



## MODELAGEM DO PROCESSO EROSIVO NA ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA E SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE PRECIPITAÇÃO

*Cláudia Alessandra Peixoto de Barros<sup>1,2</sup>, Paulo Ivonir Gubiani<sup>2</sup>, Leandro Dalbianco<sup>3</sup>, Alexandre Schlesner<sup>4</sup>, Rafael Ramon<sup>5</sup>, Elton Luiz Schaefer<sup>5</sup> & Jean Paolo Gomes Minella<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- As alterações no regime de chuvas no Rio Grande do Sul tem apresentando grandes impactos ambientais e socioeconômicos, mais recentemente no primeiro semestre de 2014 foram registrados consequências severas para a sociedade e meio ambiente. O objetivo desse trabalho foi modelar o processo erosivo em uma bacia hidrográfica rural simulando diferentes condições pluviométricas na região Sul do Brasil, visando a avaliação dos impactos gerados pelas alterações climáticas. A área de estudo está localizada na região noroeste do RS, possuindo uma área de captação de aproximadamente 1,19 km<sup>2</sup>. O monitoramento é realizado com equipamento automáticos e campanhas de campo. Para a modelagem foram escolhidos dois eventos, um de baixa e outro de media magnitude ocorridos no ano de 2014. Os cenários foram: (1) dobro da intensidade da chuva medida; (2) acréscimo de 50 % da intensidade de chuva medida; e (3) metade da intensidade da chuva medida. Utilizou-se nesse trabalho o modelo LISEM para duas camadas. A calibração foi possível e “satisfatória” para a componente hidrológica do modelo, já a erosiva não apresentou bons resultados para todas as variáveis ajustadas. O cenário 1 e 2 alcançaram valores elevados para as variáveis hidrológicas indicando que as chuvas intensas podem desencadear grandes problemas ambientais.

**ABSTRACT** --- The changes in rainfall patterns in Rio Grande do Sul has presenting great environmental and socioeconomic impacts, most recently in the first half of 2014 were recorded severe consequences for society and the environment. The objective of this study was to model the erosion process in a rural watershed simulating different rainfall conditions in southern Brazil, aiming at the assessing the impacts of climate change. The study area is located in the northwestern region of RS, having a receiving area of about 1.19 km<sup>2</sup>. The monitoring is carried out with automatic equipment and field campaigns. Two events, one low and one medium magnitude occurred in 2014 were chosen for modeling. The scenarios were: (1) twice the rain intensity measurement; (2) fifty percent over the rainfall intensity measurement; and (3) half of the intensity of rain measured. It was used for this study LISEM model for the two layers. The calibration was possible and "satisfactory" for the hydrological component of the model, but does not erosive component showed good results for all variables adjusted. Scenario 1 and 2 achieved high values for hydrologic variables indicating that intense rains can promote great environmental problems.

**Palavras-chave:** mudanças climáticas, escoamento superficial, cenários futuros

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciência do Solo. UFSM – Av. Roraima, s/n. Santa Maria (RS). Email: dinhaufsm@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Dr. UFSM/ Campus Santa Maria (RS) Av. Roraima, s/n. Santa Maria (RS). Email: jminella@gmail.com, paulogubiani@gmail.com

<sup>3</sup> Técnico Agropecuária do Instituto Federal Farroupilha/Campus Jaguari (RS). Email: agro.dalbianco@gmail.com

<sup>4</sup> Bolsista Projeto “Mais Água”/UFSM/FEPAGRO. Email: arroz.ale@gmail.com

<sup>5</sup> Aluno de Graduação em Agronomia. UFSM – Av. Roraima, s/n. Santa Maria (RS). Email: rafaramon11@gmail.com, eltonschaefer@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

A carência de informação sobre as melhores práticas de conservação do solo e da água na escala da paisagem é mais perceptível em anos com elevado regime pluviométrico, condicionando as enchentes e erosões severas, e anos com baixo regime pluviométrico condicionando a baixa disponibilidade hídrica para as plantas e baixa recarga de aquíferos. Nesse sentido, nos últimos anos vem sendo registrado alterações climáticas e com elas consequências severas para a sociedade e meio ambiente. Assim, os altos índices de deslizamentos de encostas (Ibama, 2011), aumento da frequência de enxurradas (Nedel & Saunsen, 2012), perdas de produtividade nas lavouras agrícolas (Emater, 2012; Ibama 2011), poluição dos mananciais hídricos que sustenta a sociedade (Núñez et al., 2006), os quais têm alertando órgãos públicos, pesquisadores, e sociedade para que medidas sejam tomadas de planejamento ambiental para minimizar tais impactos.

Segundo Marengo et al. (2007), em estudo sobre as variações climáticas nas diferentes regiões do Brasil, constataram que houve um aumento na frequência dos eventos pluviométricos extremos nas duas últimas décadas (1990 e 2000), principalmente na região sul, contrastando com outros anos para o mesmo período e região (por exemplo, o ano de 2006) onde houve déficit de chuva ao redor de 60 % da precipitação normal. Recentemente a região Sul do Brasil passou por um período com alto volume acumulado de chuva no ano de 2014, mais especificadamente nos meses de junho e julho. Os meios de comunicação relataram diversos casos de prejuízos econômicos, deslizamentos, fechamentos de estradas, e ainda mudanças no calendário agrícola. O ano de 2014 ainda apresenta previsão para chuvas acima do padrão no seu último trimestre para o estado do Rio Grande do Sul, principalmente para a região norte e noroeste do estado (Boletim técnico n°8 INMET, 2014). Desta forma, a instabilidade do fator climático tem exigido a elaboração de planos de ação de conservação do solo para a maximização da capacidade produtiva e a minimização da degradação dos recursos naturais (solo, água e biodiversidade).

O aumento do volume precipitado e intensidade de chuva tem contribuído para os processos de degradação do solo e água, sendo a erosão do solo o fenômeno mais importante para o Brasil. O processo erosivo pode gerar tanto consequências no local como fora do local de ocorrência, como por exemplo, perda de solo e assoreamento de rios, respectivamente. Merten e Minella (2013) em um levantamento sobre a erosão do solo no Brasil, constataram que a taxa anual de perda de solo para diferentes culturas agrícolas no país está aproximadamente  $847 \times 10^6 \text{ ton ano}^{-1}$ . Assim sendo, nos deparamos hoje com a falta de incentivo as práticas de conservação do solo e da água, pois para muitos o problema ainda não é relevante ou ainda faltam informações que quantifiquem a problemática. Nas áreas rurais, por exemplo, muitos problemas que potencializam o processo erosivo, fortes enxurradas, perdas de produtividade, entre outros, são evidentes como o cultivo morro abaixo, baixa adição de fitomassa ao solo e falta de práticas mecânicas de controle do escoamento e da erosão.

Portanto, é necessário pensar em alternativas para incentivar o uso de práticas conservacionistas para minimizar os impactos provocados pela agricultura bem como se adaptar as mudanças climáticas. A escolha desses possíveis cenários de uso e ocupação das terras a partir de diferentes cenários de chuvas é uma ferramenta poderosa para exemplificar aos produtores rurais da importância de utilizar medidas preventivas em sua propriedade rural. Assim, a utilização de modelos matemáticos propiciam interpretarmos os resultados gerados por diferentes condições de precipitações para um determinado local de estudo visando indicar medidas paliativas ao processo erosivo.

Nesse contexto, modelos matemáticos de base física e distribuídos possuem grande potencial para serem utilizados, como por exemplo o modelo Limburg Soil Erosion Model – LISEM. O modelo LISEM (DE ROO, 1996; DE ROO; WESSELING, 1995) pode ser considerado como um modelo com alto potencial para descrever o processo erosivo devido sua base física no conjunto de equações que o compõe, considerando os parâmetros de entrada de forma distribuída na paisagem. Em sua estrutura operacional o LISEM pode ser dividido em duas partes: (a) simulação dos processos hidrológicos ou de formação do escoamento superficial, (b) simulação dos processos erosivos; para isso, a área da bacia é dividida em uma grade de células onde para cada célula o modelo simula os processos hidrossedimentológicos. Para isso o modelo é completamente integrado em um *raster* de Sistema de Informação Geográfica, software PCRaster, permitindo a distribuição espacial das informações, sendo um dos primeiros de base física a possuir esse acoplamento.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi modelar o processo hidrológico e erosivo em uma bacia hidrográfica rural para diferentes condições pluviométricas, visando a avaliação dos impactos gerados pelas alterações climáticas.

## MÉTODOS E MATERIAIS

### Área de estudo

*Características de clima, relevo, classes de solos, uso e manejo do solo.*

A bacia experimental do Arroio Lajeado Ferreira (Figura 1) possui área de drenagem de 1,19 km<sup>2</sup> e está localizada na encosta do planalto meridional no sul do Brasil, no município de Arvorezinha, sendo uma típica bacia de cabeceira. A geologia do local é caracterizada por derrames vulcânicos com variação da altitude de 560 a 740 m, o relevo na parte superior da bacia é ondulado (declividade 7%), e no terço médio e inferior o relevo é forte ondulado (>15%) com vertentes curtas e vales encaixados.

O clima da região é classificado segundo Köppen como Cfb subtropical, superúmido mesotérmico sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1605 mm. O índice de erosividade ( $EI_{30}$ ) é 6.540 MJ mm ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, computado a partir de 40 anos (Argenta *et al.*, 2001) e considerada moderada a forte. Os meses de setembro e outubro são os que apresentam maior  $EI_{30}$ , coincidindo com a época de preparo e plantio da cultura principal, sendo que a coincidência desses dois fatores causa elevadas taxas de perda de solo e uma oportunidade para adoção de práticas de conservação do solo e da água. Cabe ressaltar que as estradas não são pavimentadas e constituem uma importante fonte de produção de sedimentos (Minella, 2007).

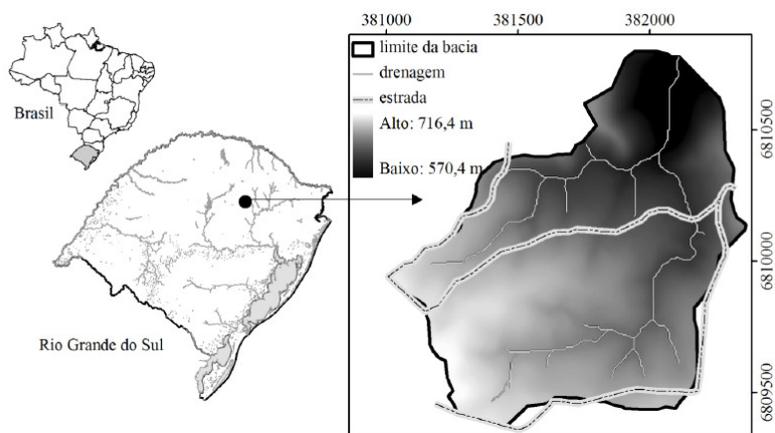


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação da área de estudo.

As classes de solos existentes na bacia são os Argissolos, Cambissolos e Neossolos, determinados em levantamento detalhado de classificação do solo (1:5:000) conforme Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (EMBRAPA, 2006), e realizado juntamente com o setor de pedologia, da UFSM.

O cultivo do fumo (*Nicotina tabacum* L.) é a atividade agrícola de maior importância econômica, mas desde o ano de 2011 observa-se crescente mudança para o cultivo de eucalipto nessa bacia (BARROS, 2012). Em relação ao manejo do solo, parte das lavouras são cultivadas sob o sistema de plantio convencional (PC) com revolvimento completo do solo, e os outros são explorados sob o sistema de cultivo mínimo (CM) com aveia preta (*Avena strigosa*) como planta de cobertura. Para o ano de 2013-2014, houve o decréscimo da ocupação pelo cultivo de fumo, essas terras cederam áreas de cultivo principalmente para a silvicultura com (Gênero *Eucalyptus*) e agricultura (Soja), em torno de 15% de ocupação das terras na bacia.

### **Monitoramento Hidrossedimentométrico**

A precipitação é monitorada com o uso de um pluviógrafo, quatro pluviômetros. Ambos os tipos de equipamentos estão distribuídos na bacia, sendo que os dados dos pluviógrafos são corrigidos pelos valores obtidos nos pluviômetros adquiridos em intervalos diários. O pluviógrafo está programado para realizar leituras a cada 10 minutos. A vazão é determinada através da medição do nível do arroio monitorado com um linígrafo (sensor) de pressão (*Thalimedes* – OTT) instalado a uma calha *parshall*, com intervalos de tempo de cada leitura de 10 minutos. Para a medição da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) é monitorado a turbidez da água com o uso de um turbidímetro instalado na seção de monitoramento da bacia, e campanhas de coleta de eventos de precipitação para a calibração contínua do sensor.

O turbidímetro utilizado é o modelo SL2000 (IMC), o qual fornece medidas indiretas da CSS através de sinais elétricos (mV), por isso é necessário que se realize a calibração do equipamento. Desta forma, o sensor é calibrado com uma solução padrão denominada Polymer bead calibration solutions e, posteriormente, com amostras com concentrações conhecidas de sedimentos obtidos da bacia. As amostras de CSS oriundas das campanhas de eventos são encaminhadas para o Laboratório Hidrossedimentologia - UFSM. Os métodos para determinação da CSS é por evaporação ou filtração (Shreve & Downs, 2005).

Além da obtenção dessas variáveis é necessário o acompanhamento contínuo do uso e do manejo na bacia do Arroio Lajeado Ferreira, realizado com auxílio de um GPS de navegação.

## Características dos eventos selecionados

Os eventos selecionados são apresentados na tabela 1 compreendendo dois eventos um de baixa e media magnitude. Os eventos apresentam condição de uso e manejo do solo semelhantes. Ambos eventos apresentavam com presença de cobertura do solo, amenizando o os valores de perda de água e produção de sedimentos. Os dois eventos foram classificados em condição próxima a capacidade de campo, pois nos dois eventos havia um acumulado de chuva maior que 15 mm nos cinco dias anteriores ao evento (Tabela 1). Na tabela 1 pode-se visualizar o chuva acumulada nos cinco dias anteriores ao evento.

Tabela 1: Características hidrossedimentológicas dos eventos selecionados.

Data	Duração	PPT 5 dias	PPT total	Esc. Total	Esc. Base	Esc. Superf.	Q pico	C	Css max	Css med
	min	-----mm-----		-----m <sup>3</sup> -----		mm	L s <sup>-1</sup>	%	----g L <sup>-1</sup> ----	
19/03/2014	430	34,80	34,30	2740,31	1731,03	0,85	125,90	2,47	0,73	0,29
17/07/2014	260	24,56	13,02	2311,80	968,83	1,13	360,50	4,60	1,37	0,19

PPT5dias: precipitação ocorrida nos cinco dias antecedentes, PPT total: precipitação no evento, Esc. Total: escoamento total do evento, Esc. Base: escoamento de base, Esc. Superf.: escoamento superficial, Q pico: vazão de pico, C: coeficiente de escoamento superficial, Css max: concentração de sedimentos em suspensão máxima, Css med: concentração de sedimentos em suspensão média.

17/07/2014 media magnitude

19/03/2014 baixa magnitude

## Preparação dos dados para a modelagem

Como o modelo LISEM está integrado a um Sistema de Informação Geográfica, necessita a entrada dos dados de forma espacializada. A área da bacia é, então, dividida em uma grade de células onde para cada célula o modelo simula os processos hidrossedimentológicos baseado nas informações provenientes dos dados de solo, relevo, vegetação, superfície e uso e manejo do solo. A escolha do tamanho da célula é baseada no tamanho da bacia e do nível de detalhamento do levantamento das variáveis interferentes e do modelo numérico do terreno. Além disso, para que haja consistência com os cálculos de diferenças finitas que o modelo realiza é coerente seguir a condição de Courant para definir o tamanho de pixel ( $\Delta x=5$  m) e tempo de simulação ( $\Delta t=10$  s).

O modelo de infiltração escolhido, dentre as opções do modelo LISEM, foi o Green-Ampt para duas camadas de solo (camada superficial 0,20 m e camada subsuperficial 0,80 m). Uma vez que na bacia do Arroio Lajeado Ferreira as classes de solos possuem características de impedimento ao fluxo de água na camada subsuperficial. Ao escolher apenas a simulação para uma camada os resultados podem não condizer com o que ocorre na bacia, pois esta camada apresenta-se com boa capacidade de infiltração sendo seu impedimento na camada subsuperficial do solo (Barros, 2012).

Os parâmetros do solo condutividade hidráulica do solo saturado -  $K_{sat}$  ( $mm\ h^{-1}$ ) e porosidade total (-) foram obtido em campo e determinados em laboratório. O potencial matricial na frente de molhamento -  $\psi_m$  -(mm) foi obtido pela estimativa da curva de retenção de água no solo através do modelo Hydrus -1D, onde obteve-se juntamente a porosidade total, através do dados de granulometria e densidade do solo. Para a umidade antecedente ao evento foi utilizado um conjunto de dados de CRA pertencentes ao banco de dados da bacia experimental de Arvorezinha, onde a partir da avaliação da condição de chuva antecedente ao evento (5 dias antes – PPT 5 dias) optou-se por condição de solo seco, capacidade de campo ou saturação do solo. Para os três eventos selecionados, os mesmos encontravam-se em condição de solo seco (PPT 5 dias < 15,0 mm), desta forma, através da avaliação da CRA para essa condição obteve-se a umidade antecedente. Os parâmetros de superfície, n'Manning (-) foi obtido por dados da literatura conforme Haan et al., (2003), já a rugosidade aleatória do solo – RR ( cm) foi determinada no campo utilizando o perfilômetro, em diferentes pontos na bacia hidrográfica, Parâmetros referente aos processo erosivo como a estabilidade de agregados foi determinado por Moro (2011). A coesão do solo (kPa) foi determinada em campo utilizando o equipamento torvane quando o solo encontrava-se molhado, em locais distribuídos na área de estudo. Já a coesão adicional por raízes foi retirada da literatura (Morgan *et al.*, 1998). Dentre os parâmetros da representação do processo erosivo, a mediana da fração granulométrica – D50 – ( $\mu m$ ) foi determinada por Moro (2011).

Os dados referentes a vegetação foram obtidos por experimentos anteriores na bacia hidrográfica sendo a fração vegetada e altura de plantas (Mello, 2006), já o índice de área foliar do fumo – IAF - (Pellegrini, 2006), IAF da pastagem (Mello, 2006), IAF do eucalipto (Celulose RioGrandense, disponível em Pelaéz, 2014).

Os mapas básicos são a delimitação da área da bacia, rede de drenagem, modelo de elevação digital, estradas, classe de solos e uso do solo. Assim, o conjunto de parâmetros de solo, superfície, e vegetação serão acoplados com os mapas bases para então as informações serem espacializadas. As tabelas 2 e 3 apresentam os valores dos parâmetros de entrada para o modelo LISEM, sendo que a camada 1 refere-se a camada superficial do solo sob impacto do uso e manejo do solo e a camada 2 ou camada subsuperficial do solo sob impacto da classe de solo.

Tabela 2: Parâmetros de entrada referente a camada superficial do solo.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS	Stone Frac.
Fumo CM	108,9	0,508	2430,01	0,365	0,055	0,7	0,5	3,5	40,0	471,27	1,0	66,0	0,2
Mata Nativa	952,9	0,528	2448,01	0,365	0,11	1,0	6,0	3,0	40,0	147,89	10,0	200,0	0,8
Pastagem	218,8	0,506	2429,21	0,365	0,055	1,0	0,5	4,0	45,0	534,47	6,0	200,0	0,1
Fumo PC	412,4	0,456	2157,78	0,365	0,055	0,6	0,5	3,5	60,0	199,24	1,0	66,0	0,3
Reflorestamento	234,1	0,528	2448,01	0,365	0,11	1,0	6,0	3,0	40,0	379,78	10,0	200,0	0,3
Açude	100,0	0,700	0,10	0,60	0,10	1,0	0,5	4,0	45,0	100,00	6,0	200,0	1,0

Fumo CM: Fumo no cultivo mínimo, Fumo PC: Fumo no cultivo tradicional, Ksat1: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h<sup>-1</sup>), Theta S: porosidade total (-), PS1: potencial matricial na frente de molhamento (mm), Theta1: umidade antecedente ao evento (-), n: n' de Maning (-), Cover: fração vegetada (-), CH: altura de plantas (m), LAI: índice de área foliar (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>), D50: fração mediana do sedimento (µm), Coh: coesão do solo (kPa), Coah: coesão adicional de raízes (kPa), AS: estabilidade de agregados (n° medio de gotas), Stone Frac.: fração de cobertura por pedras (-).

Tabela 3: Parâmetros de entrada referente a camada superficial do solo.

Solo	Ksat 2	ThetaS 2	PS2	Theta 2
Neossolo	6,7	0,319	1821,0703	0,302
Cambissolo	30,0	0,546	1103,2353	0,416
Argissolo	30,0	0,495	2050,2727	0,416

Ksat2: condutividade hidráulica do solo saturado (mm h<sup>-1</sup>), Theta S2: porosidade total (-), PS2: potencial matricial na frente de molhamento (mm), Theta2: umidade antecedente ao evento (-).

### Calibração do modelo e simulações para diferentes precipitações

A etapa de calibração do modelo foi realizada em relação ao escoamento superficial e posteriormente para a produção de sedimentos. Alguns parâmetros apresentam-se mais sensíveis, principalmente, a Ksat e a umidade antecedente para a parte hidrológica (infiltração e escoamento superficial), cabendo ainda o n' Maning e rugosidade do solo, e para o processo erosivo (produção de sedimentos) a coesão do solo. Então, inicialmente foram ajustados, por tentativa e erro, o volume de escoamento superficial total do evento e o coeficiente de escoamento superficial através da calibração do Ksat para ambas as camadas e umidade antecedente, também nas duas camadas. Valores de ajuste serão apresentados no item resultados e discussão. Entretanto, para ajustar a vazão de pico e tempo de ocorrência do pico da vazão, foi necessário ajustar os parâmetros rugosidade do solo e n' de Maning, pois estes influenciam no tempo do início da ocorrência do escoamento superficial, bem como no tempo de chegada da onda de cheia no local de monitoramento. No processo erosivo, os parâmetros calibrados são a produção de sedimentos, concentração de sedimentos máxima e média, e o tempo de ocorrência do pico. Para essa etapa foi necessário ajustar a coesão do solo e adicional por raízes, pois essas são variáveis mais sensíveis, uma vez que representam no modelo LISEM a variável de estudo que reflete a resistência do solo a força cisalhante da água. Todavia, a calibração do processo erosivo não é uma etapa fácil de ser

representada, pois a complexidade do processo e das características da bacia em estudo tornam o processo erosivo difícil de ser modelado (Barros *et. al.*, 2014).

Após o modelo calibrado para os dois eventos com os dados medidos foram criados cenários de precipitações distintas para simular o efeito de precipitações mais sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos. Foi proposto para os dois eventos calibrados, a composição de três diferentes intensidades de chuvas: (1) dobro da intensidade da chuva medida; (2) acréscimo de 50% na intensidade chuva medida; e (3) metade da intensidade da chuva medida.

### Análise do desempenho do modelo

Para avaliar a eficiência da modelagem de base física e distribuída quanto ao ajuste da calibração e validação, será utilizado o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) (Nash & Sutcliffe, 1970) e a Percentagem de Bias (Pbias). As equações 20 e 21 representam o COE e Pbias, respectivamente,

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \bar{E})^2} \quad (1)$$

Onde:  $Em$  representa o valor da variável observada em um dado intervalo de tempo,  $Es$  é o valor da variável simulada ou calculada pelo modelo em um dado intervalo de tempo,  $\bar{E}$  representa a média dos valores observados no período da simulação,  $n$  é o número de dados adquiridos durante o evento,

$$Pbias(\%) = \frac{Es - Em}{Em} * 100 \quad (2)$$

Onde:  $Es$  é o valor da variável simulada pelo modelo em um dado intervalo de tempo,  $Em$  representa o valor da variável observada em um dado intervalo de tempo, e Pbias é o valor do desvio dos valores simulados em relação aos valores observados em porcentagem (%).

O COE foi aplicado nesse trabalho para avaliar a eficiência da calibração e validação do modelo quanto ao formato do hidrograma e do sedimentograma, que pode variar de  $-\infty$  a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste entre os dados calculados e observados, Valores com COE acima de 0,75 são considerados ‘muito bons’, entre 0,65 e 0,75 ‘bons’ e valores abaixo de zero são considerados ‘inaceitáveis’ (Moriasi *et al.*, 2007). A percentagem de Bias avalia se os dados calculados superestimam ou subestimam os dados observados e foram aplicados para avaliar os

valores obtidos no processo da calibração e validação das seguintes variáveis: volume escoado superficialmente, vazão de pico, tempo de ocorrência do pico da vazão, coeficiente de escoamento superficial, e também para a produção de sedimentos, CSS máxima, CSS média e tempo de ocorrência do pico do sedimento, Quanto mais próximo de zero, melhor é a estimativa dos dados, Portanto, para os valores finais da calibração do escoamento superficial os coeficientes  $<|\pm 10\%$  são considerados ‘muito bons’,  $|\pm 10\% \leq P_{bias} < |\pm 15\%$  ‘bons’,  $|\pm 15\% \leq P_{bias} < |\pm 25\%$  ‘satisfatório’, e  $\geq |\pm 25\%$  ‘insatisfatório’ (Moriassi *et al.*, 2007); já para os valores da calibração referente à produção de sedimentos temos que os coeficientes  $<|\pm 15\%$  ‘muito bons’,  $|\pm 15\% \leq P_{bias} < |\pm 30\%$  ‘bons’,  $|\pm 30\% \leq P_{bias} < |\pm 55\%$  ‘satisfatório’, e  $\geq |\pm 55\%$  ‘insatisfatório’ (MORIASI *et al.*, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Calibração do modelo LISEM

A calibração dos dois eventos foi realizada a partir do ajuste inicial das variáveis respostas da componente hidrológica, para posteriormente a calibração do processo erosivo. Deste modo, essa etapa iniciou-se com o ajuste do volume escoado (mm), coeficiente de escoamento (%), através dos parâmetros de entrada do modelo, principalmente a  $K_{sat}$  e a umidade antecedente ao evento. Já o ajuste das variáveis tempo de ocorrência do pico do hidrograma e sedimentograma juntamente com a vazão de pico foi realizada através da calibração do n' Manning e rugosidade do solo. Durante a calibração do modelo, a  $K_{sat}$  para a camada 1 e 2 precisou ser reduzida drasticamente para que pudesse ser realizada o ajuste, principalmente para o evento ocorrido 17/07/2014 na camada 1 ou superficial, e para a camada 2 ou subsuperficial a modificação foi maior para o evento 19/03/2014. Nessa fase de ajuste da calibração observou-se que os valores na segunda camada afetam com maior sensibilidade os resultados do modelo para a parte hidrológica. Isto porque, na bacia hidrográfica em Arvorezinha as classes de solos existentes, possuem características que impedem a infiltração de água para maiores profundidades no perfil do solo. Outro parâmetro modificado foi a umidade antecedente ao evento, a mesma havia sido classificada como úmida, e por isso quando seu valor foi estimado através do banco de dados de curva de retenção de água no solo, os valores utilizados foram os obtidos na tensão de 33 kPa, correspondente a capacidade de campo. Sendo considerado tanto para a camada superficial como para a camada subsuperficial. O ajuste foi realizado aumentando a umidade antecedente ao mesmo tempo relacionando com o potencial matricial, através da curva de retenção de água pela equação de Van Genuchten. Ou seja, o parâmetro umidade foi sendo alterando, respeitando a porosidade total, e sendo calibrado concomitantemente o potencial matricial era obtido. Desta forma, ao final da calibração os dois

eventos foram muito semelhantes, isto é, chegou-se próximo ao valor da umidade de saturação ou porosidade total do solo.

Após, foi realizada os ajustes da vazão e tempo de ocorrência do pico do hidrograma. O n' Manning da superfície foi alterado para até 5 vezes do seu valor inicial, ou melhor, cada uso do solo possui um valor de n'Manning conforme uso e manejo, desta forma, o valor de calibração foi cinco vezes cada valor. Assim, é possível retardar a chegada da onda de cheia, ajustando o tempo de pico. A forma do canal de suco e sua rugosidade é de difícil obtenção e muito variável no espaço e tempo, conhecido como canais de fundo móvel, eles representam grande dificuldade para a modelagem, pois até mesmo a cada evento de chuva sua forma pode mudar. Auxiliando no ajuste da vazão de pico, a rugosidade do solo (RR) foi alterada para valores acima do seu inicial para favorecer a maior retenção de água na superfície atrasando o início do escoamento e reduzindo a vazão de pico. O valor rr foi modificado apenas para o evento 17/07/2013. As tabelas 4 e 5 apresentam os valores medidos e simulados, bem como o desempenho estatístico do modelo para a parte hidrológica.

Uma das maneiras de avaliar o desempenho do modelo é através do Pbias, o qual foi calculado para cada variável ajustada. Assim, na tabela 5 são apresentados os resultados estatísticos para os dois eventos calibrados. De acordo com Moriasi et al. (2007) os eventos foram classificados como “muito bom” para quase todas as variáveis, apenas para a vazão de pico do evento 19/03/2014 que o valor foi considerado “insatisfatório”. No processo de calibração esse evento foi difícil de calibrar porque os valores de C apresentavam-se com elevado valor considerando o volume de pico, o qual pode ser considerado baixo - 80, 76 L s<sup>-1</sup>.

Tabela 4: Valores dos valores medidos e simulados para a formação do escoamento superficial dos três eventos calibrados.

Evento	Data	Volume escoado (mm)		Q <sub>sup</sub> pico (L s <sup>-1</sup> )		T pico (min)		C (%)	
		Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
1	19/03/2014	0,848	0,772	80,76	114,30	370	358,833	2,47	2,25
2	17/07/2014	0,839	0,827	285,73	331,35	90	89,833	6,45	6,453

Q<sub>sup</sub> pico: Vazão de pico, T pico: tempo de ocorrência do pico do hidrograma, C: coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 5: Desempenho estatístico do modelo LISEM para os dois eventos calibrados.

Evento	Data	COE	Pbias (%)			
			Vol Esc.	Q <sub>sup</sub> pico	T pico	C
1	19/03/2014	0.68	-8.96	41.53	-3.02	-8.91
2	17/07/2014	0.95	-1.43	-0.19	15.97	0.05

COE: coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe, Vol. Esc.: volume total escoado, T pico: tempos de ocorrência do pico do hidrograma, C: coeficiente de escoameto.

A figura 2 mostra o desempenho do COE para o evento 17/07/2014, o qual obteve um COE de 0,95. O COE foi utilizado para avaliar a modelagem para a forma do hidrograma, e também podendo ser utilizado para avaliar a forma do sedimentograma. O evento 17/07/2014 apresentou um COE de 0,95 que se enquadra em “muito bom”, pois valores próximos ao 1 é um ajuste perfeito. Já o evento 19/03/2014 ficou próximo do valor a ser considerado “bom”, sendo classificado como “satisfatório”, todavia valores acima de 0,7 são classificados com “bom” e esse evento teve um valor de COE de 0,68.

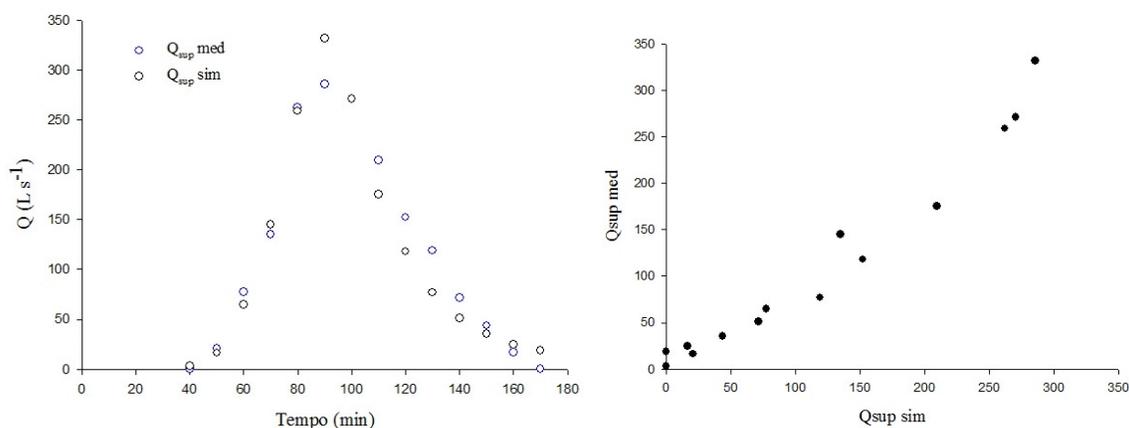


Figura 2: Hidrograma medido e simulado para o evento 17072014, e relação 1:1 dos valores medidos com valores simulados.

Em relação a calibração do processo erosivo, dificuldades ainda são encontradas durante essa etapa, pois a complexidade do processo, características do local, e ainda a própria estrutura do modelo, juntos tornam difícil essa etapa. As variáveis respostas a serem ajustadas são: produção de sedimentos (PS), concentração máxima e média de sedimentos em suspensão, e o tempo de ocorrência do pico do sedimentograma. Para isso, são necessários a calibração dos parâmetros de entrada referente a resistência do solo a desagregação e tamanho da partícula. Assim, desempenham esse papel a coesão do solo (Coh) e adicional por raízes (Coah), estabilidade de agregados, e D50. Em um teste de análise de sensibilidade na escala de parcela localizada dentro da área de

estudo, verificou-se que os valores de estabilidade de agregados era alterada significativamente tanto para mais quanto menos, e só foi verificado resultados de mudança na desagregação do solo quando os valores foram reduzidos a -50 vezes, -100 vezes e o maior impacto reduzindo a -500 vezes do valor original. A equação da desagregação do solo que envolve a estabilidade de agregados, foi desenvolvida e calibrada para a região de Limburg, Holanda, onde o modelo foi criado. Assim, pode haver inconsistência de equação para a região de estudo, Arvorezinha, em relação a região de Limburg, pois analisando os componentes da equação da desagregação pelo impacto da gota da chuva -  $D_s$ , os mais sensíveis foram os próprios coeficientes. Já a coesão do solo e por raízes, são considerados também de grande impacto na tentativa de calibração do processo erosivo, pois representam a resistência do solo em desagregar pela tensão cisalhante do escoamento superficial. Assim, durante a calibração alterou-se os valores para maior que 100, pois valores menores que esse tinham pouco impacto nos resultados desejados. A produção de sedimentos foi reduzida de forma satisfatória para o evento 19/03/2014, conforme tabela 5. Entretanto, ao altermos o valor de  $C_{oh}$  e  $C_{oah}$  além de reduzir a produção de sedimentos, reduzimos também a  $C_{ss}$  max e med. Assim, a calibração do sedimento, não foi alcançada com nível e desempenho estatístico satisfatório, para ambos os três eventos. O evento 17/07/2014 apresentou valores de  $C_{ss}$  max e med mais próximos dos valores medidos (Tabela 7), mas os valores de produção de sedimentos são extremamente altos.

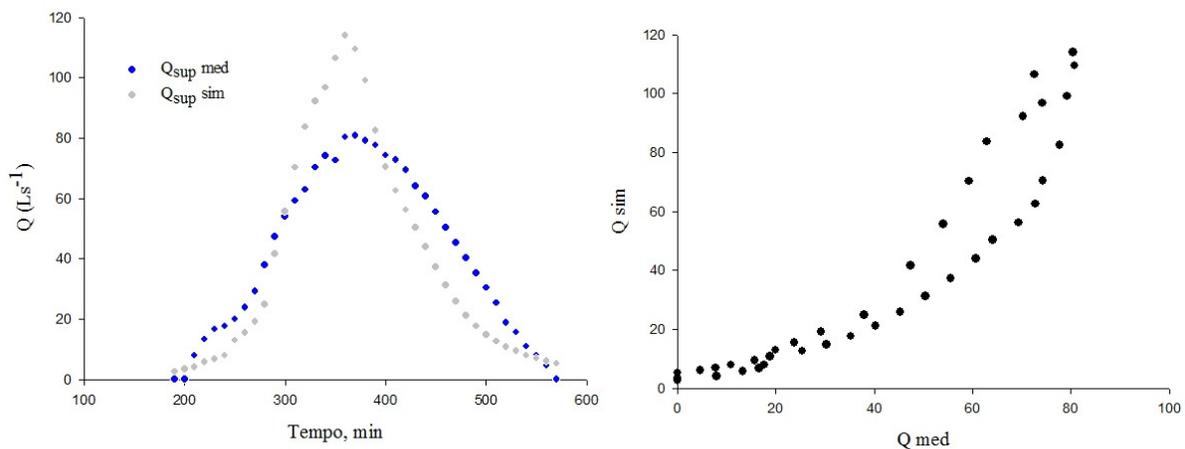


Figura 3: Hidrograma medido e simulado para o evento 19032014, e relação 1:1 dos valores medidos com valores simulados.

Ainda nesse contexto, cabe ressaltar a dificuldade em o modelo LISEM em representar adequadamente a sua componente erosiva, devido alguns motivos já citados acima. Na tentativa de verificação e análise de sensibilidade do modelo, em uma escala de parcela, vários testes foram feitos e comparados com valores medidos nessa parcela de campo (localizada na própria bacia).

Assim, pode-se concluir com essa análise que alguns processos não estão sendo representados pelo modelo, conforme é verificado no campo e comprovados pelo monitoramento. Ou seja, os valores que estão sendo medidos no exutório em relação a produção de sedimentos é praticamente sempre menor do que o valor que o modelo simula, mas o fato que chama a atenção é o fato de que ao verificar a parte do modelo que quantifica os valores de desagregação pelo impacto da gota e escoamento superficial comparados com os valores mensurados a campo, nos deparamos com valores próximos (Tabela 7). Então, o valores simulados na desagregação estão coerentes, mas os valores de transporte e deposição apresentam incoerência. Um dos parâmetros de entrada de maior importância nesse processo é o modelo numérico do terreno (MNT), o precisa ser obtido com maior resolução espacial, conseguindo captar importantes componentes do relevo na bacia. Uma vez que o LISEM segue o Ldd (linhas de fluxo) obtido pelo MNT para realizar a propagação do escoamento superficial e este por sua vez é o componente mais atuante na desagregação do solo e transporte do sedimento. De acordo com Hessel et al., (2003) essa é uma das razões mais óbvias e também mais importantes pela diferença discrepante entre as taxas de erosão do solo simuladas e observadas.

Tabela 6: Valores dos valores medidos e simulados para o processo erosivo para os três eventos calibrados.

Evento	Data	PS (t)		CSS max (g L <sup>-1</sup> )		T pico CSS (min)		CSS média (g L <sup>-1</sup> )	
		Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
1	19/03/2014	0,48	0,70	0,735	0,001	370	358,833	0,377	0,00016
2	17/07/2014	0,81	967,74	1,37	1,613	90	89,833	0,544	0,250

PS: produção de sedimento, C<sub>ss</sub> max: concentração máxima de sedimentos em suspensão, C<sub>ss</sub> med concentração média de sedimentos em suspensão, T pico C<sub>ss</sub>: tempo de pico de ocorrência do sedimentograma.

Tabela 7: Relação entre os valores medidos e simulados pelo LISEM, na escala de parcela localizada dentro da bacia de Arvorezinha.

	Oliveira, 2010 (Kg m <sup>-2</sup> )		LISEM (Kg m <sup>-2</sup> )
Área	0,375 m <sup>2</sup>	4,9m <sup>2</sup>	9580 m <sup>2</sup>
Ds	0,000478	-	0,018
Df	-	0,68895	36,33
<b>Ds/Df</b>	<b>0,07%</b>		<b>0,05%</b>

Ds: desagregação pelo impacto da gota da chuva, Df desagregação pelo escoamento superficial.

### Análise do impacto no processo erosivo pelos diferentes cenários

A formulação de cenários futuros é um passo muito importante para a modelagem matemática, e ainda uma ferramenta de grande facilidade para auxiliar na gestão dos recursos naturais. Todavia, o uso dessa ferramenta requer cautela, pois não se pode simular cenários senão passarmos por outras importantes etapas, principalmente a calibração. Deste modo, optou-se por não utilizar os valores obtidos com a calibração, digamos “insatisfatória”, para avaliar os cenários 1, 2 e 3, pois não estaria de acordo com o protocolo de uso da modelagem.

As tabelas 8, 9 e 10 apresentam os resultados para a simulação dos três diferentes cenários propostos. Como vimos a calibração do sedimento para os três eventos não ocorreu por completo ou de forma satisfatória para todos os itens a serem ajustados. Desta forma, apresenta-se nas tabelas desse item os resultados obtidos para a componente hidrológica do modelo, pois essa pode ser calibrada e assim formular cenários futuros. O cenário 1 é o dobro da intensidade de chuva ocorrida, uma condição extrema, até mesmo para os eventos extremos. Todavia, em virtude dos últimos anos, percebemos as anomalias climáticas que estão ocorrendo, como por exemplo, registro de ciclones no Brasil, e frequentemente a presença do fenômeno El niño (Boletim técnico n° 8, IMNET, 2014; Theisen *et al.*, 2009; Marengo *et al.*, 2007 ). Assim, se propôs o uso de uma condição extrema para os três eventos com magnitudes diferentes, baixa, média e alta, e avaliar seu impacto na formação do escoamento superficial e na produção de sedimentos. A tabela 9 apresenta essa condição extrema, e podemos perceber que no evento de média magnitude o impacto na componente hidrológica foi significativo, uma vez que a vazão de pico e coeficiente de escoamento, energia no sistema, alcançaram valores de eventos extremos.

Tabela 8: Resultado da componente hidrológica do modelo LISEM para o cenário 1.

Evento	Data	Volume escoado (mm)		Q <sub>sup</sub> pico (L s <sup>-1</sup> )		T pico (min)		C (%)	
		Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
<b>Intensidade de chuva +100%</b>									
1	19/03/2014	0,848	18,746	80,76	2.802,71	370	352,0	2,47	27,33
2	17/07/2014	0,839	9,476	285,73	4.553,92	90	85,67	6,45	36,948

Q<sub>sup</sub> pico: Vazão de pico, T pico: tempo de ocorrência do pico do hidrograma, C: coeficiente de escoamento superficial.

O cenário 2 é um condição intermediária, pois estamos aumentando a intensidade de chuva pela metade do seu valor monitorado. Percebemos em ambos os eventos, de baixa e média magnitude, que aumentando 50% da intensidade os valores aumentaram consideravelmente, o que implicaria em grandes perdas de água e também de solo. O coeficiente de escoamento ficou extremamente alto para os eventos indicando uma preocupação quanto ao regime de chuvas que

podem ocorrer em nosso estado e país. Com chuvas frequentes e mais intensas geram grande probabilidade de ocorrerem chuvas com a intensidade do cenário 2, e o resultados são preocupantes, pois não estamos preparados para receber tal volume de chuva. Ou seja, esses cenários auxiliam na tomada de decisão de que é necessário não apenas conscientizar as propriedades rurais, porque como não há leis que exijam o maior comprometimento do produtor com a conservação do solo, há tendência da negligência do produtor frente a essas questões. Todavia, vem sendo discutido na sociedade científica a necessidade de maiores estudos e retomada das práticas conservacionistas em sua plenitude conceitual, como por exemplo, o sistema plantio direto e as práticas mecânicas de controle da erosão. Um exemplo de legislação quanto as práticas conservacionistas frente ao processo erosivo, é o estado do Paraná, que instituiu a Resolução n° 172 de 03/09/2010, Lei 8485/87, que estabelece a inserção das práticas conservacionistas do solo, bem como alocação dos terraços conforme normas técnicas frente ao impacto do processo erosivo frente a conservação dos recursos naturais.

Tabela 9: Resultado da componente hidrológica do modelo LISEM para o cenário 2.

Evento	Data	Volume escoado (mm)		Q <sub>sup</sub> pico (L s <sup>-1</sup> )		T pico (min)		C (%)	
		Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
<b>Intensidade de chuva +50%</b>									
1	19/03/2014	0,848	6,014	80,76	1.043,655	370	345,833	2,47	11,69
2	17/07/2014	0,839	4,182	285,73	2.025,50	90	88,5	6,45	21,742

Q<sub>sup</sub> pico: Vazão de pico, T pico: tempo de ocorrência do pico do hidrograma, C: coeficiente de escoamento superficial.

O cenário 3 é uma condição de baixa intensidade de chuva, metade da intensidade monitorada. Esse cenário para ambos os eventos alcançou valores bem abaixo dos valores medidos, e bem menores dos outros cenários. Percebe-se na tabela 10 o quanto foi reduzido os valores de volume escoado e vazão de pico, os quais são resultado da energia obtida no sistema, ou melhor pelo processo de erosão ocorrida a partir de um evento de precipitação.

Por fim, comentando sobre a formulação dos cenários e a resposta frente as variáveis sedimentológicas, foi possível verificar alterações em seus resultados conforme o cenário utilizado, todavia, como os valores não foram calibrados corretamente, os valores obtidos na rotina de cálculo durante os cenários, não pode ser tomado como valor correto ou como uma resposta; mas a proporção de como eles se alteram ou não de acordo com as simulações pode ser um indicativo para avaliar a componente erosiva do modelo.

Tabela 10: Resultado da componente hidrológica do modelo LISEM para o cenário 3.

Evento	Data	Volume escoado (mm)		Q <sub>sup</sub> pico (L s <sup>-1</sup> )		T pico (min)		C (%)	
		Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado	Medido	Simulado
<b>Intensidade de chuva -50%</b>									
1	19/03/2014	0,848	0,072	80,76	6,484	370	370	2,47	0,418
2	17/07/2014	0,839	0,062	285,73	13,52	90	94,5	6,45	0,972

Q<sub>sup</sub> pico: Vazão de pico, T pico: tempo de ocorrência do pico do hidrograma, C: coeficiente de escoamento superficial.

## CONCLUSÕES

A calibração da componente hidrológica do modelo LISEM foi considerada “muito bom”, mas a calibração da componente sedimentológica apresentou dificuldades em decorrência da complexidade do processo erosivo e local de estudo, e estrutura de cálculo do modelo.

Grandes impactos foram gerados nesse primeiro semestre de 2014, e a uma tendência climática, pelos pesquisadores de haver ainda grandes volumes de chuva até novembro de 2014. Em vista desse cenário, a formulação dos diferentes cenários em dois eventos de chuva possibilitou a verificação dos impactos gerados ao ambiente, perda de água e solo, em decorrência do aumento da intensidade de chuva. Os cenários 1 e 2, indicaram aumento significativo nas variáveis respostas hidrológicas e em partes na sedimentológicas, em decorrência das alterações climáticas. Isso requer que haja mais comprometimento dos produtores rurais e autoridades competentes para a tomada de decisão frente as práticas conservacionistas do solo que minimizem o impacto das intensas precipitações.

## AGRADECIMENTOS

Aos órgãos públicos de fomento FAPERGS- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, ao CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Governo do Estado do Rio Grande do Sul .

## BIBLIOGRAFIA

- ARGENTA D.P.B. et al. *Avaliação do índice de erosividade da produção norte-nordeste do estado do Rio Grande do Sul*. In: Salão de Iniciação Científica, 13. Livros de Resumos. Porto Alegre: UFRGS, p. 37,2001.
- BARROS C.A.P. et. al., *Description of hydrological and erosion processes determined by applying the LISEM model in a rural catchment in southern Brazil*, Journal of Soil and Sediment, 14 (7): 1298-1310, 2014.

BARROS, C.A.P. *Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural com técnicas de monitoramento e modelagem*, 2012, 189f., Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2012.

BARROS, C.A.P. de *Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural com técnicas de monitoramento e modelagem*. 2012. 189 f. Dissertação - (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

Dalbiano L, Simulação hidrossedimentológica com o modelo LISEM em uma pequena bacia hidrográfica rural (Tese de doutorado) 98p. Doutorado em Ciência do Solo, UFSM, 2013.

DE ROO A.P.J *THE LISEM PROJECT: An Introduction*. Hydrological Processes, United Kingdom, v.10, p. 1021-1025, 1996.

DE ROO, A.P. J.; WESSELING, C. G. *LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins*. I: Theory, Input and Output. Hydrological Processes, United Kingdom, v. 10, p. 1107-1 117, 1995.

Disponível em <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/defis/educacao/LEGISLACAO/resolucao\\_seab\\_172\\_2010.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/defis/educacao/LEGISLACAO/resolucao_seab_172_2010.pdf)> , acessado em 07 de outubro de 2014.

Díspnível em <[http://www.inmet.gov.br/html/clima/cond\\_clima/bol\\_ago2014.pdf](http://www.inmet.gov.br/html/clima/cond_clima/bol_ago2014.pdf)>, acessado em 03 de outubro de 2014.

Díspnível em <[http://www.inmet.gov.br/html/clima/cond\\_clima/bol\\_jul2014.pdf](http://www.inmet.gov.br/html/clima/cond_clima/bol_jul2014.pdf)>, acessado em 03 de outubro de 2014.

EMATER, *Relatório do acompanhamento da safra 2011-2012*, Disponível em <[http://www.emater.tche.br/site/arquivos\\_pdf/safra/safraTabela\\_12012012.pdf](http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_12012012.pdf)> Acesso em 24 jan. 2012.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

HAAN C.T, BARFIELD B.J., HAYES J.C., *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, San Diego, 2003.

HESSEI R., JETTEN V., BAOYUAN L., YAN Z., STOLE J. *Calibration of the LISEM model for a small Loess Plateau catchment*. Catena 54:235-254, 2003.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, *Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra?* Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro / Wigold Bertoldo Schäffer... [et al.]. – Brasília: MMA, 2011. 96 p.

MARENGO J.A., ALVES L.M., VALVERDE M.C., LABORBE R., ROCHA R.P., *Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade*. Sub projeto: *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. Relatório nº 5. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/USP. São Paulo, 2007.

Mello NA, *Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo*. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

MERTEN, G. H.; MINELLA, G.P.G. *The expansion of Brazilian agriculture: soil erosion scenarios*. The 2<sup>nd</sup> WASWAC World Conference The threats to land and water resources in the 21st century: prevention, mitigation and restoration, 4– 7September 2013, Le MERIDIEN Chiang Rai Resort, Chiang Rai, 2013.

MINELLA J.P.G., et. al. *Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil*, Catena, 79: 228-236, 2009.

Minella JPG, *Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul*. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

MORGAN, R.P.C. et al., *The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide*. Silsoe College, Cranfield University, United Kingdom, 1988, 124p.

MORIASI, D.N., et al. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Transactions of the ASABE. v. 50, p. 885-900, 2007.

MORO M, *Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul*. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

NASH J.E., SUTCLIFFE J.V., *River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles*. J Hydrol 10(3):282-290,1970.

NEDEL, A. S.; SAUNSEN, T. *Análise das inundações bruscas ocorridas na região Sul do Brasil no período 1980 – 2009*. Ciência e Natura, Universidade Federal de Santa Maria, v. 34, nº1, p. 119-129, 2012.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. *Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados*. Edafología, v. 13, nº2, p. 73-85, 2006.

OLIVEIRA, F. P. *Modelagem do escoamento superficial e da erosão hídrica em bacia rural em Arvorezinha, RS, utilizando o WEPP*, (Tese de Doutorado). 2010. 173 f., Tese, (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

PELAEZ J.J.Z. *Hidrologia comparativa em bacias hidrográficas com eucalipto e campo* (Tese de Doutorado) 156f. Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

Pellegrini A, *Sistema de cultivo cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo*. Dissertação, Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

SHREVE, E.A.; DOWNS, A.C. *Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U. S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory, United States*, Geological Survey Open-File Report, 2005, 28p.

THEISEN, G.; VERNETTI JR., F. & SILVA, J.J.C. *Cultivo de soja em terras baixas em ano de El-niño*. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=865>>. Acesso em 07 mar. 2012.