



MONITORAMENTO DO IMPACTO DA AGRICULTURA CONSERVACIONISTA NO COMPORTAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO EM DUAS GRANDES BACIAS RURAIS

Elizeu Jonas Didoné¹; Jean Paolo Gomes Minella²; Leandro Dalbianco³; Luís Michel Goularte Bergoli⁴; Ana Lúcia Londero⁴; Rafael Ramon⁵ & Tiago Canale⁵

RESUMO --- A erosão hídrica é o principal processo de degradação dos solos no Brasil. No entanto, os estudos sobre a erosão na escala de bacia hidrográfica ainda são incipientes, principalmente na quantificação dos efeitos de sistemas conservacionistas pelo uso atual, frente as mudanças climáticas e seu reflexo nas descarga líquido-sólida dos rios. O objetivo desse trabalho foi quantificar o impacto do sistema atual de produção de grãos nas descargas líquida e sólida de sedimentos por meio do monitoramento hidrossedimentométrico. Para isso foram monitorados os fluxos de água e sedimentos no exutório de duas bacias agrícolas que adotam alguma prática de conservação de solo, e que se distinguem quanto ao uso, relevo e tipos de solo. Os resultados indicam que as magnitudes da produção de sedimento e do coeficiente de escoamento são elevadas, considerando as áreas das bacias (800 e 2000 km²) e o sistema de conservação do solo atual. Também se observa que os problemas agrícolas e ambientais associados à erosão estão ativos e atuantes. Nota-se a fragilidade do sistema conservacionista tal como é praticado, visto a reduzida capacidade de controle da erosão.

ABSTRACT --- The water erosion is the main process of land degradation soil in Brazil. However, studies of erosion in the watershed scale are still incipient, particularly in the quantification of the effects of conservation tillage systems for actual use forward climate change and its reflection in the liquid-solid discharge of rivers. The aim of this study was to use data from the gauge monitoring two watersheds of different uses, soils and relief, to quantify the impact of the current system of grain production in liquid and solid discharge. For that flows of water and sediment in two agricultural watersheds exutório adopting some practice soil conservation was monitored. The results indicate that the magnitude of the discharge and the sediment yield is high considering scales (800 and 2000 km²) for the current system conditions. The use of monitoring showed efficient considered the particularities of each scale and use. The results indicate that problems associated agricultural and environmental with are active and functioning the erosion. Note that the fragility of the current conservation system, and a reduced ability to control erosion.

Palavras-chave: monitoramento, bacias hidrográficas, descarga sólida e líquida.

¹ Estudante de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da UFSM, E-mail: didoneagroufsm@gmail.com

² Professor de e Conservação do Solo do Departamento de Solos da UFSM, E-mail: jminella@gmail.com.

³ Doutor em Ciência do Solo pelo Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da UFSM, E-Mail: agro.dalbianco@gmail.com

⁴ Estudante (s) de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da UFSM, E-mail: luisbergoli@yahoo.com.br; londeroanalucia@gmail.com

⁵ Estudante (s) de graduação do curso de Agronomia da UFSM, E-mail: rafaramon11@gmail.com; tiagocanale94@gmail.com

INTRODUÇÃO

A perda de solo, nutrientes, agrotóxicos e água em áreas agrícolas é o resultado de um dos principais agentes de degradação do solo, a erosão hídrica. O transporte fluvial de sedimentos em suspensão gera inúmeros impactos nos recursos hídricos entre os quais, inclui o transporte de contaminantes, redução da qualidade da água, sedimentação de reservatórios, assoreamento de canais, perda de solo por erosão, bem como impactos ecológicos (Horowitz et al., 2001; Wang et al., 2009; Walling et al. 2011).

A erosão do solo é um importante fator de degradação de terras agrícolas em todo o mundo e, no Brasil, é considerado como o principal. O impacto econômico da erosão causado no país é na ordem de 4 bilhões de dólares por ano gerado pela perda de aproximadamente 847 milhões de toneladas de solo (Merten et al., 2010). Essas perdas econômicas e ambientais são causadas basicamente pela negligência aos preceitos do conceito de uso e aptidão das terras e pela ausência de um programa nacional de conservação do solo (Merten et al., 2013).

No Brasil há vários estudos na escala de parcelas, entretanto poucos documentam a eficácia da agricultura conservacionista sobre os processos hidrológicos e erosivos na escala de bacia hidrográfica, especialmente em regiões com cultivos de grãos. Isso se deve a complexidade de descrever a erosão na escala de bacia, havendo poucas informações quantitativas do impacto da agricultura sobre os recursos hídricos. O que justifica a necessidade de programas de monitoramento na escala de pequenas e médias bacias agrícolas, que quantifiquem como a ausência de medidas de controle do escoamento superficial afeta as perdas de água e sedimentos. Isso possibilita maior segurança na quantificação real dos problemas de degradação dos solos e dos recursos hídricos, bem como propor medidas de conservação de solo e água para atender as atuais demandas ambientais, sociais e econômicas.

Na hipótese de que o sistema agrícola atual tem significativo impacto na erosão e na descarga líquida e sólida, é necessário descrever a dinâmica espacial e temporal dos fluxos de sedimento e água na escala de bacia. Assim, o propósito desse estudo foi utilizar dados de monitoramento hidrossedimentométrico para quantificar os impactos do atual sistema de produção de grãos no comportamento hidrossedimentológico de duas grandes bacias hidrográficas no sul do Brasil.

MÉTODOS E MATERIAIS

Área de estudo

A escolha das bacias hidrográficas foi orientada pela necessidade de caracterizar a magnitude dos processos erosivos e hidrológicos em condições distintas e representativas de uso, solo e relevo, e que tivesse proporção considerável de ações de conservação do solo. Para tanto, foram selecionadas duas bacias hidrográficas no Rio Grande do Sul para que os resultados refletissem uma condição regional e não local e específica dos processos. A primeira bacia localiza-se no planalto e é caracterizada por solos profundos e argilosos, relevo suave ondulado e com mais de 80% da área sob cultivo de soja em sistema plantio direto. A segunda bacia localiza-se na encosta do planalto e é caracterizada por relevo declivoso e alta fragilidade ambiental com elevada heterogeneidade de uso e tipo de solo.

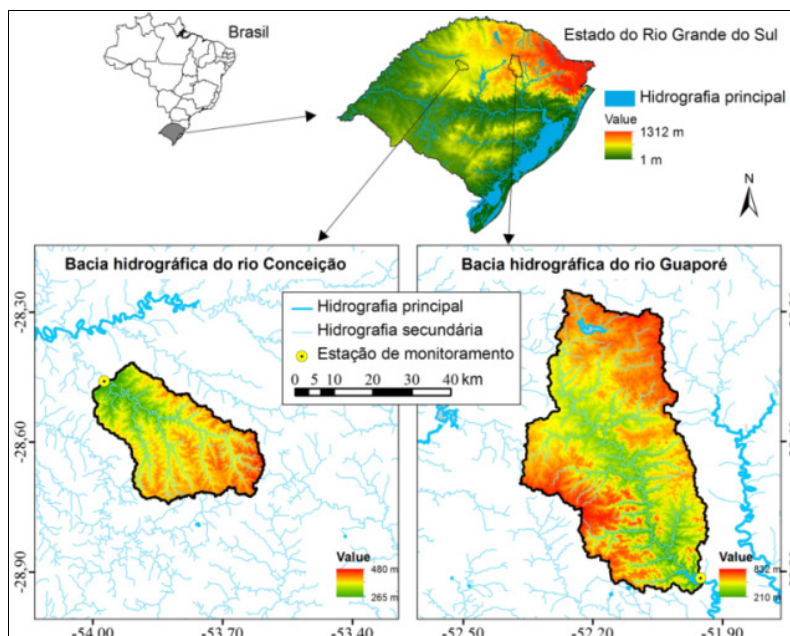


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação das áreas de estudo.

Bacia hidrográfica do Rio Conceição

A bacia hidrográfica do Rio Conceição está situada a noroeste do estado do Rio Grande do Sul, com área de drenagem de 800 km², e a seção de monitoramento está situada nas coordenadas 28°27'22"S e 53°58'24"O. Segundo Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido e sem estação seca, com precipitação média anual da região é de 1.750 a 2.000 mm, com temperatura média de 17 °C. O material de origem é o basalto com a formação de solos altamente intemperizados e profundos. As classes de solos encontradas na bacia do Rio Conceição são os

Latossolos, Argissolos e Nitossolos sendo os Latossolos a classe de maior expressividade na bacia. Os solos são ricos em óxidos de ferro e caulinita. O relevo da região é caracterizado por declividade suave (6-9%) no topo e meia encosta e maior declividade (10-14%) próxima aos canais de drenagem. As encostas apresentam longo comprimento e distintas formas.

A ocupação do solo na bacia do Rio Conceição é principalmente pela atividade agrícola, sendo baseada na produção de grãos de soja (*Glycine max*) no verão e trigo (*Triticum spp.*), aveia (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) no inverno, sendo as duas últimas culturas usadas para a formação de palha para a cobertura morta do solo no verão, mas também para a produção de pastagem de inverno para o produção de leite. O manejo do solo para a produção de grãos é baseada no sistema de plantio direto (SPD), entretanto sem medidas de controle do escoamento superficial (terraços, cultivos em faixa, cordões vegetados ou plantio em nível). Os outros usos representam menos de 15% da área e envolvem florestas, áreas úmidas e áreas urbanas.

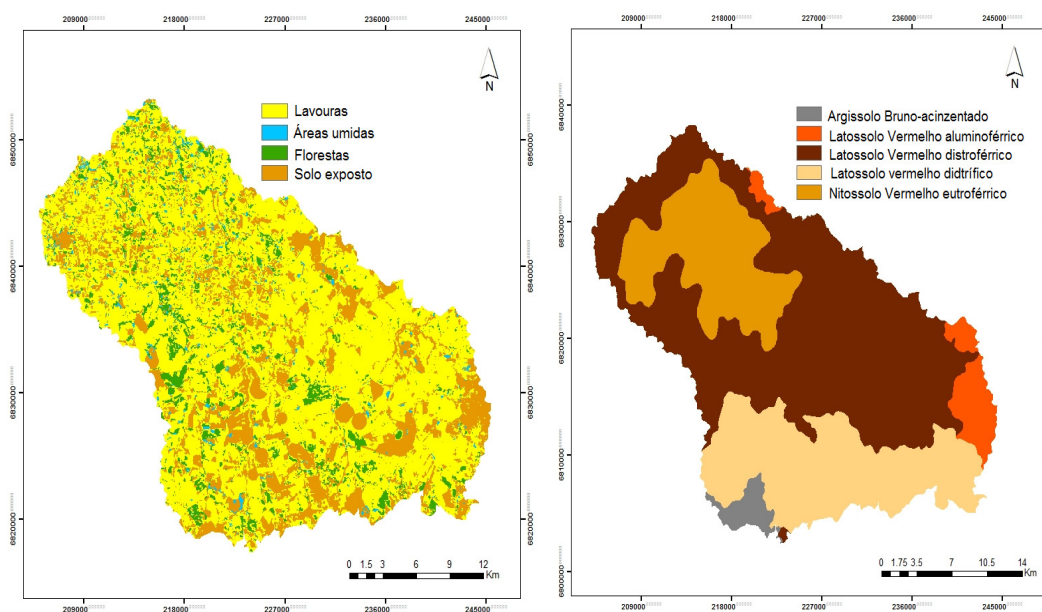


Figura 2 – Principais usos e os diferentes tipos de solo presente na bacia do Rio Conceição.

Bacia Hidrográfica do Rio Guaporé

A bacia hidrográfica do Rio Guaporé está situada a nordeste do estado do Rio Grande do Sul, possui área de drenagem de 2000 km², e a seção de monitoramento está situada nas coordenadas 28°54'41''S e 51°57'10''O. Abrange parte das regiões fisiográficas do planalto médio (terço superior da bacia) e da encosta inferior do nordeste (terços intermediários e inferior da bacia). O clima desta bacia hidrográfica é do tipo Cfa, conforme a classificação climática de Köppen. A

precipitação média anual varia entre 1.400 e 2.000 mm e a temperatura média anual é de 18.4 °C. A geologia do local é caracterizada por derrames vulcânicos e o relevo ondulado a montanhoso. Devido às variações de relevo, existem várias classes de solos nesta bacia, como Neossolos, Luvisolo, Cambissolo, Latossolo, Argissolo, Chernossolo, além de afloramentos rochosos.

O uso do solo é bastante heterogêneo, com a predominância do cultivo da soja (*Glycine max*) com sistema plantio direto no terço superior da bacia onde o relevo é suave ondulado, e nas outras regiões predomina propriedades de menor tamanho com usos diversos sendo o cultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum*), milho (*Zea mays*) e pequenas áreas reflorestadas com eucalipto (*Eucaliptus* spp) e pastagem para a produção de leite os principais usos do solo, sendo possível identificar diferentes tipos de manejo do solo (cultivo convencional, mínimo e plantio direto). Nas áreas de maior declividade, especialmente nas encostas dos rios encontra-se grande proporção da área sob vegetação nativa de florestas, além disso, existe também pequenos municípios que contribuem para a área sob urbanização.

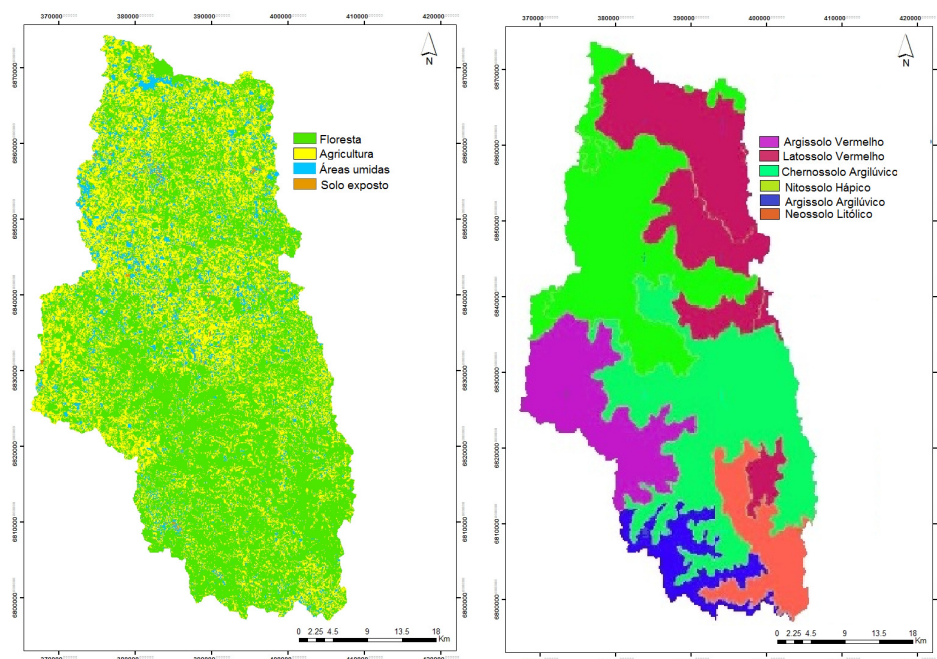


Figura 3 - Principais usos e os diferentes tipos de solo presente na bacia do Rio Guaporé.

Monitoramento hidrossedimentométrico

Nesses locais foram instalados, em março de 2011, equipamentos automáticos de monitoramento dos níveis de água e de turbidez em intervalos sub-horários, além disso, foram

realizadas campanhas de monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) com calendário fixo (mensal) e de acompanhamento de eventos, os quais foram essenciais para a calibração do turbidímetro para a estimativa contínua da CSS. As amostras de sedimentos foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo – UFSM, para ser realizada a determinação da CSS, utilizando o método da evaporação ou filtração (Shreve & Downs, 2005).

O monitoramento da vazão (Q) foi realizado com a medida do nível da água utilizando um linígrafo de pressão e o valor de cota transformado em vazão com a utilização da curva-chave cota-vazão presentes para as seções escolhidas. As duas bacias hidrográficas possuem estação de monitoramento automático, equipadas com pluviógrafo, linígrafo e turbidímetro. Estes equipamentos registram dados a cada 10 minutos e são armazenados em um datalogger, que é alimentado energeticamente por um painel solar. Os turbidímetros apresentam intervalo de medida de 0-4.665 milivolts (mV), e utilizam a tecnologia do sinal nefelométrico (90°), com a medição da relação da luz infravermelha dispersada e a luz transmitida com intervalo de 10 minutos entre medidas.

Os equipamentos foram alocados nas margens do exutório de cada bacia em 2011. A base foi instalada a uma distância do leito do rio que seja segura em eventos de cheia, e os sensores de turbidez e nível foram conduzidos através de encanamentos até o leito do rio. Periodicamente são realizadas atividades de calibração e manutenção dos sensores. Além dos equipamentos automáticos, as estações de monitoramento contam com coletas manuais para a análise de consistência dos dados e preenchimento de falhas, como leituras dos pluviômetros e nível na régua linimétrica, bem como coletas de amostras de sedimentos em suspensão para análise de CSS e granulometria.

A precipitação (P) foi obtida através da rede de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA), a qual cobre a variabilidade espacial da precipitação na região com intervalos diários. Os dados automáticos de vazão e concentração foram adquiridos em intervalos de dez minutos de 2011 a dezembro de 2013 contemplando 36 meses com diferenças significativas de magnitude de vazão e concentração de sedimentos. Com esse conjunto de dados foi estimado as descargas pela multiplicação entre a CSS e a Q e integrando o período no tempo foi obtido a produção de sedimentos (Carvalho, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade agrícola ocupa 90% da área da bacia do Rio Conceição, sendo que desta área cerca de 85% é manejado sob o sistema plantio direto. Embora consolidado o sistema não é eficiente no controle do escoamento superficial, gerando valores elevados de produção de sedimento, principalmente em precipitação de média a grande intensidade, como se observa na Tabela 1.

Tabela 1- Dados monitorados na bacia do rio Conceição para três anos.

Mês	2011		2012		2013	
	P (mm)	PS ton km ⁻²	P (mm)	PS ton km ⁻²	P (mm)	PS ton km ⁻²
1	145	0,4	112	0,7	125	6,2
2	381	2,0	66	0,1	162	1,6
3	260	8,6	52	0,1	213	3,4
4	245	27,2	58	0,05	162	3,5
5	112	9,4	19	0,04	141	3,0
6	182	4,0	57	0,07	36	0,9
7	225	5,6	190	13,3	37	1,9
8	223	32,5	72	0,6	93	2,2
9	44	0,3	190	8,3	124	1,8
10	198	2,3	361	19,2	146	1,5
11	85	2,7	84	1,8	129	1,5
12	35	0,1	372	25,0	90	1,3
Soma	2135	95,5	1633	69,8	1459	29,5

P: Precipitação; Q: Vazão e PS: Produção de sedimentos.

Os dados apresentam altos valores da produção de sedimentos, principalmente nos meses de abril a agosto de 2011, julho, outubro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013. Esses meses foram caracterizadas pela ocorrência de grandes eventos e consequentemente respostas hidrológicas significativas, na produção de sedimentos (PS). Dessa forma se confirma que mesmo em frequência baixa, os eventos de alta magnitude são os responsáveis pela alta produção de sedimentos e mobilização dos mesmos na bacia hidrográfica do rio Conceição. A magnitude da produção de sedimentos na bacia do rio Conceição para um ano húmido (2011) apresenta valores da mesma ordem de grandeza que os encontrados em algumas bacias hidrográficas localizadas no estado do Paraná (Lima et al., 2004; Lopes, 2004), onde o solo e a erosividade são semelhantes à bacia do Conceição.

Os aspectos críticos da degradação dos solos pela erosão hídrica é gerado pelo cultivo intensivo dos solos em encostas com alta declividade associado a semeadura morro abaixo no sentido de maior declive, aliado a baixa cobertura vegetal sem barreiras mecânicas de contenção,

com reduzida infiltração através da compactação, o que favorece os processos erosivos. Além disso, o plantio das culturas de verão ocorre nos meses de maior erosividade, potencializando a desagregação e o transporte dos sedimentos em direção à rede de drenagem. Da mesma forma, a contribuição das estradas não pavimentadas nesta bacia é relevante, podendo chegar a 60%, segundo Tiecher et al. (2012) que estudou na região uma pequena bacia de (0.8 km²), bem como a erosão de canal e voçorocas entre divisas das propriedades.

Em 2012, devido a forte influência do fenômeno La Niña, a produção de sedimentos na bacia do rio Conceição reduziu seus valores a 70 t km² ano⁻¹, já em condições de eventos de maior frequência esteve em 95 t km² ano⁻¹. Já para 2013, os eventos foram em média de baixa magnitude distribuído espacialmente durante todo o ano, não afetando expressivamente a produção de sedimento anual que foi inferior a 30 t km² ano⁻¹.

Em relação aos períodos de estiagem foram monitorados os impactos do fenômeno climático La Niña no final de 2011 e 1ª semestre de 2012, o que gerou redução dos volumes precipitados para o Sul do Brasil, o qual teve abrangência por sete meses. Na área da bacia do rio Conceição houve um menor volume acumulado de chuva entre novembro de 2011 a maio de 2012, uma redução de 2,8 vezes do valor de precipitação esperado para esse período de acordo com Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, com reflexo na baixa produção de sedimentos.

O monitoramento dos eventos nas bacias em três anos permitiu avaliar seu comportamento bem como sua magnitude. Todos os eventos monitorados foram importantes para a obtenção dos resultados, sendo apresentada na figura 4, a seleção de um evento anual para os três anos de monitoramento para a bacia do rio Conceição.

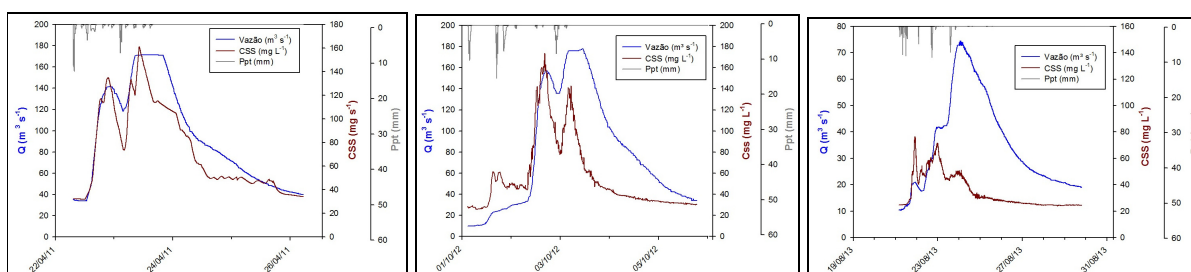


Figura 4- Representação de três hidrogramas em diferentes épocas para a bacia do rio Conceição.

Foi observado também na escala de evento que apesar do solo da bacia do rio Conceição ser profundo e bem drenado, as descargas líquidas de superfície resultante do escoamento superficial, foram reduzidas rapidamente logo após os eventos de precipitação como observado na figura 4. Isso

significa que do total do volume precipitado grande parte está sendo escoada superficialmente juntamente com o transporte de poluentes para os rios ao invés de infiltrar e ser armazenada no solo para posterior utilização pelas culturas e na própria recarga do aquífero.

O impacto da frequência dos eventos na produção de sedimento (PS) pode ser influenciado por vários processos hidrológicos independentes, tais como umidade, saturação dos solos, erosão da encosta que nessa bacia é relativamente alta, diluição de escoamento de base e fornecimento de sedimentos através de canal de erosão que são predominantes em bacia hidrográfica. Aliado a isso, o manejo do solo é baseado na semeadura direta, rotação de cultura incipiente, baixo aporte de biomassa ao solo, ausência de medidas de controle do escoamento superficial (terraços, cultivos em faixa, cordões vegetados ou plantio em nível).

As mudanças climáticas, sobre diferentes graus de conservação entre os produtores e a remoção de sedimentos nos rios marginais ocasionado pelo avanço das áreas frágeis (Floresta ripária) pode refletir em alterações na carga de sedimento anual introduzido no rio Conceição, o que reflete especificamente na produção de sedimento gerado pelo uso (Simon & Collison, 2002). A mudança climática pode também interagir com estes fatores especificamente os antrópicos, causando impacto direto e mudança no aporte de sedimento para os rios. Ao contrário, a redução da precipitação pode contribuir significativamente para a redução da carga de sedimentos.

Os resultados do monitoramento indicam que os processos erosivos na bacia do rio Conceição apresenta elevada magnitude no cenário atual, onde o que predomina é o sistema plantio direto. Além disso, observa-se que a perda de solo ocorre em todas as épocas do ano, especialmente na primavera, período do ano em que o solo fica mais exposto á chuvas de elevada intensidade sem cobertura verde, correspondendo ao intervalo de colheita e semeadura das culturas anuais. Observa-se que o escoamento superficial é o principal mecanismo de degradação do solo na região, desencadeando um processo de transporte de sedimentos que carregam consigo substâncias tóxicas e nutrientes oriundos da atividade agrícola, reduzindo a eficiência dos insumos aplicados e consequentemente poluindo os recursos hídricos. Condicionado pela ausência de manejo de gleba com práticas mecânicas de contenção de escoamento e baixa rotação de cultura. Além disso, as práticas de manejo afetam sensivelmente a estrutura do solo, refletindo em uma menor infiltração de água, embora os solos da região sejam predominantemente profundos e bem estruturados.

Outro cenário recorrente por parte de muitos agricultores é o uso intenso de pastagem no período de outono/inverno. Embora essa prática não tenha grande abrangência na bacia, ocorre nas pequenas e médias propriedades devido à redução da oferta de forragem para os animais, o que leva

os agricultores à cultivarem as áreas de lavoura com pastagens até a implantação das culturas de verão. Esse uso reduz significativamente a quantidade de palhada depositada sobre o solo, bem como provoca o aumento da densidade do solo pela compactação oriunda da elevada carga animal manejada. Desse modo, no início da implantação da cultura de verão o solo terá uma menor capacidade de infiltração e armazenamento de água o que pode aumentar as condições para formação do escoamento e consequentemente contribuir para elevar a produção de sedimentos.

Também nesta mesma época do ano (outono/inverno), nas propriedades onde não é usado gado, ocorre um curto período de pousio, que pode se estender até dois meses sem cobertura vegetativa no solo, desde a colheita da soja até o plantio do trigo ou aveia. Considera-se esse intervalo como um período crítico, semelhante ao que se observa na primavera, em que precipitações de média a alta magnitude possuem reflexos diretos na desagregação dos solos. Fator que ajuda a explicar a variação intra-anual na produção de sedimento. Pelo fato de encontrar na fase sem cobertura estabelecida, onde os resíduos depositados sobre o solo são menos eficientes quando comparado a plantas já estabelecidas no controle da erosão.

Neste contexto, o monitoramento contínuo de eventos com diferentes magnitudes e em diferentes estágios de desenvolvimento das culturas na bacia do Rio Conceição torna esse conjunto de dados representativo. Possibilitando a descrição dos processos de vazão (Q), concentração de sedimento em suspensão (CSS), produção de sedimento (PS) e formação do escoamento superficial, dos três principais eventos de cada ano representados na Tabela 2.

Tabela 2- Seleção dos eventos monitorados na bacia do rio Conceição para três anos.

Evento	P (mm)	Q Máx ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	CSS Méd (g L^{-1})	CSS Máx (g L^{-1})	CE (%)	PS (ton km^{-2})
22-26/04/11	103	171	0,313	1,49	21,7	16,8
01-07/10/12	162	177	0,220	1,47	12,9	9,9
23-31/08/13	124	74	0,163	1,20	9,5	1,5

P: Precipitação, Q: Vazão, CSS: Concentração de sedimento em suspensão, CE: Coeficiente de escoamento, PS: Produção de sedimento.

Os valores da CSS e turbidez observada durante o estágio de fluxo de base variou entre 0,08-0,120 g L^{-1} para CSS e entre 50-80 NTU para a turbidez. Durante eventos de chuva, os valores de turbidez são maiores do que 330 NTU. No caso de turbidez, os valores elevados estão associados, principalmente, com alta percentagem de partículas de argila em fase dispersa.

Em abril de 2011, 61% do total de sedimento produzido durante o mês teve origem em apenas um único evento, em que aproximadamente 22% do volume precipitado escoado para o rio pela superfície sem infiltrar no solo. No mês de julho do ano de 2012, observam-se valores com 13% de escoamento superficial e 51% da produção de sedimento mensal gerada no evento de maior magnitude para o período. Os parâmetros observados nos dois eventos correspondentes ao ano de 2011 e 2012, o que justifica a perda total anual em 17,6% e 14,1% respectivamente em apenas dois eventos monitorado. Visto que nos períodos de entressafra exercem os processos erosivos, principalmente, o escoamento superficial, além do solo não estar vegetado, ocorrem eventos com elevados volumes pluviométricos e consequentemente elevado potencial de degradação. Entretanto a maior precipitação em 2013 ocorreu no mês de agosto, cerca de 124 mm, com produção de sedimento apresentando valores baixos, mesmo assim esse evento produziu 68% do total mensal, o que pode estar relacionado à cobertura vegetal que nesse período esta estabelecida, porém os fluxos de água estiveram presentes e atuantes. Portanto tais resultados tendem a evidenciar a necessidade de medidas complementares que controle o escoamento não só nestes períodos, mas como em todo ano, seja por barreiras mecânicas como terraços e cordões vegetados, mas principalmente pelo manejo de glebas que possibilita uma visão mais integrada de cada atividade no meio (Bertol et al., 2007).

Os impactos gerados pela agricultura representam, provavelmente, uma das mais importantes fontes de sedimento gerado na bacia, o que demonstra forte influência dos eventos extremos sobre os processos erosivos e consequente necessidade de estruturas de contenção da erosão. Os eventos demonstram claramente esse processo principalmente nos meses de menor cobertura vegetal, onde a erosão aliado ao escoamento superficial contribuem significativamente na produção de sedimento quantificado no exutório da bacia do rio Conceição.

Já para a bacia do rio Guaporé, a produção de sedimentos com monitoramento contínuo para a bacia do rio Guaporé foi de $136 \text{ ton.km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ para 2011 e $126 \text{ ton.km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ para 2013, com atuação do fenômeno La Niña em 2012, o que reduziu esses valores para apenas $57 \text{ ton.km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. Valores próximos foram encontrados para a bacia experimental de Arvorezinha no sul do Brasil, com valores anuais de PS semelhantes (Minella et al., 2008). Além disso, para anos sem ação de fenômenos climáticos a bacia apresenta características naturais que favorecem o processo erosivo e a transferência de sedimentos da fonte para a rede fluvial, principalmente no terço médio e inferior, onde o relevo é declivoso e os solos são rasos.

Os resultados mostram grande variabilidade interanual governada basicamente pelo uso intenso do solo frente ao volume precipitado. Os três anos foram caracterizados por situações extremas, tanto pelas precipitações elevadas bem como por longos períodos de estiagem em determinados meses, o que refletiu na produção de sedimentos, observada na Tabela 3.

Tabela 3- Dados monitorados na bacia do rio Guaporé para três anos.

Mês	2011		2012		2013	
	P (mm)	PS ton km ⁻²	P (mm)	PS ton km ⁻²	P (mm)	PS ton km ⁻²
1	165	0,06	117	0,04	87	0,7
2	109	0,1	191	0,01	170	2,6
3	196	13,8	88	0,05	195	17,2
4	153	6,1	61	0,01	93	2,4
5	64	0,9	30	0,01	123	3,2
6	196	4,2	84	0,2	106	13,0
7	237	75,8	221	8,7	73	4,6
8	250	32,9	61	0,4	305	43,4
9	68	1,6	201	22,0	201	10,4
10	125	0,5	162	9,9	129	15,1
11	23	0,1	58	0,02	182	13,1
12	33	0,05	267	15,8	73	0,8
Soma	1621	136,4	1541	57,4	1737	126,9

P: Precipitação; Q: Vazão e PS: Produção de sedimento.

No terço superior da bacia, as características naturais de uso e ocupação dos solos é semelhante ao que encontramos na bacia hidrográfica do rio Conceição, ou seja, solos profundos, intemperizados, relevo suave ondulado e lavouras sob sistema plantio direto para a produção grãos com as mesmas características descritas anteriormente. Entretanto, no restante da bacia existe uma larga variedade de usos do solo, em geral, sem medidas de conservação do solo com consequências visíveis de degradação por erosão e transferência de sedimentos para a rede de drenagem que foram quantificados pelo monitoramento. Os principais usos no terço inferior da bacia do rio Guaporé são o fumo, milho, soja, pastagens, reflorestamento com eucalipto e florestas nativas.

Os aspectos críticos de degradação dos solos pela erosão hídrica é o cultivo intensivo e revolvimento dos solos em encostas de alta declividade. Além disso, o preparo do solo para o plantio das culturas de verão ocorre nos meses de maior erosividade dos solos, o que potencializa a desagregação e o transporte dos sedimentos em direção à rede de drenagem. Da mesma forma, a contribuição das estradas não pavimentadas nesta bacia é relevante, bem como a formação de canais e ravinas nas divisas de propriedade e talvegue do terreno.

A principal deficiência observada na bacia do rio Guaporé no terço médio e inferior é a exploração das terras que não segue sua aptidão agrícola. Em geral, os agricultores cultivam suas glebas com culturas e procedimentos inadequados frente à fragilidade natural das mesmas causando depauperamento dos solos, o que necessita crescente de investimentos, e pouco retorno econômico favorecendo a descapitalização dos agricultores. Sendo necessário o planejamento do uso e ocupação dos solos nessa região, desenvolvendo alternativas econômicas para pequenas propriedades que considerem o potencial e a fragilidade dos solos ativa. Ressalta que em função da alta declividade das encostas e da pequena profundidade de alguns solos é fundamental a inclusão de medidas mecânicas de controle do escoamento superficial, que devem ser adaptadas segundo as características de cada local bem como a capacidade de investimento dos agricultores ou gestores públicos.

Os resultados do monitoramento na escala de evento permitiu avaliar a magnitudes do processo individualmente. Isso pode ser evidenciado na Figura 5 que representa a seleção de evento anual para os três anos de monitoramento para a bacia do rio Guaporé.

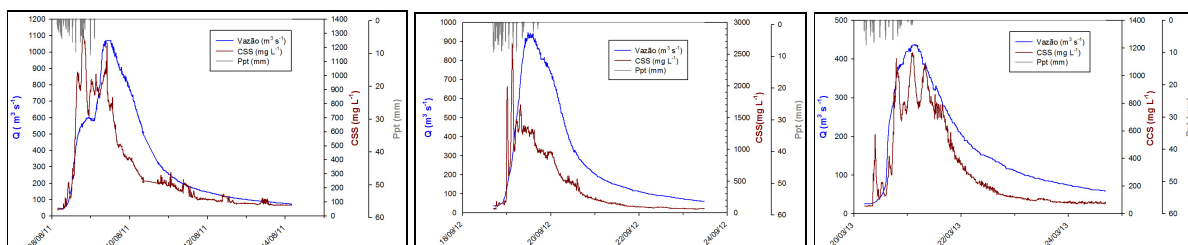


Figura 5- Representação de três hidrogramas em diferentes épocas para a bacia do rio Guaporé.

O monitoramento individual de eventos em diferentes magnitudes e épocas do ano para a bacia do rio Guaporé, possibilitou descrever o tempo de duração, vazão, concentração de sedimento em suspensão, produção de sedimento e o coeficiente de escoamento superficial sendo apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Seleção dos eventos monitorados na bacia do rio Guaporé para três anos.

	P	Q	CSS	CSS	CE	PS
Evento	(mm)	Máx ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	Méd (g L^{-1})	Máx (g L^{-1})	(%)	(ton km^{-2})
9-15/08/11	124	1069	0,260	0,756	47,6	19,3
18-24/09/12	116	945	0,220	1,006	37,1	19,4
19-24/03/13	75	438	0,167	0,561	32,3	8,3

P: Precipitação, Q: Vazão, CSS: Concentração de sedimento em suspensão, CE: Coeficiente de escoamento, PS: Produção de sedimento.

O CSS média anual para o período 2011-2012 foi de $0,2 \text{ g L}^{-1}$, e a média dos meses mais chuvosos (setembro e outubro) é de $0,8 \text{ g L}^{-1}$, com picos que alcançam 4 g L^{-1} . Importante notar que Agência Nacional de Águas (ANA) valores CSS para o período 2000-2012 alcançou 0,01-0,3 g L^{-1} com um valor médio de $0,3 \text{ g L}^{-1}$, ou seja, muito menor do que os observados durante o período de dois anos de monitoramento.

De maneira geral, os eventos tiveram um comportamento distinto, o que variou no transcorrer nos três anos monitorados. Esse comportamento pode ser atribuído a grande diversidade de sistema de cultivos presente na área da bacia hidrográfica passível de intensas transformações. De maneira geral as chuvas são distribuídas de maneira desuniforme em grandes bacias, sendo os processos gerados pela ação das chuvas é diferente frente ao uso e manejo adotado pelos diferentes agricultores.

Para as duas bacias monitoradas o transporte de sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos da água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal, que acabam influenciando na disponibilidade de material a ser carregado até os rios.

A magnitude da produção de sedimentos (PS) como sendo o reflexo da erosão e do escoamento superficial assume valores muito altos num período específico do ano que são os meses de setembro a novembro com pico em outubro. Nesse caso o planejamento das práticas agrônômicas deve considerar esse aspecto a fim de atenuá-lo. Apesar do coeficiente de escoamento variar para a bacia do rio Guaporé entre 30 e 50 % do total precipitado em eventos, poucas medidas são adotadas pelos agricultores para minimizar esses valores, o que contribui para a degradação do solo e o transporte de sedimentos para os recursos hídricos.

Apesar da limitada atenção, a redução do escoamento superficial continua a ser uma preocupação importante para ambas às bacias. A conservação de água disponível no local para as plantas é uma questão importante para a produção agrícola e pode ser uma preocupação mais importante do que a perda de solo, principalmente, em áreas onde a água é um recurso escasso. Assim, a redução de escoamento superficial é uma parte crucial de captação integrado de gestão, além disso, geração de escoamento e perda de solo por vários tipos de uso da terra estão intimamente relacionados.

Devido a alterações na produção de sedimentos (PS) em ambas as bacias, o potencial de impacto através das variações climáticas também deve ser considerado. Mudanças nas cargas de sedimento causado por impactos gerados pela atividade humana poderiam, por exemplo, ser sobreposta sobre alterações associado com a variação de práticas conservacionistas adotadas atualmente.

O índice de oscilação e mudanças associadas entre El Niño e as condições de La Niña, pode dificultar a clareza do verdadeiro impacto gerado pela atividade agrícola. Os resultados da mudança climática com aumento da frequência de eventos extremos pode ter impacto em uma escala muito significativa sobre cargas de sedimentos, uma vez que tais eventos são comumente grandes contribuintes para o longo prazo para o fluxo sedimentos (Walling, 2008).

Os impactos das mudanças climáticas sobre bacias hidrográficas e a falta de registros de longo prazo da carga de sedimentos para diversas áreas fortalece há crescente necessidade de sua investigação, onde as mudanças climáticas estão tendo um significativo impacto sobre as cargas de sedimentos nos rios. Essa condição também é relatada por Amsler & Drago (2009) que chama atenção para as recentes mudanças nas cargas de sedimentos dos rios Paraná-Paraguai na América do Sul. A comparação dos dados coletados na década de 1970 com os coletados na década de 1990 fornecem evidências claras de alterações nas cargas de sedimento transportados por este sistema.

O uso da agricultura conservacionista atual frente a alterações climática pode aumentar a carga de sedimento o que exige estudos mais detalhados a longo prazo para confirmar os resultados obtidos nesse estudo. Essa investigação é exigida, pois cada bacia hidrográfica possui um comportamento único e os processos de produção de sedimento devem ser acompanhados por um longo período de monitoramento contínuo, para confirmar com segurança os resultados, além da ação de medidas conservacionistas mais eficientes no controle dos processos erosivos.

CONCLUSÕES

O monitoramento hidrossedimentométrico mesmo num curto período (três anos) permitiu obter um conjunto de dados capaz de descrever processos importantes. Observamos a importância do monitoramento contínuo e em alta frequência para captar os eventos de grande e média magnitude, responsáveis pela grande parte da produção de sedimentos.

Os resultados da mudança climática através da ação de fenômenos La Niña e El Niño provocou alteração na frequência de eventos extremos e no fluxo de sedimento para os rios refletindo na produção de sedimento mensal, anual bem como, a média interanual.

O monitoramento intensivo em três anos de precipitação, possibilitou a estimativa da magnitude da produção de sedimentos para duas bacias hidrográficas com características distintas de solos, relevo e do sistema de produção agrícola no sul do Brasil. A produção de sedimentos média anual foi de $65 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a bacia sob plantio direto na região do planalto do Estado do Rio Grande do Sul. A produção de sedimentos média anual foi de $106 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a bacia com uma grande diversidade de usos e manejos do solo na região da encosta do planalto Rio-grandense.

O estudo mostra claramente evidências fortes de erosão, sendo que as bacias hidrográficas requerem a implementação de medidas mais eficazes na conservação do solo para reduzir o risco de degradação dos solos. Sendo que é necessário para a área agrícola, a adoção de diferentes técnicas de conservação do solo, especialmente em terras agrícolas com encostas íngremes.

As descargas de sólido/líquido através do escoamento superficial em eventos de média a alta magnitude demonstram ser maiores para a bacia do rio Guaporé, além da maior área de contribuição da bacia outros fatores como heterogeneidade dos solos, relevo declivoso e uso mais intenso da área contribuem para valores altos de descarga.

Os sistemas de produção agrícola presentes nas duas bacias hidrográficas monitoradas apresentaram deficiência no controle do escoamento superficial e dos processos erosivos. Em função das respostas aos eventos monitorados, conclui-se que a ausência de medidas mecânicas de controle do escoamento superficial em conjunto o manejo inadequado das glebas seja a principal causa para a magnitude dos processos hidrossedimentológicos observados.

As tendências de longo prazo, bem como a variabilidade interanual da eficácia de técnicas de conservação do solo e da água são fatores importantes a serem ainda explorados, para verificar como eles contribuirão para uma melhor seleção de técnicas de conservação dos solos e dos recursos hídricos. No entanto, uma avaliação precisa desses efeitos requerem estudos que avaliam a eficácia de técnicas de conservação do solo e da água em um período de maior tempo.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos públicos de fomento FAPERGS- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul e ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico..

BIBLIOGRAFIA

AMSLER, M.L. & DRAGO EC, 2009. A review of the suspended sediment budget at the confluence of the Paraná and Paraguay Rivers. *Hydrol. Process.* 23, 3230-3235.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUADAGNIN, J. C.; AMARAL, A. J. (2007). Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.133-142

CARVALHO, N.O. (2008). *Hidrossedimentologia prática*. 2ª ed., rev., atual e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 599p

COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Science Society of America*, v.48, p.368-373, 1984.

HOROWITZ, A.J.; ELRICK, K.A.; SMITH, J.J. (2001). Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: methodological considerations as applied to the NASQAN programme. *Hydrological Processes* 15: 1107-1132.

LIMA, JEFW; LOPES, WTA, SILVA, EM; VIEIRA, MR (2004). Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Piquiri in *anais do VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, Vitória.

LOPES, WTA; LIMA, JEFW; VIEIRA, MR; DIAS, SF (2004). Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia do Rio Ivaí - Estado do Paraná in *anais do VI Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, Vitória.

MERTEN, G.H; MINELLA, J.P.G; MORO; MAIER, C. (2010). Expansion of Brazilian Agricultural Territory: Changes in Land Use. *Catena. Supplement (Giessen)*, v. 41, p. 13-21, 2010.

MERTEN, G.H; CAPEL, PD; MINELLA, JPG (2013). Effects of suspended sediment concentration and grain size on three optical turbidity sensors. *Progress in erosion and sedimentation in Latin America. Journal Soils Sediments*. Published Online 3 December 2013. ISSN 1614-7480. DOI 10.1007/s11368-013-0813-0.

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

PANDEY, A.; CHOWDARY, V. M.; MAL, B.C. (2007). Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, Amsterdam, v. 21, n. 4, p. 729-746.

SIMON, A.; COLLISON, A.J.C. (2002). Quantifying the mechanical and hidrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surface Processes & Land Form.* 27:527-546.

SHREVE, E.A.; DOWNS, A.C. (2005). Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U.S., Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory., U.S., Geological Survey Open, File Report 2005.

TIECHER, T; MINELLA, J.P.G.; MIGUEL, P.; RASCHE, J.W.A.; PELLEGRINI, A.; CAPOANE, V., RHEINHEIMER, D S (2012) Identificação de fontes de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural de cabeceira com predomínio de culturas anuais sob sistema plantio direto. In.: X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

WALLING, D.E. (2008). The changing sediment loads of the world's rivers. *Proceedings of the International Symposium on Sediment Dynamics in Changing Environments*, Christchurch, New Zealand. Wallingford UK, IAHS Press IAHS Publication 325, pp. 325-38.

WALLING, D.E. (2011). Human Impact on the Sediment Loads of Asian Rivers, *Sediment Problems and Sediment Management in Asian River Basins*. IAHS Publ. 349, Wallingford, pp. 37-51.

WANG, G.; HAPUARACHCHI, P.; ISHIDAIRA, H.; KIEM, A.S.; TAKEUCHI, K. (2009) Estimation of soil erosion and sediment yield during individual rainstorms at catchment scale., *Water Resour Manag* v., 23, n., 8, p, 1447-1465.

WANG, E.L.; ZHANG, Y.Q.; LUO, J.M.; CHIEW, F.H.S.; WANG, Q.J. (2011). Monthly and seasonal streamflow forecasts using rainfall-runoff modeling and historical weather data. *Water Resources Research* 47, W05516. <http://dx.doi.org/10.1029/2010WR009922>