma situação de cultivo tradicional no planalto Gaúcho.

O efeito da maior proporção de mata ciliar em uma bacia contribuiu em minimizar principalmente as perdas por escoamento superficial. Por haver maior infiltração de água no solo, em períodos chuvosos, a reserva hídrica para períodos secos foi maior, representada pelo maior escoamento de base, pelo coeficiente de regularização de vazão e também pelas curvas de permanência de vazão (Figura 3). Contudo, as perdas de sedimento não foram minimizadas por este uso, possivelmente pelo estado de degradação gerado pelo uso conciliado à pecuária. Os reflexos dos benefícios deste uso só aumentarão se estas áreas forem isoladas, além de recuperar outros locais em que houve supressão total da mata (LIMA e ZAKIA, 2000). Com isso, poderá haver aumento da reserva hídrica e diminuição da carga de sedimento proveniente das lavouras, e também melhorias quanto à qualidade de água (VANZELA et al., 2010; CAPOANE, 2011; PELLEGRINI, 2011;). O uso do solo sob cultivos agrícolas são os principais geradores dos desequilíbrios hidrossedimentológico (TUCCI, 2002). No entanto, a forma de manejo adotada e a utilização de práticas conservacionistas complementares podem minimizar muitos seus impactos (DENARDIN et al., 2005). Os reflexos dos manejos inadequados das áreas de lavoura potencializaram as perdas por escoamento superficial das áreas úmidas. Por outro lado, o efeito das áreas úmidas, quanto à retenção de sedimento foi importante nos diferentes períodos climáticos, confirmado pela menor produção de sedimento e também pelo melhor coeficiente de dissipação de energia erosiva obtidos para a PBH 80.

Diante do exposto, infere-se que a maior ocorrência de uso do solo com matas ciliares em bacias hidrográficas minimiza os efeitos dos fenômenos climáticos nas variáveis hidrológicas, resultando em menor escoamento superficial e maior escoamento de base. As áreas de lavouras com manejo inadequado do solo e localizadas sobrejacentes às áreas úmidas contribuíram para maximizar os impactos dos fenômenos climáticos aumentando o escoamento superficial em períodos de El Niño e reduzindo a reserva hídrica em períodos de La Niña.

E ainda, o fenômeno climático El Niño potencializa a produção de sedimento, principalmente em áreas com a mata ciliar degradada. Por outro lado, a maior proporção de uso do solo sob área úmida minimiza a produção de sedimentos nos diferentes períodos climáticos, mesmo gerando maior escoamento superficial. A conservação das áreas que

circundam os cursos d'água com vegetação natural atenua o aporte de sedimentos, reduzindo os riscos de contaminação dos cursos hídricos, principalmente quando o manejo do solo da área de lavoura for inadequado.

Em fim, os fenômenos climáticos são cíclicos e, portanto, deverão continuar ocorrendo. Desta forma, para minimizar seus efeitos sobre a produção de sedimento e aumento da reserva hídrica, recomenda-se a recuperação e proteção de áreas úmidas e das matas ciliares. Não menos importante deve ser a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo nas lavouras e pastagens, para promover maior infiltração e armazenamento de água no solo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de reforma agrária feito no assentamento Alvorada em Júlio de Castilhos ocorrido no ano 1996 pode ser considerado recente. Este processo contribuiu na modificação dos usos do solo, que anteriormente predominavam campo nativo e algumas glebas de lavoura. A paisagem sofreu alterações pela fragmentação das propriedades, além gerar maior pressão antrópica sobre o meio. Relatos dos assentados destacavam as dificuldades iniciais de manejar o solo. Considerado frágil resultou em muita erosão, principalmente por aplicarem o manejo convencional. Posteriormente, com a expansão do cultivo da soja em fazendas vizinhas, a pecuária extensiva começou a conciliar estas atividades. Contudo, os assentados passaram a adotar o sistema dessas grandes propriedades, que por sua vez não adapta-se às pequenas propriedades. Através deste sistema produtivo a pressão sobre as áreas de preservação permanente aumentou.

Em estudo feito nestas mesmas pequenas bacias hidrográficas CAPOANE (2011) cita ter encontrado alto grau de degradação, com conflitos no uso do solo em mais de 80% das áreas de preservação permanente. Também recomendou que, as áreas com matas remanescentes devem ser mantidas e o acesso do gado deve ser restringido, para que haja a regeneração da vegetação natural. Outra ação sugerida foi limitar o acesso do gado aos cursos d'água e nascentes, visando melhorias na qualidade de água. Alguns desses inconvenientes gerados pela atividade agropecuária refletem em parte na degradação ambiental e foram associados à baixa qualidade da água nas fontes utilizadas para consumo humano. Quanto à poluição dos cursos hídricos, relatou haver baixa concentração de nutrientes, devido a pouca utilização de insumos agrícolas.

A integração lavoura-pecuária nos moldes que está sendo feito no assentamento é insustentável, principalmente sob o aspecto econômico, mas também pelos impactos ambientais. Nas áreas de lavoura foram observados e diagnosticados inúmeros equívocos, como: alta acidez do solo, baixos níveis de fósforo, aplicações superficiais de potássio, alta utilização de agrotóxicos, alta compactação do solo, baixa cobertura de palha, ausência de rotação de culturas, plantios morro abaixo, não uso de terraços, falta de manejo de pastagens, entre outros. Esta situação juntamente com os conflitos no uso do solo, relatados anteriormente, reflete diretamente no desequilíbrio na dinâmica hidrossedimentológica encontrada neste estudo. Nesta mesma linha, PELLEGRINI (2011) em estudo de uma bacia

hidrográfica altamente declivosa, localizada no município de Agudo, com cultivo predominante de fumo, relatou que as matas ciliares mostraram-se eficientes em reduzir a carga de poluentes aos cursos d'água e nascentes. Porém, sua eficiência é diminuída quando há lavouras em áreas de baixa aptidão para uso agrícola e de preservação permanente sendo manejadas em sistema convencional, e também, se há estradas com má localização, pois contribuem para a geração de grande quantidade de escoamento superficial concentrado. Salientou que não basta reconstituir a vegetação natural nas áreas de preservação permanente de cursos d'água e nascentes se forem mantidos o atual padrão de uso e ocupação do solo.

Na busca de sistemas mais equilibrados e sustentáveis em longo prazo, deve ocorrer a mudança de percepção, conciliando as diferentes formas de ação e prioridades dos atores sociais envolvidos. Como descreve D'AGOSTINI (1999), no livro *Erosão: o problema mais que o processo*, onde fez uma abordagem de mudança de percepção, superando uma visão segmentada e cartesiana somente do processo físico, para um olhar mais amplo que envolve a relação homem-meio. Pois, avaliando os sistemas agrícolas verificamos que a erosão ainda é um problema, mesmo quando o processo científico foi exaustivamente descrito, conhecido e até quantificado. E ainda, quando existem técnicas conservacionistas elementares e eficientes ao alcance do corpo técnico e dos produtores.

O problema erosão não é exclusivo do assentamento, pois fora também se observa erosões em sulcos, pastoreios intensivos, semeaduras morro abaixo, pulverizações rotineiras, entre outras causas que degradam os sistemas produtivos e o ambiente no seu entorno. Assim, como expõem D'AGOSTINI (1999), “*o problema associado à erosão é, antes de tudo, de natureza comportamental, de prioridades, de valores e critérios, de atitudes objetivas de um ser essencialmente subjetivo*”.

Este estudo buscou contribuir que através da ação do homem sobre o meio, podem ser minimizados impactos de fenômenos climáticos, além de caminhar em busca da sustentabilidade ambiental, econômica e social. As diferentes proporções de uso do solo existentes PBHs permitiram avaliar as alterações hidrossedimentológicas que cientificamente se atribuí aos devidos usos. Certamente que benefícios serão sentidos ao aplicar ações de planejamento paisagístico-ambiental das propriedades, considerando a bacia hidrográfica como unidade principal. Nesse assentamento a divisão das áreas em forma de retângulos, com mesma superfície pode ser considerada como causas inicial de ocorrer maior pressão sobre o ambiente e geração dos desequilíbrios mensurados por este trabalho. As áreas com aptidão

agrícolas são diferentes para cada lote, desta forma aumenta a pressão de uso sobre áreas conhecidamente mais frágeis e com grande importância para o equilíbrio ambiental. As estradas não foram planejadas, simplesmente passaram pelas divisas dos lotes e desta forma podem estar contribuindo muito para a geração de escoamento e produção de sedimento. O processo de reforma agrária feito nesse assentamento perdeu a oportunidade de aplicar o conhecimento técnico-científico da área de manejo de bacias hidrográficas. Neste momento algumas medidas podem minimizar os problemas quantificados por este trabalho e também levantados por CAPOANE (2011). Ações como: isolamento e restituição da mata ciliar e áreas úmidas; reflorestar ou implantar cordões vegetados ou ainda cultivar culturas permanentes em locais propícios à erosão; realocação de estradas; melhorar os arredores das construções; localização adequada das fontes de água; controlar as fontes de poluição pontual, como, esgoto doméstico e resíduos de animais; ajustar as quantidades e tipos de agroquímicos; manejar adequadamente os locais com cultivos anuais utilizando práticas mecânicas de controle da erosão, semear em nível, manter mais palha em superfície; estas são algumas medidas que irão contribuir para a qualidade do solo e da água. Adoções destas medidas poderão aumentar o nível de sustentabilidade do sistema local, além de refletir em maior escala.

As equipes de assistência técnica e extensão rural de maneira pontual buscam recomendar e também aplicar algumas dessas medidas. No entanto, seus esforços esbaram em tremenda burocracia de escritório, relatórios de assistências técnicas individuais e coletivas que não mensuram as reais transformações e impedem de aplicarem uma ação concreta, objetiva e transformadora. Há limitação de recursos aplicados, em diferentes pontos, que em muitas vezes resulta na quantidade e qualidade de pessoas para compor as equipes técnicas. Outros entraves devem-se ao trabalho com pessoas marginalizadas ou excluídas do processo econômico, com limitação educativa, consciência ambiental exploratória, e que agem no curto prazo, principalmente por restrições financeiras. A organização em grupos produtivos, com foco em atividades adaptadas para a pequena propriedade, para utilizar máquinas em conjunto, para baratear compras de insumos e agregar valor de comercialização, poderia contribuir no aspecto econômico.

Em fim, a complexidade que envolve o estudo hidrossedimentológico, transcende o plano somente do processo. Onde, muitas vezes buscamos quantificar variáveis e utilizar a estatística ou correlações para atribuir causas explicativas e determinar os erros. Mas nem sempre o que realmente atribuímos são as causas, geralmente são as consequências da interação homem-meio.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTANASIO, C.M. et al. Método para identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 131-140, ago. 2006.

AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H. Water quality after cleacutting a small watershed in West Virginia. **Journal of Enviromental Quality**, 3 (3): 243-249, 1974.

BEAR, J. **Hydraulics of Groundwater**. McGraw-Hill, 1979.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.373-9, 1989.

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

BEVEN, K. On modelling as collective intelligence. **Hydrological Processes** 15, 2205–2207, 2001.

BORTOLUZZI, E.C.; PETRY, C. **Partículas minerais: da rocha ao sedimento**. In: POLETO, Cristiano (Org.). **AMBIENTE e SEDIMENTOS**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2008. 404 p.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, 55:3-23, 1982.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3.ed. Atual. eampl. - Viçosa: UFV, 2006. 120p.

BROWN, A. E. et al. A review of paired catchment studies for determining changes in water production resulting from alterations in vegetation. **Journal of hydrology**, 310(1), 28-61. 2005.

BRUIJNZEEL, L. A. Hydrological functions of tropical forest, not seeing the soil for the trees? Environmental services and land-usechange: bridging the gap between policy and

research in Southeast Asia. **Agriculture, Ecosystems, and Environment** 104(special issue): 185-28, 2004.

CAPOANE, V. **Relações entre qualidade da água, uso da terra e zona ripária em duas pequenas bacias hidrográficas**. 2011. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 2011.

CARVALHO, K.S.; PARANHOS, R. M.; PAIVA, J.B.D. **Limitações ao uso da relação entre turbidez e concentração de sedimento em suspensão em duas pequenas bacias em Santa Maria-RS**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDRÁULICA. 2004.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM, Eletrobrás. Rio de Janeiro. 2008. 371p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Ed. Edgard BlucherLtda e EDUSP. 1974, 149 p.

COELHO NETTO, A.L. Mudanças ambientais recentes, mecanismos e variáveis - controle do voçorocamento atual na bacia do rio Bananal, SP-RJ: bases metodológicas para previsão e controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 5., 1995, Bauru. **Anais**. Bauru, ABGE-UNESP, p.377-379, 1995.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999. 131 p.

D'AGOSTINI, L.R.; MARTINI, L.C.P. Um coeficiente de regularização da vazão: quantificando a qualidade de condições de superfícies. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 5.2: 27-37, 2000.

DE PAULA, G.M. et al. Influência do fenômeno El Niño na erosividade das chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p.1315-1323, 2010.

DENARDIN, J. E. et al. **Manejo da enxurrada em sistemas de plantio direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.

DICKINSON, W.T.; RUDRA, R.P.; WALL, G.J. Targeting remedialmeasures to control non-point source pollution.**American Water Research Bulletin** 26(3):499–507, 1990.

DUNNE, T. Fields Study of hillslope flow processes. In: **Hillslope Hydrology** KIRKBY ed. John Willey e Sons, 1978. p 227-293.

EDSZWALD, J. K.; UPCHURCH, J. B.; O'MELIA, C. R. "Coagulation in Estuaries", **Environmental Science e Technology**, v. 8, n. 1, pp. 58-63, 1974.

ELMORE, W.; BESCHTA, R.L. Riparian areas: perceptions in management. **Rangelands**, 9 (6): 260-265, 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GASPARINI, L.V.L. **Análise das inter-relações de indicadores econômicos, ambientais e sociais para o desenvolvimento sustentável**. 2003. 221 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas), Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

GBUREK, W.D.; SHARPLEY, A.N. Hydrologic controls on phosphorus loss from upland agricultural watersheds. **Journal of Environmental Quality Sharpley** 27 pp. 267-277, 1998.

GREGORY, K.J.; WALLING, D.F. **Drainage Basin Form and Process – a Geomorphological Approach**. John-Wiley Sons., New York. 1973, 456p.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *Journal of Climate*, 16(2), 263-280. 2003.

GUERRA, A. J. T. **O início do Processo Erosivo**. In: *Erosão e Conservação dos Solos - Conceitos, Temas e Aplicações*. A. J. T. GUERRA; SILVA, A. S. e R.G.M. BOTELHO (orgs.). Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 15-55, 1999.

HIVELY, W.D. (2004) **Data preparation for distributed hydrological modeling of runoff production and dissolved phosphorus loading**. In Hively W.D., Phosphorus loading from a monitored dairy farm landscape. PhD Tese. Cornell University, Ithaca, NY. 2004.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University Press, 1995. 324p

JONES, A. Soil Piping and Stream Channel Initiation. **Water Resources Research**, v. 7, n. 3, 602-610, 1971.

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007.

LEPSCH, I.F., (Coord.) Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1991. 175p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Adv. Soil Sci.**, 1:277-294, 1985.

LEWIS, J. Estimation of suspended sediment flux in streams using continuous turbidity and flow data coupled with laboratory concentrations, in: **Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and Other Sediment Surrogates**. Reno, NV, Appendix 2. 2002.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. ESALQ, Piracicaba, São Paulo, 2ed. 2008.

LIMA, W.P. Relações hidrológicas em matas ciliares. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima Editora, p.301-312, 2003.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/ Fapesp, cap.3, p.33-44, 2000.

LINO, J.S. (2010) **Evolução do sistema plantio direto e a produção de sedimento no Rio Grande do Sul**. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010. 128p

LOWRANCE, R.; DABENEY, S.; SHULTZ, R. Improving soil and water quality with conservation buffers. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny. v. 57,n. 2, 36-43, 2002.

MAGETTE, W.L.et al. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. **Transactions of the ASAE**, 32 (2): 663-667, 1989.

MATZENAUERS, R. et al. Efeitos dos fenômenos climáticos sobre a evapotranspiração de referência na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.14, n.1, p.67-70, 2008.

McINTYRE, D.S. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v.85, p.185-9, 1958.

MINELLA J. P.G.; WALLING, D.E.; MERTEN, G.H. Combining traditional monitoring and sediment source tracing techniques to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. **J. Hydrol.** 348, 546 – 563. 2008a

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., CLARKE, R. T., REICHERT, J. M. Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem. **Hydrol. Proc.**, v.22(12), p.1819-1830, 2008b.

MORE, R. **Os Modelos Hidrológicos e a Geografia**. In: CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. Modelos físicos e de informação geográfica. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, p. 104-138,1975.

MORING, J.R.; GARMAN. G.C; MULLEN, D.M. **The value of riparian zones for protecting aquatic systems: general concerns and recent studies in Maine**. Riparian Ecosystem and their Management. USDA Forest Service, Gen. Tech. Report RM- 120:315-319, 1985.

PELLEGRINI, A. et al. Compactação do solo de uma pequena bacia hidrográfica do assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos-RS. In: Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, Anais... Santa Maria, 2010.

PELLEGRINI, J.B.R. **Planejamento do uso do solo em unidades de produção familiar produtoras de fumo: limites e possibilidades para a superação de conflitos agroambientais**. 2011. 128f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. 2011.

PELLEGRINI, J.B.R.; DOS SANTOS, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C.; TESSIER, D. Impacts of anthropic pressures on soil phosphorus availability, concentration, and phosphorus forms in sediments in a Southern Brazilian watershed. **Journal of Soils and Sediments** (Print), v.10, n. 3, p.393-399, 2009.

PRITCHETT, W.L. Properties and Managment of Forest Soils. John Xiley, New York, 1979, 500p.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. 2. ed. -Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Selamento superficial e infiltração de água no solos do Rio Grande do Sul. **R. bras. Ci. Solo**, Campinas, 16:289-298, 1992.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Condições físicas de solos associadas à sua qualidade e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, 27, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação In: CERRETA, C.A. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5. p.49-134, 2007.

RHEINHEIMER, D.S., et al. Situação da fertilidade do solo no Estado do rio Grande do Sul. Depto. De Solos, UFSM, Santa Maria, **Boletim Técnico 2**, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência e Ambiente**, 27:85-96, 2003.

RODRIGUES, R.R.; SHEPHERD, G.J. **Fatores condicionantes da vegetação ciliar**. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP/ Fapesp, cap.6.2, p.101- 107. 2000.

ROSE, C. W. Introduction to the environmental physics of soil, water and watersheds. 2004

SALES, L.E.O. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.11, p.2091-2095, nov. 1999.

SCHLOSSER, I.J.; KARR, J.R. Water quality in agricultural watersheds: impact of riparian vegetation during base flow. **Water Resources Bulletin**, 17 (2): 233-240, 1981.

SCHOELLHAMER, D.H. Use of optical properties to monitor turbidity and suspended-sediment concentration, in: **Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and other sediment surrogates**. Reno, NV, pp.15-16. 2002.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1775-1781, 1994.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p.32, n.2, p.213-20, 1997.

SOANE, B.D.; van OUWERKERK, C. Soil compaction problems in world agriculture. In: Soane, B.D. e van Ouwerkerk, C., eds. Soil compaction in crop production. Amsterdam, Elsevier, p.1-21,1994.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ ABRH. – 2.ed. - Porto Alegre: Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A.B. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas**. Ministério do Meio Ambiente e PNUD (Projeto PNUD 00/20). Apoio a Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Brasília-DF. 2006. 362p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY USGS. Pesticides in stream sediment and aquatic biota, 1999 (Acesso em: 02 de fevereiro de 2011) Disponível na internet: <http://ca.water.usgs.gov/pnsp/rep/fs09200/>.

VALENTIN, C.; BRESSON, L.M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.55, p.225-45, 1992.

VAN NOORDWIJK, M., et al. Erosion and sedimentation as multiscale, fractal processes: Implications for models, experiments and the real world. In F. W. T. Penning de Vries, F. Agus, e J. Kerr (Eds.), **Soil erosion at multiple scales**, New York, 223-235, 1998.

VOLK, L.B.S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1459-1471, 2009.

WALTER, M.T.et al. Hydrologically sensitive areas: variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. **Journal of Soil and Water Conservation** 55(3):277–284, 2000.

WALTER, M.T.et al. Evaluation of soluble phosphorus loading from manure applied fields under various spreading strategies. **Journal of Soil and Water Conservation** 56(4):329–335, 2001.

ZAKIA, M.J.B.; RIGHETTO, A.M.; LIMA, W.P. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.) **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RIMA, p.89-106, 2006.

ZIEGLER, A.C. Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment, in: Proceedings of the Federal Interagency Workshop on Turbidity and other sediment surrogates. Reno, NV, pp. 9-14.2002.

10 APÊNCICES

Apêndice A. Classes e agrupamento de uso do solo nas pequenas bacias hidrográficas (PBH), em valores médios e variações sazonais dos anos de 2010 e 2012, Assentamento Alvorada, Júlio de Castilhos, Rio Grande do Sul.

Uso do solo	PBH 140	PBH 80	PBH 140				PBH 80			
	Agrupamento		Inverno		Verão		Inverno		Verão	
	% anual		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Matas	12,2	2,4	14,8	10,2	14,8	10,2	1,1	1,4	1,1	1,4
Silvicultura			2,8	1,9	2,8	1,9	0,8	1,0	0,8	1,0
Áreas úmidas (banhados)	5,3	15,3	7,7	5,3	7,7	5,3	12,2	15,3	12,2	15,3
Pastagem permanente			24,3	16,8	24,3	16,8	10,7	13,4	10,7	13,4
Pastoreio hibernar			85,6	59,2	-	-	50,6	63,6	-	-
Pastagem anual de verão	76,1	77,0	-	-	3,4	2,4	-	-	1,6	2,0
Soja			-	-	69,3	48,0	-	-	42,2	53,0
Milho			-	-	12,9	8,9	-	-	6,8	8,5
Lavoura de subsistência	3,3	3,9	2,5	1,7	2,5	1,7	1,3	1,6	1,3	1,6
Área de sede			2,3	1,6	2,3	1,6	1,8	2,3	1,8	2,3
Açudes	3,1	1,4	2,7	1,9	2,7	1,9	0,3	0,4	0,3	0,4
Estradas			1,8	1,2	1,8	1,2	0,8	1,0	0,8	1,0
TOTAL	100,0	100,0	144,5	100,0	144,5	100,0	79,6	100,0	79,6	100,0

Apêndice B. Variáveis hidrológicas monitoradas e extraídas de eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 140 (PBH140), entre 2010 e 2012.

PBH 140	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
Data evento		mm		%	m ³ s ⁻¹	min	
03/01/2010	322,9	129,2	88,5	27,4	4,146	30	110
06/01/2010	24,0	10,7	1,5	6,2	0,435	50	120
08/01/2010	12,8	5,6	0,6	4,4	0,349	15	210
09/01/2010	42,1	19,1	10,7	25,4	2,959	15	130
10/01/2010	18,4	5,9	1,0	5,2	0,598	50	120
16/01/2010	42,4	10,4	4,3	10,1	1,386	50	100
18/01/2010	30,0	5,5	2,1	7,0	1,211	100	180
19/01/2010	157,9	63,6	39,1	24,8	4,284	120	130
28/01/2010	25,9	2,2	0,7	2,9	0,403	120	130
04/02/2010	22,5	1,7	0,4	1,9	0,198	30	120
06/02/2010	15,6	1,8	0,6	3,9	0,277	40	130
08/02/2010	35,4	4,0	1,7	4,8	0,806	40	130
14/02/2010	10,9	0,9	0,1	0,6	0,074	100	120
15/02/2010	47,4	10,6	4,2	8,9	1,177	50	150
21/02/2010	33,4	7,5	4,2	12,5	1,784	40	140
22/02/2010	5,9	1,3	0,2	3,4	0,123	50	130
23/02/2010	17,2	3,6	1,2	6,8	0,493	50	110
22/03/2010	54,6	2,8	1,1	2,1	0,796	35	50
20/04/2010	97,0	8,4	4,2	4,3	1,507	60	100
20/04/2010	12,8	2,1	0,5	4,0	0,291	45	125
21/04/2010	10,3	1,7	0,4	3,6	0,186	75	120
22/04/2010	11,9	1,8	0,3	2,4	0,179	70	120
25/04/2010	15,0	2,0	0,2	1,4	0,092	70	120
03/05/2010	16,2	1,5	0,3	1,6	0,069	145	260
17/05/2010	33,4	2,3	0,5	1,5	0,192	65	70
18/05/2010	25,0	6,5	1,2	4,8	0,168	65	70
24/05/2010	16,2	1,3	0,2	1,1	0,083	55	170
04/06/2010	29,6	3,4	0,7	2,5	0,145	75	205
16/06/2010	15,0	1,4	0,2	1,4	0,074	75	165
19/06/2010	36,8	6,4	2,3	6,4	0,728	50	140
25/06/2010	42,7	6,5	2,6	6,1	0,757	60	130
26/06/2010	8,4	2,0	0,2	2,2	0,210	50	90
09/07/2010	51,9	6,2	1,6	3,2	0,320	70	120
11/07/2010	71,6	28,4	13,5	18,9	1,531	35	185
17/07/2010	56,8	18,4	5,4	9,5	0,468	95	225
19/07/2010	18,2	4,0	0,6	3,0	0,305	145	240
21/07/2010	28,0	2,9	0,4	1,3	0,168	65	130
31/07/2010	20,0	2,7	0,7	3,3	0,270	65	130
12/08/2010	14,4	1,3	0,3	2,0	0,118	55	175
01/09/2010	105,9	23,1	11,8	11,2	0,737	50	125
03/09/2010	31,4	13,7	5,0	15,8	1,458	55	115
13/09/2010	32,0	14,0	7,0	22,1	1,023	55	200
13/09/2010	22,1	8,4	2,3	10,4	0,493	70	160
21/09/2010	68,1	14,2	4,4	6,4	0,320	55	165
07/10/2010	18,9	1,6	0,4	2,2	0,078	65	190
19/12/2010	28,7	0,8	0,3	0,9	0,049	65	190
20/12/2010	13,2	0,5	0,2	1,2	0,053	75	130

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

PBH 140 Data evento	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
		mm		%	m ³ s ⁻¹	min	
02/01/2011	81,4	5,4	3,2	3,9	0,767	40	80
27/03/2011	30,6	1,0	0,3	0,8	0,049	55	120
28/03/2011	13,1	0,2	0,1	0,4	0,057	50	125
14/04/2011	80,0	5,6	2,7	3,4	0,913	35	90
20/04/2011	20,3	0,7	0,1	0,6	0,045	90	130
22/04/2011	39,2	9,4	6,6	16,8	1,955	35	175
23/04/2011	20,9	4,0	0,6	3,0	0,250	50	110
30/04/2011	33,2	1,4	0,6	1,9	0,243	50	100
30/04/2011	29,3	8,5	4,0	13,7	1,292	45	90
10/05/2011	43,4	11,3	4,1	9,5	0,585	55	140
23/05/2011	13,1	0,9	0,2	1,6	0,042	65	200
07/06/2011	25,5	1,3	0,3	1,3	0,071	45	120
17/06/2011	27,0	2,2	0,6	2,3	0,124	45	180
20/06/2011	20,6	3,8	0,7	3,6	0,109	45	250
22/06/2011	18,2	2,8	0,7	3,7	0,158	60	160
13/07/2011	25,4	1,9	0,3	1,0	0,089	70	205
14/07/2011	17,0	2,6	0,5	3,1	0,130	75	165
20/07/2011	63,9	13,9	4,4	6,8	0,286	70	180
26/07/2011	8,0	1,3	0,2	2,1	0,058	65	215
27/07/2011	41,1	9,2	3,1	7,6	0,839	45	130
29/07/2011	19,1	2,6	0,7	3,9	0,225	60	125
29/07/2011	18,0	6,6	1,8	9,9	0,646	45	75
01/08/2011	16,1	1,5	0,1	0,9	0,066	100	230
08/08/2011	34,4	5,6	2,5	7,3	0,470	60	175
08/08/2011	11,3	2,8	0,3	3,0	0,219	55	205
08/08/2011	44,9	19,5	9,2	20,6	1,261	50	150
14/08/2011	18,3	3,3	0,6	3,1	0,104	65	160
18/08/2011	11,0	1,6	0,2	1,8	0,084	70	200
18/08/2011	10,4	2,2	0,5	4,8	0,181	65	195
28/08/2011	4,8	0,6	0,0	0,7	0,062	45	150
29/08/2011	30,3	6,0	2,5	8,4	0,454	60	220
05/09/2011	21,5	1,2	0,2	0,8	0,075	65	160
01/10/2011	53,4	8,6	3,9	7,3	0,467	70	215
08/10/2011	31,2	3,4	1,1	3,6	0,161	55	170
13/10/2011	15,5	0,8	0,2	1,4	0,087	75	190
24/10/2011	34,7	2,3	0,8	2,4	0,173	65	190
26/10/2011	30,2	3,2	1,1	3,8	0,290	65	140
10/11/2011	28,2	0,9	0,3	1,1	0,122	50	160
30/12/2011	13,2	0,5	0,1	1,1	0,056	45	200

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

PBH 140	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
Data evento	mm			%	m ³ s ⁻¹	min	
11/01/2012	59,1	2,0	0,8	1,4	0,487	30	50
07/02/2012	19,5	0,7	0,2	0,8	0,080	50	100
25/02/2012	57,9	1,6	0,8	1,4	0,245	35	85
05/04/2012	41,4	0,2	0,0	0,1	0,059	50	100
30/05/2012	66,2	3,6	2,0	3,0	1,042	50	80
02/06/2012	24,2	0,5	0,1	0,2	0,055	35	75
17/06/2012	26,1	2,1	0,9	3,3	0,328	30	100
06/07/2012	73,8	4,6	1,1	1,5	0,146	50	145
10/09/2012	41,5	1,6	0,3	0,6	0,107	75	110
18/09/2012	45,9	4,9	2,2	4,9	0,949	40	90
18/09/2012	39,8	7,9	1,9	4,7	0,581	55	110
01/10/2012	56,6	5,3	1,9	3,4	0,241	55	145
02/10/2012	22,1	2,7	0,9	4,1	0,336	65	105
02/10/2012	53,1	12,7	4,3	8,2	0,647	50	85
09/10/2012	54,3	6,4	1,9	3,5	0,572	45	115
15/10/2012	30,9	2,1	0,5	1,7	0,157	55	130
20/10/2012	70,2	11,3	7,6	10,8	2,240	40	130
22/10/2012	48,3	12,4	7,6	15,8	1,987	40	120
28/10/2012	14,9	0,9	0,2	1,2	0,082	50	160
19/11/2012	29,6	1,2	0,4	1,2	0,118	50	100
01/12/2012	45,3	4,5	2,0	4,5	0,474	45	120
12/12/2012	47,0	4,1	1,6	3,4	0,157	50	130
13/12/2012	25,4	3,9	1,1	4,5	0,291	60	135
18/12/2012	54,2	5,0	2,5	4,6	0,517	50	115
20/12/2012	10,7	1,1	0,2	2,0	0,092	20	115
21/12/2012	42,1	7,3	2,8	6,6	0,688	70	110
26/12/2012	23,1	2,8	1,0	4,3	0,185	50	80
27/12/2012	14,9	1,1	0,1	0,9	0,106	65	140
27/12/2012	40,2	13,0	4,0	10,0	0,371	50	230

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

Apêndice C. Variáveis hidrológicas monitoradas e extraídas de eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 80 (PBH 80), entre 30 de julho de 2010 e dezembro de 2012.

PBH 80	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
Data evento	mm			%	m ³ s ⁻¹	min	
31/07/2010	20,0	6,2	2,3	11,3	0,279	90	195
12/08/2010	14,4	2,3	0,8	5,6	0,113	100	220
01/09/2010	103,7	37,4	19,5	18,8	0,844	85	135
03/09/2010	33,8	15,9	9,2	27,3	1,316	45	110
03/09/2010	6,8	2,3	0,5	7,5	0,071	55	215
11/09/2010	10,1	1,2	0,2	2,1	0,037	80	210
13/09/2010	32,0	11,6	6,4	19,9	0,802	85	150
13/09/2010	27,6	9,3	5,3	19,1	0,411	60	160
21/09/2010	33,5	7,3	4,3	12,9	0,328	95	175
21/09/2010	15,2	5,1	1,9	12,7	0,212	80	215
22/09/2010	11,9	4,2	1,9	16,2	0,225	50	195
22/09/2010	7,5	3,1	1,0	13,5	0,214	100	180
06/10/2010	20,1	2,5	1,0	5,0	0,075	80	230
07/10/2010	5,3	0,7	0,1	1,2	0,028	80	230
14/10/2010	13,4	1,1	0,4	2,9	0,045	95	265
30/10/2010	9,2	1,0	0,5	5,0	0,028	85	250
22/11/2010	18,2	0,5	0,1	0,8	0,016		
24/11/2010	17,0	0,5	0,1	0,7	0,021		
12/12/2010	33,8	1,7	0,6	1,6	0,025		
19/12/2010	42,0	3,6	1,0	2,4	0,059		

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

PBH 80	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
Data evento	mm			%	m ³ s ⁻¹	min	
02/01/2011	20,5	4,3	1,8	2,2	0,197	130	185
08/02/2011	26,4	0,4	0,1	0,4	0,017	150	240
19/02/2011	32,6	0,9	0,3	1,0	0,123	40	80
22/02/2011	16,8	0,5	0,1	0,5	0,037	130	185
23/02/2011	26,0	2,1	0,7	2,5	0,067	185	270
27/03/2011	35,8	0,8	0,2	0,5	0,021	200	
28/03/2011	8,1	0,4	0,0	0,5	0,014	85	270
14/04/2011	80,0	8,0	4,6	5,8	0,376	50	180
20/04/2011	20,3	1,0	0,2	1,1	0,033	160	260
22/04/2011	39,2	11,6	6,4	16,3	1,268	75	160
23/04/2011	20,7	4,0	1,2	5,9	0,169	90	165
30/04/2011	62,4	14,2	8,7	13,9	0,432	55	235
10/05/2011	23,6	2,3	1,0	4,1	0,057	65	385
11/05/2011	26,7	7,8	4,2	15,6	0,486	65	180
23/05/2011	13,1	1,1	0,2	1,4	0,040	105	200
07/06/2011	25,1	3,5	1,2	4,6	0,062	105	340
17/06/2011	28,4	3,7	1,7	6,1	0,143	85	265
21/06/2011	20,4	2,2	0,4	1,9	0,087	75	205
01/07/2011	5,6	0,2	0,1	1,0	0,006	175	430
12/07/2011	7,8	0,2	0,0	0,6	0,012	110	230
14/07/2011	25,4	2,8	1,1	4,3	0,136	70	205
14/07/2011	16,8	3,6	1,2	7,0	0,194	85	190
20/07/2011	63,9	15,7	10,6	16,6	0,281	130	220
26/07/2011	8,0	0,4	0,1	0,7	0,025	80	195
27/07/2011	42,5	13,4	7,2	17,1	0,775	55	145
29/07/2011	36,9	13,6	6,5	17,5	0,555	80	135
01/08/2011	9,9	1,3	0,2	2,2	0,037	90	280
02/08/2011	6,3	1,3	0,2	3,5	0,031	215	330
07/08/2011	4,1	0,4	0,1	1,8	0,014	115	295
07/08/2011	33,9	9,0	5,3	15,6	0,390	90	195
08/08/2011	11,3	2,6	0,5	4,5	0,101	60	230
08/08/2011	44,9	21,2	15,4	34,4	1,005	75	170
14/08/2011	18,3	2,8	0,9	4,8	0,080	85	235
18/08/2011	11,0	1,3	0,3	2,8	0,038	95	305
18/08/2011	10,4	2,4	1,1	11,1	0,123	115	300
23/08/2011	11,9	1,3	0,5	3,9	0,034	105	375
28/08/2011	5,0	0,8	0,2	3,3	0,017	115	235
29/08/2011	30,3	9,3	6,4	21,1	0,466	60	250
05/09/2011	21,9	2,3	0,9	4,2	0,086	75	255
19/09/2011	26,8	0,8	0,1	0,4	0,066	75	115
01/10/2011	53,4	11,6	7,8	14,7	0,536	85	150
08/10/2011	31,2	5,5	2,9	9,4	0,203	95	195
13/10/2011	15,5	1,4	0,5	3,3	0,065	85	310
24/10/2011	34,7	3,4	1,5	4,4	0,184	110	185
25/10/2011	28,8	7,1	3,5	12,2	0,505	75	130
10/11/2011	28,2	1,5	0,3	1,2	0,062	105	230

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

PBH 80	Prec. Total ¹	E. total ²	ES ³	C ⁴	Qp ⁵	Tp ⁶	Tc ⁷
Data evento	mm			%	m ³ s ⁻¹	min	
11/01/2012	59,1	1,9	1,1	1,9	0,211	50	125
25/02/2012	57,9	1,1	0,6	1,0	0,093	45	145
30/05/2012	46,3	5,6	3,7	7,9	0,552		
17/06/2012	25,6	3,0	1,2	4,5	0,138		
05/07/2012	39,4	10,4	4,1	10,3	0,152		
10/09/2012	53,7	2,1	0,7	1,2	0,085		
17/09/2012	12,0	0,9	0,2	1,5	0,028	30	200
18/09/2012	45,9	10,6	7,0	15,2	0,909	40	170
18/09/2012	39,8	10,4	5,3	13,2	0,450	50	165
01/10/2012	56,3	5,6	3,9	6,9	0,215	90	180
02/10/2012	74,6	20,6	12,5	16,8	0,565	40	195
09/10/2012	54,5	13,4	6,8	12,4	0,666	55	140
15/10/2012	30,9	2,6	1,6	5,2	0,147	75	215
20/10/2012	70,2	13,9	11,2	16,0	2,434	40	120
22/10/2012	48,6	19,7	15,9	32,7	2,143	45	300
27/10/2012	14,9	0,7	0,2	1,5	0,039	75	175
19/11/2012	36,3	1,8	0,7	1,8	0,082	50	125
01/12/2012	45,3	5,2	2,2	4,9	0,255	55	170
12/12/2012	54,5	3,9	0,8	1,5	0,076	55	90
13/12/2012	23,6	3,3	1,0	4,2	0,130	75	160
18/12/2012	54,0	8,0	3,9	7,3	0,568	40	120
21/12/2012	42,1	8,7	3,9	9,3	0,438	75	135
26/12/2012	47,4	3,4	0,9	2,0	0,113	45	135
27/12/2012	56,5	13,8	3,0	5,4	0,218	65	200

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ escoamento total; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁵⁾ vazão de pico do evento; ⁽⁶⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽⁷⁾ tempo de concentração do evento.

Apêndice D. Variáveis hidrológicas monitorada de 2010 a 2012, agrupadas por trimestre, nas pequenas bacias hidrográficas 80 e 140.

	Ano	Meses	P total ¹	P gES ²	E	E total	ES ⁵	C ⁶	Q		Tp ⁹	Tc ¹⁰	
					total ³	ev ⁴			média ⁷	Q pico ⁸			
					mm			%	mm h-1		min		
PBH 80	2010	J*AS	337,7	316,1	53,3	105,9	53,3	13,9	0,13	1,83	77,1	180,0	
		OND	224,7	158,7	4,3	11,7	3,7	2,5	0,02	0,17	85,0	315,0	
	2011	JFM	365,1	228,6	3,3	9,4	3,2	1,1	0,03	0,31	131,4	205,0	
		AMJ	428,1	359,6	29,7	59,4	29,7	7,0	0,06	1,30	84,5	234,1	
		JAS	489,7	452,4	58,9	106,7	58,9	8,1	0,08	0,92	98,0	255,9	
		OND	264,0	191,7	16,6	30,5	16,6	7,5	0,04	1,17	92,5	200,0	
	2012	JFM	322,4	117,0	52,2	3,0	1,7	1,4	0,02	0,69	47,5	135,0	
		AMJ	219,6	72,0	60,0	8,6	4,8	6,2	0,03	1,56	52,7	154,6	
		JAS	297,8	190,8	105,9	34,9	17,4	8,4	0,05	1,47	40,0	178,3	
		OND	874,2	709,5	281,1	124,7	68,6	8,5	0,13	2,44	58,7	164,0	
	PBH 140	2010	JFM	975,9	919,3	598,4	298,4	168,9	9,2	0,22	3,34	54,7	128,3
			AMJ	442,9	370,4	202,0	49,3	14,4	3,2	0,09	0,83	68,6	134,6
JAS			580,6	525,3	341,9	143,0	55,2	9,1	0,15	1,50	67,9	164,2	
OND			213,3	60,8	81,7	3,0	0,9	1,5	0,04	0,15	68,3	170,0	
2011		JFM	363,7	125,2	49,9	6,9	3,6	1,8	0,02	0,72	48,3	108,3	
		AMJ	428,2	370,2	156,4	54,0	22,3	5,3	0,07	1,20	51,7	145,4	
		JAS	489,6	395,0	258,0	85,7	28,4	5,3	0,12	0,77	62,6	172,9	
		OND	264,0	206,3	168,7	20,5	8,0	3,1	0,08	0,48	60,7	180,7	
2012		JFM	312,0	136,5	96,1	4,4	1,8	1,2	0,04	0,67	38,3	78,3	
		AMJ	227,5	157,9	73,5	6,7	3,1	1,7	0,03	0,92	41,3	88,8	
		JAS	325,2	201,0	128,0	20,7	5,6	3,0	0,06	1,11	55,0	113,8	
		OND	836,2	682,6	269,3	101,9	42,5	5,3	0,12	1,28	50,6	125,8	

⁽¹⁾ precipitação total; ⁽²⁾ precipitação que gerou escoamento superficial; ⁽³⁾ escoamento total; ⁽⁴⁾ escoamento total de evento; ⁽⁵⁾ escoamento superficial; ⁽⁶⁾ coeficiente de escoamento; ⁽⁷⁾ vazão média nos eventos; ⁽⁸⁾ vazão de pico do hidrograma; ⁽⁹⁾ tempo de pico do hidrograma; ⁽¹⁰⁾ tempo de concentração.

Apêndice E. Agrupamento das variáveis hidrológicas monitoradas e estimadas de agosto de 2010 a dezembro de 2012, nas pequenas bacias hidrográficas (PBHs) 80 e 140.

Variáveis Hidrológicas	PBH 80			PBH 140		
	mm	%	mm/dia	mm	%	mm/dia
	2010/II					
Precipitação	562,4	100,0	3,7	577,3	100,0	3,7
Esc. Total ¹	239,6	42,6	1,6	294,4	51,0	1,9
Esc. Base ²	181,8	32,3	1,2	262,1	45,4	1,7
Esc. Sup ³ .	57,8	10,3	0,4	32,3	5,6	0,2
DV ⁴	322,7	57,4	2,1	283,0	49,0	1,8
	2011					
Precipitação	1469,7	100,0	4,0	1543,8	100,0	4,2
Esc. Total ¹	427,0	29,1	1,2	631,4	40,9	1,7
Esc. Base ²	318,3	21,7	0,9	571,6	37,0	1,6
Esc. Sup ³ .	108,7	7,4	0,3	59,8	3,9	0,2
DV ⁴	1042,7	70,9	2,9	912,4	59,1	2,5
	2012					
Precipitação	1768,0	100,0	4,8	1699,8	100,0	4,7
Esc. Total ¹	500,4	28,3	1,4	563,8	33,2	1,5
Esc. Base ²	408,0	23,1	1,1	512,7	30,2	1,4
Esc. Sup ³ .	92,5	5,2	0,3	51,0	3,0	0,1
DV ⁴	1267,6	71,7	3,5	1136,0	66,8	3,1

⁽¹⁾ escoamento total; ⁽²⁾ escoamento de base; ⁽³⁾ escoamento superficial; ⁽⁴⁾ demais variáveis = evapotranspiração + infiltração profunda + armazenamento.

Apêndice F. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas em eventos ocorridos na pequena bacia hidrográfica 140 (PBH140), entre 2010 e 2012.

PBH 140	I max 1 h ¹	CSS max ²	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵	PSS média ⁶	PS total (PSA+PSSm) ⁷
Data	mm h ⁻¹	mg L ⁻¹			kg evento ⁻¹		
03/01/2010	40,6	823,9	43563,8	70990,2	339674,7	205332,4	70990,2
06/01/2010	11,2	429,4	230,9	1675,4	4492,8	3084,1	3315,0
08/01/2010	11,9	662,1	55,8	1278,6	1158,5	1218,6	1274,4
09/01/2010	29,3	1360,1	4954,3	12809,9	41846,6	27328,2	32282,5
10/01/2010	12,8	523,8	116,4	1449,3	1923,1	1686,2	1802,6
16/01/2010	19,0	823,9	760,3	5268,1	9071,7	7169,9	7930,2
18/01/2010	19,3	1430,9	288,9	3367,2	3727,3	3547,2	3836,1
19/01/2010	44,9	1022,9	30757,8	44329,1	222972,9	133651,0	44329,1
28/01/2010	25,0	1194,9	28,9	1875,5	570,5	1223,0	1252,0
04/02/2010	16,2	835,5	7,6	516,1	205,6	360,8	368,5
06/02/2010	15,6	535,5	14,7	616,6	334,4	475,5	490,1
08/02/2010	22,8	705,9	139,1	1896,3	2074,2	1985,2	2124,3
14/02/2010	7,2	40,8	1,1	28,6	41,9	35,3	36,4
15/02/2010	20,0	770,0	498,2	5087,8	6598,2	5843,0	6341,2
21/02/2010	27,5	1026,3	794,9	5123,7	8641,5	6882,6	7677,5
22/02/2010	5,9	303,2	4,3	374,3	135,1	254,7	259,0
23/02/2010	11,5	544,1	59,5	1308,8	1088,2	1198,5	1258,0
22/03/2010	39,2	1505,1	87,4	2283,8	1310,3	1797,1	1884,5
20/04/2010	54,3	1144,3	834,7	6836,8	9228,4	8032,6	8867,3
20/04/2010	12,8	439,5	16,5	619,2	376,6	497,9	514,4
21/04/2010	6,2	257,4	10,0	384,9	263,9	324,4	334,4
22/04/2010	9,7	932,9	8,4	1241,9	228,4	735,1	743,5
25/04/2010	4,4	631,7	3,7	391,4	126,3	258,8	262,5
03/05/2010	7,3	807,1	2,0	281,6	80,2	180,9	182,9
17/05/2010	10,3	517,1	8,5	480,3	233,1	356,7	365,2
18/05/2010	4,1	190,0	31,6	878,4	863,1	870,8	902,3
24/05/2010	4,7	513,7	2,2	265,4	83,6	174,5	176,7
04/06/2010	7,8	911,6	7,8	801,4	256,0	528,7	536,5
16/06/2010	5,3	500,2	1,3	229,7	50,7	140,2	141,4
19/06/2010	15,3	1443,1	138,6	5248,0	2291,3	3769,6	3908,2
25/06/2010	10,6	894,8	185,6	3956,9	2916,5	3436,7	3622,3
26/06/2010	5,6	291,2	11,0	390,7	276,2	333,4	344,5
09/07/2010	10,1	481,2	40,6	1530,3	959,2	1244,7	1285,3
11/07/2010	14,8	1416,5	1878,9	12955,0	23057,8	18006,4	19885,3
17/07/2010	5,6	527,2	258,3	4858,0	5266,9	5062,5	5320,8
19/07/2010	5,0	284,4	36,5	679,9	796,4	738,2	774,7
21/07/2010	7,8	196,7	10,5	282,5	289,0	285,7	296,3
31/07/2010	8,4	415,9	17,8	577,0	417,0	497,0	514,7
12/08/2010	7,2	156,3	3,0	117,2	99,9	108,5	111,5
01/09/2010	18,9	1626,5	530,0	11603,5	9630,7	10617,1	11147,2
03/09/2010	14,6	1557,0	1012,2	13663,4	11965,6	12814,5	13826,7
13/09/2010	11,7	1597,6	691,7	9444,0	9334,2	9389,1	10080,8
13/09/2010	5,4	722,8	159,3	3568,9	2914,2	3241,5	3400,9
21/09/2010	13,5	743,0	116,5	4779,5	2843,8	3811,7	3928,2
07/10/2010	6,0	89,4	2,7	110,5	103,5	107,0	109,7
19/12/2010	9,3	254,1	0,6	111,2	27,9	69,6	70,1
20/12/2010	9,2	358,4	0,5	48,8	23,0	35,9	36,4

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

PBH 140 Data	I max 1 h ¹ mm h ⁻¹	CSS max ² mg L ⁻¹	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵ kg evento ⁻¹	PSS	PS total
						média ⁶	(PSA+PSSm) ⁷
02/01/2011	42,1	1362,6	164,5	4080,2	2635,5	3357,9	3522,4
27/03/2011	11,7	284,2	0,7	172,1	31,0	101,6	102,2
28/03/2011	3,9	80,7	0,2	9,2	8,9	9,0	9,3
14/04/2011	26,3	1822,3	218,6	4894,4	3174,3	4034,3	4252,9
20/04/2011	7,2	198,1	0,4	74,3	19,8	47,1	47,5
22/04/2011	23,7	1604,2	1378,7	13121,0	13991,5	13556,3	14935,0
23/04/2011	5,6	1255,2	33,3	3945,5	787,0	2366,3	2399,6
30/04/2011	19,7	631,0	9,9	734,4	245,9	490,2	500,1
30/04/2011	10,7	1144,5	442,2	4801,2	5847,0	5324,1	5766,3
10/05/2011	12,2	1768,6	203,2	4954,2	3526,6	4240,4	4443,6
23/05/2011	4,2	111,5	0,6	48,8	29,2	39,0	39,6
07/06/2011	4,2	144,1	1,5	138,2	61,1	99,7	101,1
17/06/2011	4,4	557,2	4,8	581,9	159,2	370,5	375,4
20/06/2011	5,6	631,0	4,9	711,6	181,6	446,6	451,4
22/06/2011	3,8	651,2	8,3	927,4	243,7	585,6	593,8
13/07/2011	10,1	394,2	2,1	260,4	80,2	170,3	172,4
14/07/2011	8,1	649,8	6,1	732,3	198,4	465,4	471,5
20/07/2011	4,1	543,8	109,2	4050,4	2482,9	3266,6	3375,8
26/07/2011	3,3	12,1	1,1	12,2	45,3	28,7	29,8
27/07/2011	10,4	1476,7	234,0	6632,1	3657,5	5144,8	5378,8
29/07/2011	5,3	674,6	24,9	1358,9	610,1	984,5	1009,3
29/07/2011	9,2	1251,8	162,5	4020,6	2663,2	3341,9	3504,4
01/08/2011	1,4	131,0	2,2	144,1	86,7	115,4	117,6
08/08/2011	7,4	872,6	93,9	2957,2	1782,9	2370,1	2464,0
08/08/2011	7,1	1433,1	16,8	1724,6	410,4	1067,5	1084,3
08/08/2011	11,4	1258,6	1216,7	12309,7	15412,4	13861,1	15077,7
14/08/2011	3,8	394,2	6,0	567,7	209,2	388,5	394,5
18/08/2011	3,0	449,1	1,9	261,5	71,3	166,4	168,3
18/08/2011	4,2	641,1	8,5	869,0	234,9	552,0	560,5
28/08/2011	3,9	12,1	0,5	5,5	21,8	13,6	14,1
29/08/2011	12,2	815,6	86,4	3379,6	1664,7	2522,2	2608,6
05/09/2011	8,3	345,8	1,7	151,3	63,8	107,6	109,3
01/10/2011	6,0	573,6	120,9	2563,0	2343,9	2453,4	2574,3
08/10/2011	9,2	459,5	12,4	771,4	356,5	563,9	576,3
13/10/2011	6,8	541,9	1,9	267,8	68,6	168,2	170,1
24/10/2011	7,2	369,9	7,6	86,0	221,8	153,9	161,5
26/10/2011	7,7	64,5	25,2	126,4	578,3	352,3	377,5
10/11/2011	10,2	174,0	3,0	109,7	98,3	104,0	107,0
30/12/2011	12,9	43,8	0,5	6,4	24,5	15,5	16,0

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

PBH 140	I max 1 h ¹	CSS max ²	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵	PSS média ⁶	PS total (PSA+PSSm) ⁷
Data	mm h ⁻¹	mg L ⁻¹			kg evento ⁻¹		
11/01/2012	36,5	611,5	32,1	810,3	606,1	708,2	740,3
07/02/2012	12,3	115,5	0,9	34,8	33,7	34,2	35,1
25/02/2012	26,1	456,4	11,3	413,1	281,2	347,2	358,5
05/04/2012	21,0	53,6	0,4	17,0	19,3	18,2	18,6
30/05/2012	34,7	139,4	167,4	345,0	2295,1	1320,0	1487,4
02/06/2012	6,2	13,2	0,5	0,0	19,4	9,7	10,1
17/06/2012	6,9	510,3	16,4	768,9	382,6	575,8	592,2
06/07/2012	4,7	287,8	16,2	715,2	482,2	598,7	614,9
10/09/2012	5,5	143,4	3,4	124,5	111,7	118,1	121,5
18/09/2012	17,0	797,6	181,9	2595,4	2648,1	2621,8	2803,7
18/09/2012	8,1	456,4	142,6	2550,8	2472,4	2511,6	2654,2
01/10/2012	12,2	129,6	35,1	385,9	853,9	619,9	655,0
02/10/2012	5,7	277,7	29,2	470,6	626,8	548,7	577,9
02/10/2012	9,2	931,8	359,9	2193,5	5749,4	3971,5	4331,4
09/10/2012	8,1	510,7	108,8	1843,0	1928,4	1885,7	1994,5
15/10/2012	5,7	91,0	7,1	86,6	207,9	147,3	154,4
20/10/2012	31,7	1411,6	2078,3	7310,7	19709,0	13509,9	15588,2
22/10/2012	21,8	673,9	1771,5	5268,4	18042,5	11655,4	13426,9
28/10/2012	3,9	55,1	1,6	41,7	59,5	50,6	52,2
19/11/2012	8,1	270,9	3,2	190,5	105,4	148,0	151,1
01/12/2012	13,8	1134,2	70,0	2207,3	1347,9	1777,6	1847,6
12/12/2012	12,2	203,5	17,2	505,4	503,2	504,3	521,5
13/12/2012	4,2	1490,6	30,4	2545,6	696,5	1621,1	1651,5
18/12/2012	34,4	763,2	73,7	1777,3	1431,7	1604,5	1678,2
20/12/2012	10,2	51,7	1,7	24,0	62,0	43,0	44,8
21/12/2012	8,4	331,6	180,9	1657,6	2927,7	2292,6	2473,5
26/12/2012	23,7	160,0	1,4	50,3	45,9	48,1	49,5
27/12/2012	3,3	24,8	2,5	0,0	82,4	41,2	43,7
27/12/2012	4,8	122,6	152,2	861,5	3155,9	2008,7	2161,0

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

Apêndice G. Variáveis hidrológicas e sedimentológicas monitoradas na pequena bacia hidrográfica 80 (PBH 80), entre 30 de julho de 2010 e dezembro de 2012.

PBH 80	I max 1 h ¹	CSS max ²	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵	PSS média ⁶	PS total (PSA+PSSm) ⁷
Data	mm h ⁻¹	mg L ⁻¹			kg evento ⁻¹		
31/07/2010	5,1	178,8	2,9	413,3	233,8	323,6	326,4
12/08/2010	5,6	115,9	0,4	96,6	40,3	68,5	68,8
01/09/2010	14,7	531,7	55,4	4634,6	3494,2	4064,4	4119,8
03/09/2010	9,2	273,2	70,8	2082,5	3373,3	2727,9	2798,7
03/09/2010	2,6	56,5	0,3	79,9	36,0	57,9	58,2
11/09/2010	2,1	60,0	0,1	37,2	9,1	23,1	23,2
13/09/2010	9,2	301,1	22,6	1703,6	1342,7	1523,1	1545,8
13/09/2010	2,9	108,9	10,4	623,9	726,5	675,2	685,6
21/09/2010	10,8	192,8	6,2	699,0	470,5	584,7	590,9
21/09/2010	2,7	126,4	2,5	320,0	220,8	270,4	272,9
22/09/2010	5,1	101,9	2,0	288,0	178,5	233,2	235,3
22/09/2010	4,1	105,4	1,5	171,8	127,2	149,5	151,0
06/10/2010	3,8	95,0	0,3	98,2	31,1	64,7	64,9
07/10/2010	3,0	60,0	0,0	19,4	3,2	11,3	11,3
14/10/2010	2,6	175,3	0,1	54,1	9,1	31,6	31,7
30/10/2010	6,5	297,6	0,0	76,8	5,3	41,1	41,1
22/11/2010	4,8	91,5	0,0	20,6	1,9	11,2	11,2
24/11/2010	6,8	98,4	0,0	9,9	1,1	5,5	5,5
12/12/2010	2,6	112,4	0,0	83,1	8,2	45,6	45,7
19/12/2010	7,7	122,9	0,2	120,4	22,9	71,6	71,8

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

PBH 80 Data	I max 1 h ¹ mm h ⁻¹	CSS max ² mg L ⁻¹	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵ kg evento ⁻¹	PSS	PS total
						média ⁶	(PSA+PSSm) ⁷
02/01/2011	54,6	399,0	1,3	427,1	120,2	273,7	275,0
08/02/2011	10,5	98,4	0,0	13,4	1,3	7,3	7,3
19/02/2011	32,4	342,4	0,1	86,4	15,1	50,7	50,9
22/02/2011	14,9	612,1	0,0	90,0	2,2	46,1	46,1
23/02/2011	11,1	783,3	0,1	141,5	18,8	80,2	80,3
27/03/2011	13,4	67,0	0,0	21,5	2,8	12,1	12,2
28/03/2011	4,2	60,0	0,0	7,3	1,2	4,2	4,2
14/04/2011	37,5	489,8	6,9	807,4	503,3	655,4	662,3
20/04/2011	10,4	63,5	0,0	29,0	5,0	17,0	17,0
22/04/2011	25,7	364,0	44,1	1873,5	2167,7	2020,6	2064,7
23/04/2011	8,3	95,0	1,5	215,9	141,1	178,5	180,0
30/04/2011	27,0	122,9	12,9	703,1	924,5	813,8	826,7
10/05/2011	3,6	53,0	0,2	74,4	28,3	51,3	51,6
11/05/2011	17,4	161,3	9,7	644,5	637,6	641,0	650,7
23/05/2011	7,5	56,5	0,0	23,9	5,9	14,9	15,0
07/06/2011	6,2	91,5	0,3	79,0	38,9	59,0	59,3
17/06/2011	7,7	122,9	1,0	201,2	96,9	149,1	150,1
21/06/2011	6,6	67,0	0,3	62,9	33,6	48,3	48,6
01/07/2011	2,3	42,5	0,0	3,0	0,3	1,6	1,6
12/07/2011	4,8	49,5	0,0	4,0	0,4	2,2	2,2
14/07/2011	12,5	157,9	0,6	166,4	59,5	113,0	113,6
14/07/2011	11,7	105,4	1,1	163,3	101,2	132,3	133,4
20/07/2011	6,8	129,9	10,6	899,1	836,5	867,8	878,4
26/07/2011	4,7	39,0	0,0	3,5	2,0	2,7	2,8
27/07/2011	14,3	287,1	25,2	1477,3	1476,0	1476,7	1501,9
29/07/2011	11,6	161,3	15,0	867,8	1000,0	933,9	949,0
01/08/2011	2,3	35,5	0,1	24,4	9,7	17,0	17,1
02/08/2011	1,7	35,5	0,1	11,9	9,0	10,5	10,5
07/08/2011	2,9	42,5	0,0	5,8	1,0	3,4	3,4
07/08/2011	12,8	154,4	9,3	645,2	649,2	647,2	656,5
08/08/2011	7,1	91,5	0,4	26,7	40,4	33,5	33,9
08/08/2011	13,2	231,2	59,5	1946,2	3242,9	2594,6	2654,0
14/08/2011	5,4	63,5	0,3	46,7	35,1	40,9	41,2
18/08/2011	4,5	32,1	0,1	16,5	8,0	12,2	12,3
18/08/2011	6,5	70,5	0,5	98,8	52,3	75,6	76,1
23/08/2011	2,3	42,5	0,1	21,5	10,2	15,8	15,9
28/08/2011	3,9	46,0	0,0	7,9	2,5	5,2	5,2
29/08/2011	12,8	210,3	10,7	847,9	726,2	787,1	797,8
05/09/2011	11,0	126,4	0,3	86,1	33,4	59,7	60,0
19/09/2011	14,1	235,9	0,0	50,7	6,0	28,3	28,4
01/10/2011	11,6	222,3	17,9	951,8	1137,2	1044,5	1062,4
08/10/2011	11,7	18,1	2,2	37,2	190,9	114,0	116,2
13/10/2011	8,7	11,1	0,1	6,8	17,9	12,3	12,5
24/10/2011	12,6	165,7	1,1	149,1	101,0	125,0	126,2
25/10/2011	12,2	193,7	7,7	410,0	514,3	462,2	469,9
10/11/2011	13,1	161,3	0,1	37,0	13,9	25,4	25,5

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

PBH 80	I max 1 h ¹	CSS max ²	PSA ³	PS turb. ⁴	PS Q ⁵	PSS média ⁶	PS total (PSA+PSSm) ⁷
Data	mm h ⁻¹	mg L ⁻¹			kg evento ⁻¹		
11/01/2012	49,1	95,0	0,6	54,4	54,0	54,2	54,8
25/02/2012	41,4	84,5	0,2	29,3	17,9	23,6	23,8
30/05/2012	6,3	259,2	6,4	394,7	432,8	413,7	420,2
17/06/2012	2,0	60,0	0,4	55,2	48,2	51,7	52,2
05/07/2012	1,7	21,6	2,0	52,9	210,7	131,8	133,8
10/09/2012	11,9	32,1	0,2	18,7	29,3	24,0	24,3
17/09/2012	9,0	63,5	0,0	16,7	3,7	10,2	10,2
18/09/2012	21,0	227,7	24,1	868,1	1340,0	1104,0	1128,2
18/09/2012	10,8	88,0	10,8	355,0	741,6	548,3	559,1
01/10/2012	14,7	81,0	2,7	235,6	238,1	236,9	239,6
02/10/2012	11,1	91,5	29,1	861,0	1868,2	1364,6	1393,7
09/10/2012	12,0	74,0	19,9	414,3	1209,6	811,9	831,8
15/10/2012	11,4	29,6	0,7	47,2	68,7	57,9	58,6
20/10/2012	56,4	140,4	143,0		5541,4	2770,7	2913,7
22/10/2012	33,5	333,4	155,1	2856,3	6405,3	4630,8	4785,9
27/10/2012	6,5	15,7	0,0	5,7	5,4	5,5	5,6
19/11/2012	11,4	35,5	0,2	20,0	19,0	19,5	19,7
01/12/2012	14,9	67,0	2,2	95,0	184,7	139,9	142,0
12/12/2012	18,9	53,0	0,4	49,6	43,5	46,5	46,9
13/12/2012	7,7	39,0	0,6	45,7	62,9	54,3	54,9
18/12/2012	36,9	95,0	9,4	197,3	610,9	404,1	413,5
21/12/2012	15,6	90,0	7,7	0,0	531,2	265,6	273,3
26/12/2012	23,9	56,5	0,5	59,9	56,1	58,0	58,5
27/12/2012	7,7	39,0	4,7	129,1	405,5	267,3	271,9

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria; ⁽⁵⁾ produção de sedimento por curva chave de vazão; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão média dos dois métodos; ⁽⁷⁾ produção de sedimento total;

Apêndice H. Variáveis sedimentológicas monitorada de 2010 a 2012, agrupadas por trimestre, nas pequenas bacias hidrográficas 80 e 140.

Ano	Meses	I max	CSS	PSS	PSS	PSS	PSS Q ⁶	PSA ⁷	PS total ⁸		
		1h ¹ mm h ⁻¹	max ² mg L ⁻¹	eev ³	ev ⁴	total ⁵				Mg km ⁻²	
PBH 80	2010	J ⁹ AS	6,2	179,4	2,5	15,7	18,2	14,0	0,2	18,4	
		OND	4,7	131,6	1,3	0,8	2,0	0,2	0,0	2,0	
	2011	JFM	20,1	337,5	1,5	1,3	2,8	0,3	0,0	2,8	
		AMJ	14,3	153,4	2,2	6,6	8,8	6,4	0,1	8,9	
		JAS	7,7	108,7	1,7	10,3	12,1	11,1	0,2	12,2	
		OND	11,6	128,7	0,2	2,2	2,9	2,7	0,0	3,0	
	2012	JFM	45,2	89,7	0,5	0,1	0,7	0,2	0,0	0,7	
		AMJ	4,1	159,6	0,5	0,7	1,2	0,7	0,0	1,2	
		JAS	9,7	86,6	0,7	1,8	2,5	3,4	0,0	2,5	
		OND	18,8	76,7	1,7	7,4	9,1	23,7	0,5	9,6	
	PBH 140	2010	JFM	21,1	807,7	13,0	125,6	138,5	490,2	58,8	197,3
			AMJ	11,3	676,8	3,2	19,7	22,9	19,3	1,1	24,0
JAS			10,2	810,4	4,1	49,3	53,4	62,5	3,8	57,2	
OND			8,2	234,0	1,3	0,2	1,5	1,5	0,0	1,5	
2011		JFM	19,2	575,8	0,6	3,3	3,8	2,5	0,1	4,0	
		AMJ	10,6	876,6	1,2	27,5	28,7	24,3	1,7	30,5	
		JAS	6,6	668,0	2,1	32,1	34,2	31,3	1,7	35,9	
		OND	8,6	318,2	1,8	2,8	4,6	7,1	0,2	4,8	
2012		JFM	25,0	394,5	1,3	1,1	2,3	2,2	0,1	2,4	
		AMJ	17,2	179,1	0,9	1,0	1,9	2,9	0,1	2,0	
		JAS	10,5	421,3	1,5	5,5	6,9	8,0	0,4	7,3	
		OND	12,3	479,7	2,7	21,7	24,4	51,8	3,8	28,1	

⁽¹⁾ Intensidade máxima do evento em uma hora; ⁽²⁾ concentração máxima do sedimento em suspensão; ⁽³⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria entre eventos; ⁽⁴⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria durante eventos; ⁽⁵⁾ produção de sedimento em suspensão por turbidimetria total; ⁽⁶⁾ produção de sedimento em suspensão por curva chave de vazão; ⁽⁷⁾ produção de sedimento por arraste de fundo; ⁽⁸⁾ produção de sedimento total (PSStotal + PSA).