

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

**COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE
UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL UTILIZANDO
TÉCNICAS DE MONITORAMENTO E MODELAGEM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CLÁUDIA ALESSANDRA PEIXOTO DE BARROS

SANTA MARIA, RS, BRASIL

2012

**COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE UMA
BACIA HIDROGRÁFICA RURAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE
MONITORAMENTO E MODELAGEM**

CLÁUDIA ALESSANDRA PEIXOTO DE BARROS

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em
Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como
requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Jean Paolo Gomes Minella

SANTA MARIA, RS, BRASIL

2012

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

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO
DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE
MONITORAMENTO E MODELAGEM**

elaborado por
Cláudia Alessandra Peixoto de Barros

Como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**

COMISSÃO EXAMINADORA:

JEAN PAOLO GOMES MINELLA Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

RUTINÉIA TASSI, Dr. (UFSM)

DOUGLAS RODRIGO KAISER, Dr. (UFFS)

Santa Maria, 29 de fevereiro 2012.

Dedico...

À minha avó Olivia Peixoto (*in memoriam*)

pelo grande incentivo aos meus estudos,

a saudade é grande.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e sempre à DEUS pelo dom da vida e por ter chegado até este momento.

Agradeço à minha FAMÍLIA pelo apoio sempre prestado durante minhas decisões e escolhas nesta trajetória.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria pelo ensino público e de qualidade desde minha graduação, a qual foi base para este trabalho de mestrado.

Agradeço ao Laboratório de Física do Solo em nome dos professores José Miguel Reichert e Dalvan Reinert e funcionário Flávio Fontinelli pela infraestrutura e apoio técnico desde a iniciação científica até o presente momento.

Agradeço ao professor e orientador Jean P. G. Minella por toda orientação prestada, paciência, ajuda e momentos de amizade, mesmo nos momentos mais difíceis, o meu Muito Obrigada.

Agradeço ao hidrotécnico da bacia de Arvorezinha Ademir Giongo, pelos trabalhos de campo e monitoramento que foram e são fundamentais para este tipo de estudo.

Agradeço aos moradores da comunidade Cândido Brum - Arvorezinha pela hospitalidade e ensinamentos passados.

Agradeço aos colegas e amigos do Laboratório de Física do Solo que convivi desde o ano de 2007 quando iniciei neste laboratório, pelos momentos de amizade, coleguismo e pelos ensinamentos; seriam muitos nomes e para não passar nenhum amigo, prefiro aqui deixar como aqueles que conviveram comigo por todo esse tempo.

Agradeço aos colegas e professores do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelos ensinamentos e amizade.

Agradeço aos meus amigos de convívio pessoal, que sempre me ajudaram, me escutaram e apoiaram em minhas decisões.

Agradeço em especial ao Grupo das Bacias Hidrográficas que se formou ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram trocas de conhecimento, ajuda em laboratório e campo, bem como momentos de descontração. Obrigada à vocês em especial: Leandro Dalbianco, Anaí S. Ottonelli, Rafael Ramon, Elizeu Didoné, Miriam F. Rodrigues, Alessandra Pichini, Márcia Kochen, Greissi Giraldi.

Agradeço muito especial ao amigo e colega Leandro Dalbianco por todo apoio durante esses dois anos de mestrado, tanto em laboratório, campo, como no momento de discutir os trabalhos.

Agradeço especialmente também a aluna de iniciação científica Anaí S. Ottonelli que esteve desde o início dos trabalhos aprendendo junto a respeito do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também em especial ao aluno de iniciação científica, amigo e que se tornou um grande companheiro Rafael Ramon, por ter me ajudado nos trabalhos de campo, laboratório, e ter dividido comigo muitos dos momentos da escrita da dissertação fazendo parte da minha vida pessoal.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

COMPORTAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE MONITORAMENTO E MODELAGEM

AUTORA: Cláudia Alessandra Peixoto de Barros

ORIENTADOR: Jean Paolo Gomes Minella

DATA E LOCAL DA DEFESA: 29 de Fevereiro de 2012, Santa Maria

O objetivo do trabalho foi analisar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica com intensa atividade agrícola a partir do monitoramento da precipitação, da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão. O estudo apresenta uma análise baseada em técnicas de monitoramento e de modelagem matemática com especial atenção à estimativa da infiltração de água no solo em escala de bacia, na modelagem do escoamento superficial, e nos processos de transferência de sedimentos da bacia vertente para o canal fluvial. A bacia experimental está localizada no município de Arvorezinha, região centro-norte do estado do RS. A bacia possui uma área de drenagem de 1,19 km², com predomínio de solos rasos, encostas declivosas, intensa atividade agrícola, e elevada produção de sedimentos. Foram monitorados 77 eventos de chuva-vazão-sedimentos ocorridos entre setembro de 2009 e agosto de 2011. Para este conjunto, foram aplicados três diferentes modelos, sendo eles o modelo de infiltração baseado na análise de hietogramas e hidrogramas, modelo curva-número e o modelo LISEM, ambos com análise da estimativa da infiltração e do escoamento superficial. Os resultados obtidos para esta bacia indicaram que: a) um modelo empírico e simples de estimativa da infiltração e escoamento superficial obteve um bom ajuste com os dados observados a partir do conjunto de hietogramas e hidrogramas, b) a calibração do modelo LISEM foi capaz de descrever a variabilidade espacial e temporal da infiltração e do escoamento superficial na escala de bacia. Estes resultados contribuem para a melhor compreensão dos processos hidrossedimentológicos em escala de bacia hidrográfica, indicando que o uso de ferramentas de modelagem matemática da erosão e da produção de sedimentos é eficiente para a indicação de práticas de uso e manejo do solo para a redução dos problemas econômicos e ambientais ocasionados pelas enxurradas e pela erosão.

Palavras-chaves: uso do solo, manejo do solo, infiltração de água, escoamento superficial, produção de sedimentos.

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

HYDROSEDIMENTOLOGICAL BEHAVIOR OF A RURAL WATERSHED USING TECHNICAL MONITORING AND MODELING

AUTHOR: Cláudia Alessandra Peixoto de Barros

ADVISOR: Jean Paolo Gomes Minella

DATE AND LOCAL OF PRESENTATION: Santa Maria, February, 29st, 2012.

The aim of this study was to analyze the hydrological behavior of a watershed with intense agricultural activity based on rainfall, water discharge and suspended sediment concentration data. The study provides an analysis based on monitoring and modeling techniques with special emphasis to the water infiltration estimate at catchment scale, the runoff modeling and processes of suspended sediment transfer from hillslopes to fluvial channel. The experimental catchment is located in the central-north part of Rio Grande do Sul State, Brazil, with a drainage area of 1.19 km², which is characterized by shallow soils, steep hillslopes, tobacco cultivation and high sediment yield. Besides the daily and monthly data, the study focuses on 77 rainfall-runoff-sediment events from September 2009 to August 2011. For this data series were used three different models, they being the infiltration model based on hietogramas and hydrographs analysis, curve number model and LISEM model, both with analysis on the estimate infiltration and the runoff. The obtained result for this watershed indicated that: a) the empirical and simple model for infiltration and surface runoff estimation had a fine adjustment with the observed data from the hietogramas and hydrograms, b) LISEM model calibration was able to describe the spatial and temporal infiltration variability and surface runoff in a watershed scale. These results contribute for a better understanding of hidrosedimentological processes in a watershed scale, indicating that the use of erosion and sediment yield mathematical modeling tools is efficient for practical indications of soil use and management for reducing environmental and economical problems resulted from runoff and erosion.

Key-words: soil use, soil management, water infiltration, runoff, sediment yield.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. HIPÓTESES.....	12
3. OBJETIVOS	12
3.1.OBJETIVO GERAL.....	12
3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
4.1 EROSIÃO HÍDRICA E A DEGRADAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA.....	14
4.2 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO	16
4.3 MONITORAMENTO AMBIENTAL	18
4.4 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	21
4.5 TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTOS: DA BACIA VERTENTE PARA O CANAL FLUVIAL.....	28
4.6 MODELAGEM MATEMÁTICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS	31
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1 LOCAL DE ESTUDO	35
5.1.1 Características da região	35
5.1.2 Características do local.....	36
5.2 MONITORAMENTO HIDROSEDIMENTOMÉTRICO.....	43
5.2.1 Monitoramento da precipitação	44
5.2.2 Monitoramento da descarga líquida	45
5.2.3 Monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}).....	47
5.2.3.1 Calibração do Turbidímetro	48
5.2.3.2 Análises de Laboratório	50
5.2.3.3 Estimativa da produção de sedimentos (PS)	52
5.2.4 Monitoramento da variabilidade do uso e manejo do solo	52
5.2.5 Composição do banco de dados.....	53
5.3 ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM BACIA HIDROGRÁFICA.....	54
5.3.1 Modelo da Infiltração Total Aparente	56
5.3.2 Modelo da Curva Número	58
5.3.3 Limburg Soil Erosion Model - LISEM	59
5.3.3.1 Dados de entrada.....	70
5.3.3.2 Características e calibração dos eventos utilizados	78
5.3.3.3 Análise estatística	80
5.4 ANÁLISE DO PADRÃO DE TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA E SEDIMENTOS DURANTE EVENTOS	81
5.4.1 Análise Qualitativa	82
5.4.2 Análise Quantitativa.....	84

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
6.1 MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICO	86
6.1.1 Precipitação.....	86
6.1.2 Descarga líquida (Q)	90
6.1.3 Concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss})	94
6.1.4 Análise na escala de eventos.....	99
6.2 MODELAGEM HIDROLÓGICA	109
6.2.1 Modelo de infiltração total aparente.....	109
6.2.2 Método da Curva Número (CN)	115
6.2.3 Limburg Soil Erosion Model - LISEM	119
6.3 COMPORTAMENTO E MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOMÉTRICA.....	121
6.3.1 Histerese entre a vazão e concentração de sedimentos em suspensão	122
6.3.2 Resultados da simulação do escoamento superficial com modelo LISEM	134
7. CONCLUSÕES.....	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXOS.....	157

1. INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil é a maior produtora da cultura do fumo (*Nicotina tabacum* L), sendo o Rio Grande do Sul considerado o estado com a maior produção nacional. Na safra 2009/2010 o Brasil foi considerado o 3º maior produtor mundial, com produção de 772,03 toneladas de fumo (AFUBRA, 2011). A produção de fumo é caracterizada por ocorrer em pequenas propriedades rurais, dependência de grande quantidade de mão-de-obra (basicamente familiar), uso intenso de agroquímicos e cultivo em áreas irregulares. A relação entre os produtores e as empresas fumageiras é baseada no sistema integrado. Muitas das áreas produtoras de fumo estão alocadas em áreas de baixa aptidão agrícola tornando-se o fumo uma das poucas opções rentáveis ao produtor rural nestas condições. Essas áreas apresentam elevada declividade, solos frágeis, uso intenso e muitas vezes inadequado do solo. Os solos rasos, com alta pedregosidade, ou com horizonte subsuperficial argiloso, que apresentam característica impeditiva ao fluxo de água, caracterizam muitas áreas cultivadas com fumo.

As atividades humanas modificam as propriedades do solo causando significativo impacto aos recursos naturais (solo, água e biodiversidade). Dentre estes, salienta-se a modificação na estrutura do solo, e a conseqüente alteração nas taxas de infiltração de água no solo. Muitos dos problemas relacionados com a ocorrência de enxurradas e prejuízos com estiagens têm forte relação com a redução da capacidade de infiltração de água no solo. Assim, a existência de áreas frágeis ambientalmente somadas ao uso inadequado do solo gera um quadro de degradação ambiental e até mesmo socioeconômico.

O processo de infiltração depende de fatores relacionados com o clima, relevo, solo e vegetação, sendo que a integração desses fatores faz com que haja uma grande variabilidade espacial, tornando difícil sua representação espacial em áreas heterogêneas, tal como em bacias hidrográficas. Em bacias hidrográficas, além da grande variabilidade do relevo, nos atributos e usos dos solos, existem processos importantes que afetam diretamente a infiltração de água no solo como, por exemplo, a dinâmica das áreas de afluência variável. Para algumas regiões da bacia este é o processo mais importante na formação do escoamento superficial e, conseqüentemente, na produção de sedimentos e na transferência de poluentes para os rios. A complexidade hidrológica do movimento da água no solo em áreas heterogêneas é um dos grandes desafios, pois conseguir representar e estimar em escala de bacia hidrográfica a infiltração de água é de extrema dificuldade.

A erosão hídrica é considerada o processo que causa a maior degradação do solo, sendo que esta ocorre pelo impacto da gota d' chuva que atinge o solo e pela desagregação provocada pelo escoamento superficial. A principal consequência da erosão hídrica é a produção de sedimentos e seu transporte. A produção de sedimentos causa diversos danos em todos os setores, como a produção agrícola, navegação, geração de energia, e compromete a qualidade da água. A camada fértil do solo é removida e os nutrientes são carregados com o sedimento, pois são as partículas mais finas as primeiras a serem removidas pela erosão. Assim, o solo vai tornando-se menos fértil e sendo necessárias novas adubações que geram maiores custos aos produtores rurais.

A funcionalidade das barragens acaba sendo comprometida pelo assoreamento de rios e erosão dos solos nas encostas, uma que vez que elas acabam servindo de reservatório para o sedimento. Assim, muitas barragens acabam sendo desativadas alguns anos após sua construção. Os sedimentos depositados nos reservatórios além de comprometer sua funcionalidade, acabam diminuindo a qualidade de água, podendo ocorrer um desequilíbrio no sistema aquático. Ou seja, a ocorrência de fenômenos como a eutrofização, devido a grande quantidade disponível de fósforo e nitrogênio fornecidos aos rios pelos sedimentos carregados até eles. Todavia, a produção de sedimentos é significativamente alterada pelo uso do solo, onde mudanças da cobertura vegetal podem afetar a produção e disponibilidade dos sedimentos.

Os processos hidrológicos afetam a erosão dos solos, sendo balanceada pelos processos de infiltração de água no solo e escoamento superficial. Para tal o estudo em pequenas bacias é considerado uma adequada escala de estudo, visto que é uma unidade de estudo integradora dos processos do ciclo hidrológico, sendo esses sensíveis a mudanças do uso e manejo do solo, e a diferentes precipitações. Portanto, é necessário e relevante contribuir para o entendimento da infiltração de água no solo e formação do escoamento superficial em áreas agrícolas marginais onde o comportamento desses processos desencadeia sérias consequências ao meio ambiente, principalmente, pela ocorrência de enxurradas, erosão hídrica, produção de sedimentos e transferência de poluentes.

Nesse sentido, este trabalho buscou compreender e descrever parte dos processos hidrológicos (infiltração e escoamento superficial) em uma pequena bacia rural, caracterizada pela fragilidade ambiental, visando fortalecer o entendimento dos processos erosivos e da dinâmica e transferência de sedimentos. Para isso foram utilizadas técnicas de monitoramento e modelagem hidrológica.

2. HIPÓTESES

1. Um conjunto representativo de eventos chuva-vazão que contemple diferentes épocas e magnitudes possibilita modelar a infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica.
2. A incorporação da segunda camada de solo para a descrição dos processos hidrológicos no modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model) melhora sua capacidade de representação do escoamento superficial.
3. O padrão de transferência de sedimentos e água na bacia experimental de Arvorezinha é o reflexo das características geomorfológicas e não dos padrões de precipitação ou do uso e manejo do solo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é aplicar e analisar diferentes métodos de estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica, bem como analisar o processo de transferência de sedimentos e água da bacia vertente para o canal fluvial.

3.2. Objetivos Específicos

3.2.1 Compor um banco de dados com variáveis hidrológicas e sedimentológicas as quais reflitam os condicionantes da infiltração, do escoamento superficial e da produção de sedimentos.

3.2.2 Avaliar a influência dos parâmetros físico-hídricos e das características fisiográficas da paisagem da bacia que influenciam os processos hidrossedimentológicos.

3.2.3 Testar diferentes modelos matemáticos de infiltração e geração do escoamento superficial na escala de bacia.

3.2.4 Analisar o padrão de transferência dos sedimentos e da água durante os eventos de chuva-vazão-sedimentos.

3.2.5 Quantificar a produção de sedimentos (PS) em diferentes escalas temporais na bacia.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Erosão hídrica e a degradação do solo e da água

A crescente demanda pela produção de alimentos e energia em todo mundo gera um quadro preocupante, devido ao uso intensivo e inadequado das terras. Os recursos naturais como a água e o solo são lentamente renováveis e as ameaças a biodiversidade alertaram a sociedade científica e população em geral sobre a importância da conservação do meio ambiente. Talvez, o uso parcimonioso dos recursos naturais tem sido o tópico mais importante em discussão no final do século passado e será o foco deste século. De acordo com relatório publicado em 2011 pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) 25% dos solos no mundo encontra-se em estágio avançado de degradação, colocando em risco os sistemas de produção e a qualidade dos recursos hídricos.

Desta forma, a preocupação com os processos que levam a degradação do solo e da água é de grande importância a curto, médio e em longo prazo. A degradação ambiental além de envolver a perda da qualidade dos recursos naturais (solos, água, biodiversidade) causa também problemas socioeconômicos como pobreza, perda de moradias por deslizamentos e por enxurradas, perda de áreas produtivas pela erosão ou salinização, contaminação da cadeia alimentar, doenças por veiculação hídrica, etc. Todavia podemos dizer que dentre esses, a erosão dos solos assume papel de destaque, inclusive por estar associada a um grande número de outros processos de degradação.

A erosão do solo é um conjunto de processos que envolvem a desagregação, transporte e quando não há mais energia para o transporte ocorre uma terceira fase que é a deposição das partículas do solo desagregadas (MORGAN, 2005). A primeira fase normalmente é promovida pelo impacto da gota da chuva em solo desprotegido. O material mais fino (argila, matéria orgânica) é desprendido preferencialmente, por serem partículas menores e mais leves. Depois de desprendido o material é transportado através da própria ação da gota da chuva que o arremessa para longe (salpico) e pelo escoamento superficial. O transporte dos sedimentos ocorre até o momento em que sua capacidade de transporte supera a carga de solo desprendido, caso contrário, esse material rico em nutrientes e matéria orgânica é depositado em depressões das vertentes e fundo dos vales. Todavia, o processo erosivo é considerado natural sendo a água, temperatura e vento, por exemplo, agentes ativos que atuam na formação da paisagem e solos no processo que também é conhecido

como erosão geológica. Quando o homem (agente passivo) intervém no meio natural provoca a erosão acelerada ou antrópica (PIRES; SOUZA, 2006; CARVALHO, 2008). No Brasil a erosão de maior importância é a erosão hídrica pluvial, isto é, a água da chuva é o maior agente ativo responsável pela remoção do solo e demais consequências. O país apresenta altos índices pluviométricos, sendo esse um dos grandes motivos do significativo impacto da erosão hídrica no país. Segundo Silva et al., (2005), a erosão hídrica é um dos principais problemas relacionados ao manejo dos solos no país, contribuindo para o empobrecimento e redução ou perda de sustentabilidade dos agroecossistemas, decorrentes do arraste dos solos, água, nutrientes e carbono orgânico a ela associada.

A aceleração do processo erosivo pode ser controlada quando se utiliza adequadamente o solo. O aumento na mudança da cobertura do solo (uso) e a implementação de estruturas mecânicas de controle da enxurrada reduz o processo erosivo. Estas medidas alteram a exposição do solo às gotas de chuva pela interceptação pelo dossel e cobertura morta, melhoria na qualidade estrutural do solo, e redução da velocidade do escoamento superficial, e aumento na infiltração. Segundo Defersha e Melesse (2012) a mudança do uso do solo de pastagem para solo descoberto aumentou a produção de sedimentos em 177,4 % em estudo de monitoramento em bacia hidrográfica pertencentes ao rio Mara no Kenya.

A produção de sedimentos é uma das principais consequências da erosão hídrica. Sua quantificação é importante, por que podemos correlacionar práticas de conservação do solo e da água no comportamento das descargas sólidas. Minella et al., (2009) realizaram estudo na bacia experimental de Arvorezinha, em duas épocas de análise, com e sem práticas conservacionistas, puderam concluir, entre outros, que no final do período (2003-2006) de estudo a produção de sedimentos diminuiu em 70,1%. Contudo, no ano de 2003 houve um evento considerado extremo responsável por grande quantidade de sedimentos (C_{ss} máxima, $11,42 \text{ g l}^{-1}$), o qual mesmo sendo excluído da análise mostra uma redução da produção de sedimentos entre os períodos de 33,5%.

Os efeitos da erosão hídrica podem ser observados no local de origem da erosão (fonte de sedimentos) ou nos rios e reservatórios onde são transportados e depositados, denominados de locais fora do local de origem. É importante ressaltar que a erosão em cabeceiras dos rios provoca a destruição de nascentes, comprometendo o abastecimento dos centros urbanos. As áreas de lavouras perdem sua camada mais fértil e fertilizante nela aplicados, não obstante às áreas de deposição e os corpos d'água recebem material com alta carga de agroquímicos e nutrientes afetando fortemente a qualidade do solo e dos mananciais. Walling (1999), em uma revisão sobre o impacto do uso da terra sobre a erosão e produção de sedimentos, relata sobre a deposição de elementos químicos em

área de várzeas (localizadas em planície) onde a concentração de fósforo (P) pode ser o dobro nos sedimentos em relação ao P no solo. Estes sedimentos sendo remobilizado podem chegar aos mananciais hídricos e provocar contaminação das águas.

Nesse contexto, cabe salientar que os processos hidrológicos, principalmente a infiltração e a formação do escoamento superficial, são responsáveis pelo desencadeamento da erosão hídrica na escala de bacia. Estes processos referem-se ao movimento da água sobre a superfície e abaixo dela, sendo o fluxo de matéria, nutrientes, poluentes coordenado por sua dinâmica. Componentes importantes do ciclo hidrológico como a infiltração de água no solo, controlam diretamente a erosão. Medidas que visem maior infiltração de água no solo diminuem o escoamento superficial, o qual é atuante na desagregação e transporte do material erodido. Jomaa et al., (2012) avaliou o desempenho de fragmentos de rocha com cobertura do solo, em laboratório, no processo da erosão, pode-se constatar que quando coberto o solo não está sujeito ao selamento superficial não ocorrendo diminuição da condutividade hidráulica do solo, o que conferiu maior infiltração de água na presença de material rochoso sob superfície. Além disso, ao proporcionar um sistema de manejo com maior cobertura vegetal é possível diminuir as perdas de solo e água, devido a menor formação do selamento superficial e maior detenção superficial da enxurrada no interior das mini depressões do solo, desta forma, proporcionando maior capacidade de infiltração de água no solo (GUTH, 2010).

Sendo assim, é extremamente importante para a evolução no entendimento dos processos erosivos que o regime hidrológico seja compreendido, principalmente o processo de infiltração e geração do escoamento superficial. Sem a compreensão destes fenômenos a descrição e o entendimento da erosão, da produção de sedimentos e a mobilização de poluentes é altamente sujeita a erros e incertezas.

4.2 A Bacia hidrográfica como unidade de estudo

A necessidade do planejamento e políticas públicas para a gestão ambiental precisa de apoio técnico – científico e este possui maior relevância quando trabalhos são realizados na unidade de bacias hidrográficas. O planejamento ambiental em bacias hidrográficas vem se constituindo nos últimos anos, no caminho mais propício para o desenvolvimento de pesquisas e implementação de ações que visem reverter quadros de degradação ambiental (MACHADO; STIPP, 2003).

Toda e qualquer ação realizada em seus componentes e interações que ocorram são perceptíveis no seu ponto final, desta forma, bacias hidrográficas são utilizadas em vários experimentos. Considerando as componentes da paisagem, temos: (a) os divisores de água que são as áreas na borda da bacia que pelo relevo mais elevado condiciona os fluxos para o talvegue; (b) as vertentes que correspondem à maior área de captação da água da chuva e tem a função de condicionar os fluxos superficiais e subsuperficiais; (c) a rede de drenagem que conduz os fluxos superficiais em direção ao exutório, (d) e as áreas úmidas que são áreas hidrologicamente importantes por controlar muitos processos. Estes três últimos componentes estão em estreita relação, as práticas de uso e manejo do solo e da água realizadas nas vertentes afetam fortemente a qualidade e a quantidade de água na rede de drenagem. Além disso, a conversão das áreas úmidas para o sistema de produção gera resultados negativos de grande magnitude em termos de disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica pode ser considerada como a unidade em que a descrição do ciclo hidrológico pode ser integrada, sendo que os efeitos das mudanças no uso do solo passam a ser mais reais e tornam as avaliações dos impactos mais eficientes. Na questão terminológica, as sub-bacias de forma geral são consideradas áreas de drenagem dos tributários do curso de água principal, e as microbacias são áreas formadoras das sub-bacias. Muitos autores acham subjetivo o termo microbacia e englobam-na no conceito de sub-bacia, contudo, outros definem esses conceitos diferentemente (TEODORO et al., 2007). No entanto, é importante não considerar apenas o tamanho da área das bacias hidrográficas, e sim a dinâmica e magnitude em que os processos hidrossedimentológicos ocorrem. Esses conceitos de sub-bacia e microbacia vêm ao encontro de pontualizar os problemas que se encontram difusos para tornar mais fácil o estudo da descoberta das fontes de degradação e poluição, bem como para buscar estratégias eficazes para a sustentabilidade do sistema produtivo desenvolvidos nas bacias.

Diferentemente de grandes bacias ($>100 \text{ km}^2$), bacias pequenas geram respostas mais rápidas e intensas na vazão e concentração de sedimentos a partir de um evento pluviométrico em função dos fatores e interações que ocorrem nas encostas. Girardi et al., (2011) obteve três curvas de permanência de vazão em escalas de bacias hidrográficas, sendo a menor 1,13, intermediária 19,4 e a maior $105,4 \text{ km}^2$ de área de drenagem todas compondo a mesma hidrografia; a bacia menor denominada sub-bacia apresentou em quase todo tempo monitorado Q95 abaixo de 1 m s^{-3} e em menos de 5% do tempo ocorreram vazões elevadas, assim a inflexão da curva de permanência é bastante abrupta, enquanto que nas outras duas escalas de bacias, maiores, não obtiveram inclinação na curva. Os autores revelam que esse comportamento junto com outros dados obtidos são reflexos

diretos das escalas, visto que quanto menor a bacia menor a capacidade de amortecimento da onda de cheia e armazenamento da chuva.

O desencadeamento do processo erosivo ocorre em diferentes escalas espaciais e temporais, os estudos em parcelas são importantes para informar a respeito do impacto da gota da chuva, salpico e mobilização dos sedimentos, entretanto, não é possível identificar nessa escala processos como erosão fluvial e/ou processos que desencadeiam o escoamento superficial como o selamento superficial. Chaplot e Poesen (2012) desenvolveram um trabalho em seis escalas (microparcela-1m² até bacia hidrográfica de 1000 ha) para avaliar a taxa de emissão de sedimentos (SDR – Sediment Delivery Ratio), carbono orgânico (CO) e a formação do escoamento superficial. Os autores obtiveram uma significativa redução no SDR e CO da microparcela para encosta indicando que apenas uma parte do material desprendido e transportado pelo impacto da gota da chuva atinge as áreas mais baixas das encostas. Em uma segunda análise de escala (encosta - bacias de 30 e 60 ha) observou-se o aumento do escoamento superficial, que se deve ao processo de exfiltração, além do aumento da entrega dos sedimentos e carbono orgânico, explicado pelo possível surgimento de outros processos erosivos, como a erosão fluvial. Em última análise, o material removido em direção a bacia de maior área de captação (1000 ha), apresentou redução no SDR e CO, explicado pelas áreas planas que atravessam o rio e que podem servir de área de deposição para esse material. Observa-se que alguns processos e conclusões foram possíveis pela complementaridade das escalas de trabalho, ou seja, processos hidrológicos e erosivos que não podem ser percebidos nos estudos somente em parcelas experimentais ficam evidentes nas escalas maiores de estudo.

Desta forma, é crescente o interesse em trabalhos em bacias hidrográficas, contudo, a rede de bacias experimentais ainda é pequena. Os altos custos de instalação e condução de uma bacia hidrográfica experimental podem ser convertidos em informações úteis aos gestores, os quais através dos resultados da rede de monitoramento podem traçar medidas para diminuir os problemas ambientais e aumentar a capacidade produtiva das terras (MINELLA, 2004).

4.3 Monitoramento ambiental

O estudo da hidrologia por muito tempo foi desenvolvido pelo conhecimento empírico de muitos cientistas da área, entretanto, por volta dos anos 60-80 surgiram as primeiras bacias experimentais com o objetivo de quantificar as variáveis relacionadas a qualidade e disponibilidade

dos recursos hídricos (MENDIONDO; TUCCI, 1997; LIMA; ZAKIA, 1996). Deste modo, o monitoramento ambiental desenvolvido em bacias hidrográficas é baseado em variáveis explicativas (precipitação, vazão, turbidez, concentração de sedimentos em suspensão, etc.) que caracterizam o ciclo hidrológico. O monitoramento demanda longo período de tempo e investimento, mas seus resultados trazem vantagens, como por exemplo, escolha de técnicas que aumente o armazenamento de água no solo, melhoria da qualidade da água, diminuição do assoreamento de rios e reservatórios, etc.

O monitoramento é considerado um método preciso, pois vários trabalhos foram e vem sendo desenvolvidos com credibilidade às técnicas de monitoramento, diagnosticando de forma mais precisa o efeito - causa dos processos de degradação ambiental. De maneira geral é através do monitoramento que é possível obter uma série temporal das descargas líquidas e sólidas a fim de entender seu comportamento na bacia hidrográfica. As técnicas são realizadas conforme o objetivo e a infra-estrutura disponível. Desta maneira, é importante delimitar os objetivos pretendidos antes da instalação de uma bacia experimental de monitoramento. Minella (2004) em estudo com monitoramento ambiental obteve importantes informações sobre o coeficiente de escoamento, vazão máxima e a produção de sedimentos, os quais foram relacionados com o uso do solo e as condições climáticas numa bacia experimental, o autor alcançou importantes correlações entre elas gerando importantes parâmetros para a gestão pública ambiental.

O desenvolvimento de uma seção de monitoramento requer alguns cuidados quanto a escolha do local. Conforme Santos et al., (2001) as seguintes características são importantes:

- a) Escolher um trecho do rio que seja o mais retilíneo possível, onde as margens sejam suficientemente altas para acomodar o escoamento;
- b) Haver uma seção controle de jusante, como quedas, corredeiras e cachoeiras;
- c) Fácil acesso a esta seção, principalmente durante os eventos de chuva;
- d) Escolher uma seção próxima a uma residência para evitar depredação de equipamentos;
- e) Evitar locais nas proximidades da foz de rios e oceanos; e
- f) Evitar seções logo à jusante de confluência de rios.

Em muitos casos, dificilmente reuniremos todas essas características, todavia, deve-se buscar atingir o maior número possível delas. É importante considerar que no monitoramento de pequenas bacias, é que a maior transferência de água, sedimentos e poluentes ocorre nas cheias, quando a vazão do rio pode ser extremamente elevada, é de conhecimento comum que 70 a 90% dos sedimentos transportado em curso d'água ocorrem durante eventos de chuva-vazão. Desta

forma, é importante monitorar esses períodos de cheia (Figura 1). Nessas situações a infraestrutura deve ser adequada para monitorar as variáveis explicativas dos processos hidrossedimentológicos, como a precipitação, a vazão e a concentração de sedimentos em pequenos intervalos e a equipe deve ser suficiente e treinada para acompanhar e coletar amostras durante os eventos de chuva.

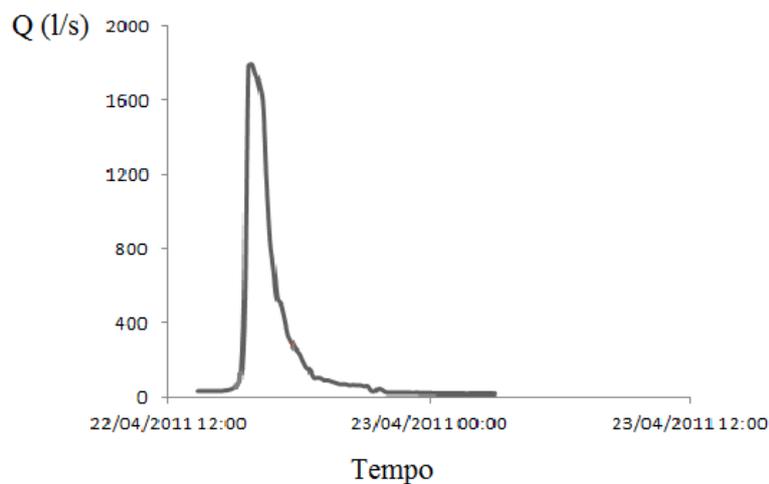


Figura 1: Hidrograma (vazão *versus* tempo) mostrando a resposta rápida da chuva na elevação da vazão (Q) em uma pequena bacia hidrográfica.

A seção de monitoramento convencional é composta basicamente por linígrafos instalados junto a calhas medidoras de vazão ou vertedouros, estações meteorológicas, pluviógrafos e pluviômetros, turbidímetros, amostradores de sedimentos em suspensão e/ou de fundo. A seção deve contar com a presença de um hidrotécnico, o qual acompanha as coletas nas cheias e auxilia na manutenção dos equipamentos automáticos e manuais. O uso de equipamentos automáticos na determinação da concentração de sedimentos em suspensão vem sendo cada vez mais utilizado por redes de monitoramento, sendo o caso do turbidímetro.

O princípio de funcionamento do turbidímetro é baseado na propriedade de turbidez da água a qual dispersa ou absorve raios de luz devido a presença de material em suspensão na água. Desta forma, o seu uso fornece a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão, sendo necessárias calibrações para melhorar a sua precisão de leitura, visando correlacionar os sedimentos suspenso com o sinal eletromagnético (milivolts - mV) emitido pelo aparelho. Trabalhos avaliando o uso do turbidímetro mostram sua aplicabilidade e eficiência no monitoramento, estimando de

forma confiável a concentração de sedimentos em suspensão, todavia, eles apontam que é necessária a calibração do equipamento para cada situação de estudo (PAVANELLI, D.; PAGLIARANI, A. 2002; MINELLA et al., 2008). Assim, para o monitoramento de pequenas bacias, o uso de aparelhos automáticos é fundamental, pois é possível obter os dados durante todo o período da ocorrência de cheia e das concentrações mínimas sem a necessidade de ter pessoas coletando amostras constantemente na seção de monitoramento.

Finalmente, o monitoramento envolve significativo trabalho em laboratório. O trabalho em laboratório engloba análises químicas e físicas das amostras de sedimentos e da qualidade da água. As atividades desenvolvidas no laboratório exigem que o ambiente seja organizado, limpo e que os equipamentos como as balanças estejam em adequado funcionamento. A determinação em laboratório pode ser para determinação de características físicas dos sedimentos, como a granulometria, a qual pode ser obtida por diferentes métodos, como método das peneiras e pelo aparelho granulometro. Além disso, existem as análises químicas como a determinação dos elementos fósforo, potássio, nitrogênio e ainda a determinação de carbono orgânico que estão ligados aos sedimentos. A qualidade da água depende das condições naturais e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, para avaliá-la são realizadas análises das características físicas, químicas e microbiológicas da água as quais fornecem a viabilidade do uso para o consumo humano, através de parâmetros como coliformes fecais e totais.

4.4 Infiltração de água no solo

O ciclo hidrológico envolve diferentes estados físicos da água entre a terra e a atmosfera, onde o sol fornece a energia necessária para a mudança dos estados físicos da água (Figura 2). A precipitação da água na forma de chuva sobre o solo, infiltração e movimento da água dentro do perfil do solo, e o escoamento da água sob a superfície são processos de vital importância para a vida na terra. A infiltração de água no solo é umas das componentes de maior importância do ciclo hidrológico, pois interfere diretamente no desencadeamento de outros processos que oportunizam a vida e a geração de produtos, mas que também causam problemas ambientais. Rose (2004) cita que diferentes atividades humanas como rural, urbana, recreativa e industrial incidem na infiltração de água no solo, geralmente diminuindo sua capacidade de infiltração.

Muitos dos problemas relacionados com a ocorrência de enxurradas e prejuízos com estiagens têm forte relação com a redução da capacidade de infiltração de água no solo. As características da cobertura vegetal, propriedades físico-hídricas do solo, e características climáticas como a intensidade de chuva são considerados fatores que afetam diretamente a capacidade de infiltração de água no solo. A redução da capacidade de infiltração diminui o armazenamento de água no solo e desta forma, quando em períodos de menores precipitações a disponibilidade hídrica para a humanidade, animais e desenvolvimento das plantas fica comprometida até períodos de maior precipitação. Já quando ocorrem períodos de altas precipitações e/ou eventos de alta magnitude são necessário medidas (medidas vegetativas, mecânicas) para conter as enxurradas, uma vez que o solo vai diminuindo a capacidade de infiltração com o aumento da umidade do solo. De acordo com Faria e Pedrosa (2005) o avanço de urbanização em uma bacia hidrográfica através da retirada de áreas agrícolas e florestais nas vertentes e locais de leito de cheia causa um forte impacto nos processos hidrológicos, aumentando o risco de enchentes devido à diminuição do processo de infiltração de água no solo. Os mesmos autores dizem ainda que na bacia em estudo observaram a existência de linhas de água efêmeras que desaparecem durante período não chuvoso, reflexo das áreas impermeabilizadas.

Estudando o impacto de diferentes usos do solo e duas condições de umidade (época seca e úmida) em uma bacia hidrográfica sob a infiltração de água no solo, verificou-se que na época seca pode-se observar melhor a influência do uso do solo no processo de infiltração, sendo classificada como infiltração muito baixa no período úmido (ANTONELI; THOMAZ, 2009).

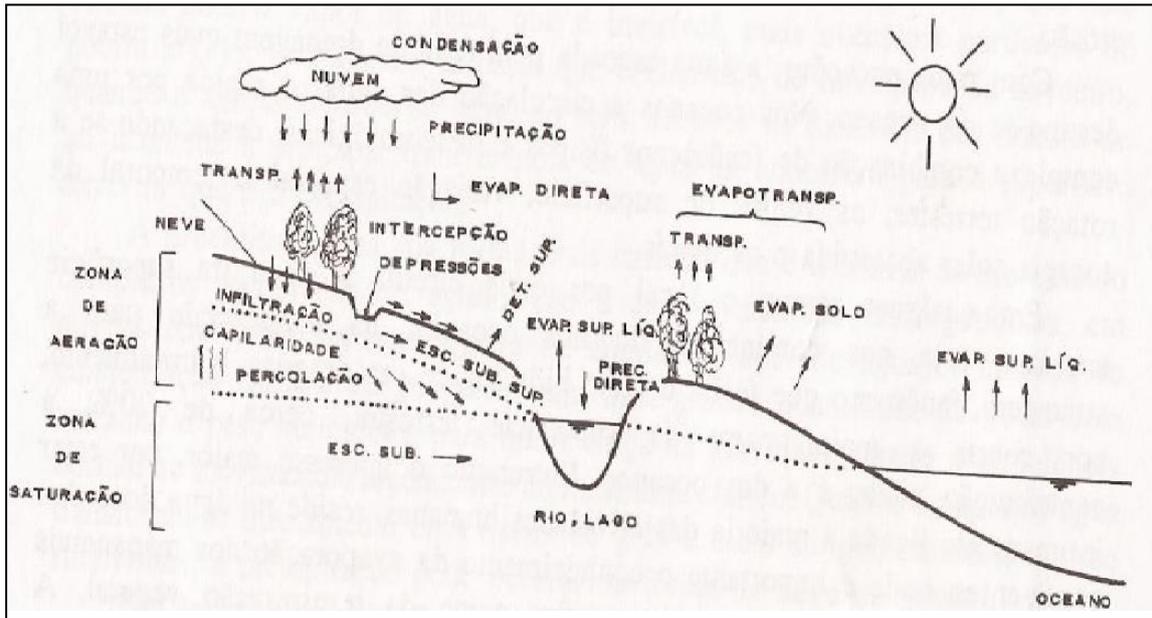


Figura 2: Ciclo hidrológico. (Fonte: TUCCI, 2001)

A melhoria da disponibilidade e na qualidade dos recursos hídricos é uma das grandes demandas da sociedade, pois os cenários nos últimos dois anos no estado do Rio Grande do Sul (RS), onde ocorreram enchentes devastadoras e atualmente estiagens severas revelam que são necessárias medidas urgentes para aumentar a permanência da água no perfil do solo. Os relatórios do acompanhamento das safras no estado do Rio Grande do Sul (RS) indicam uma redução de 45% na safra 2011-2012 em relação à safra 2010-2011 da produção da cultura do milho, reflexos da estiagem (EMATER, 2012). Deste modo, a determinação da infiltração de água no solo é muito importante, sendo um bom indicativo da qualidade física do solo, podendo ser usado para definir técnicas de conservação do solo e da água, visando reduzir os danos das estiagens e também das enchentes.

A determinação da infiltração de água no solo é uma tarefa complexa em virtude da sua variabilidade espaço-temporal. Assim, a modelagem hidrológica de base empírica e de base física - teórica através dos seus pressupostos tentam explicar a infiltração, existindo algumas metodologias para a determinação a campo e em laboratório para estimar este processo. Entre os modelos empíricos destaca-se o de Horton, onde estabelece que ocorra escoamento sob a superfície quando a intensidade da precipitação for maior que a capacidade de infiltração de água no solo. Além disso, o escoamento superficial (Hortaniano) assume que o escoamento ocorre igualmente em toda área da bacia hidrográfica, considerando a infiltração um processo homogêneo (VESTENA, 2008). Outro modelo amplamente utilizado, de base física - teórica é o modelo de Green e Ampt o qual é

derivado da equação de Darcy e estima a infiltração de água no solo em função das características do solo, como condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}), potencial matricial (Ψ_m), umidade inicial (θ_i) e de saturação do solo (θ_s). No modelo de Green e Ampt assume-se que durante o processo de infiltração existe uma carga hidráulica constante na superfície do solo e, ainda, que a frente de umedecimento é bem nítida e precisamente definida, acima da qual o solo se encontra uniformemente saturado e a condutividade hidráulica ocorre em condições saturadas (K_{sat}), e que o valor do potencial matricial (Ψ_m) nesta frente permanece igual ao valor do potencial matricial relativo à umidade inicial do solo (θ_i) (ZONTA et al., 2010).

Em relação aos métodos de estimativa da infiltração de água no solo, estes assumem que o processo de infiltração ocorre de forma homogênea no solo, o que não condiz com a realidade do processo, pois a variabilidade das características do solo, entre outros, pode mudar em poucos centímetros (cm) tornando o processo altamente variável e de difícil previsão (ROSE, 2004). Dentre as metodologias existentes para determinação da infiltração é comum a utilização do método do infiltrômetro ou anéis concêntricos (FIORIN, 2008) simulador de chuva (BUBENZER; MEYER, 1965; SOBRINHO, et al., 2002), e perfil instantâneo (HILLEL, 1972). Cada método apresenta aplicações específicas, com vantagens e desvantagens, dependendo do objetivo do trabalho e das características do sistema. Nestes casos, os resultados obtidos representam situações homogêneas de uso, manejo, relevo e solo, indicando que a extrapolação para diferentes escalas é de grande incerteza.

A variabilidade espaço-temporal das propriedades do solo, por exemplo, a umidade do solo e a K_{sat} tornam a estimativa da infiltração um grande desafio em áreas heterogêneas. Segundo Nachabe et al., (1997), parâmetros físico-hídricos como a sortividade e a condutividade hidráulica do solo saturado apresentam grande variabilidade espacial em escala de bacia hidrográfica. Como os estudos de conservação do solo e da água e a sua gestão é mais representativo na escala de bacias, a estimativa da infiltração é um grande desafio. Em bacias hidrográficas, além da grande variabilidade nas características do solo, no uso do solo e no relevo, existem processos importantes que afetam diretamente a infiltração de água no solo, como por exemplo, a dinâmica das áreas de afluência variável (ROSE, 2004; BEVEN; KIRKBY, 1979). Sendo que para algumas regiões da bacia, estas áreas são as mais importantes na formação do escoamento superficial (MENDIONDO; TUCCI, 1997). As áreas de afluência variável são as grandes responsáveis pelo escoamento superficial rápido na bacia hidrográfica, o qual é denominado de escoamento das áreas saturadas ou também conhecido como escoamento dunniano (DUNNE, 1978, 1983). Diferentemente do pressuposto de Horton, que retrata o processo de infiltração de forma homogênea para toda área da

bacia, existem algumas poucas áreas que podem produzir escoamento superficial mesmo que a intensidade da chuva seja menor do que a capacidade de infiltração do solo. Nas áreas próximas das redes de drenagem o solo encontra-se saturado ou perto da saturação. Já nas porções mais altas da encosta a tendência é toda água da chuva infiltrar-se colaborando para o escoamento subsuperficial que se soma ao escoamento superficial no canal fluvial. Além do escoamento, evidentemente, este processo afeta a erosão e o transporte de sedimentos nas bacias.

A figura 3 mostra o processo de expansão e contração das áreas de afluência variável em estudo desenvolvido por Vestena (2008). Utilizando o monitoramento hidrossedimentológico e modelagem matemática para estudar as áreas de afluência variável e as fontes de sedimentos o autor pode compreender de melhor forma a formação do escoamento superficial e transferência de sedimento em uma bacia hidrográfica localizada na região serrana de Santa Catarina, RS. Beven e Kirkby (1979) citam que o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica pode ocorrer, pelo menos, por quatro maneiras principais, sendo elas: (a) quando a intensidade da chuva for superior a capacidade de infiltração, conhecido como escoamento Hortoniano com grande relevância em áreas com vegetação rasteira e altas intensidades de chuva; (b) quando a intensidade da chuva for maior que a capacidade de infiltração em locais perto das áreas saturadas, conceito parcial de que existem áreas com comportamento hidrológico diferentes na bacia hidrográfica; (c) quando a precipitação que cai sobre áreas saturadas, ou quase saturadas, as quais contribuem significativamente para o escoamento superficial e (d) quando o fluxo da água que entra no perfil do solo escorre lateralmente, formando o escoamento subsuperficial, contudo, esse fluxo de água pode voltar a fluir sob a superfície em velocidade muito mais elevada.

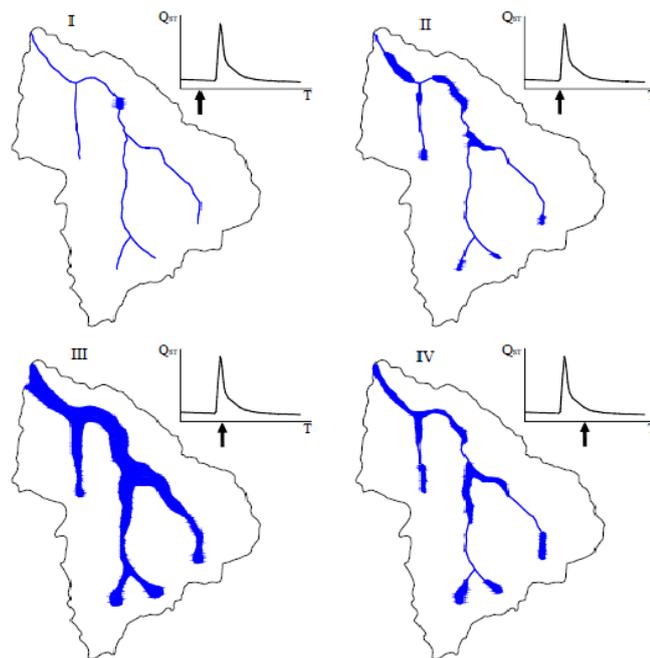


Figura 3: Dinâmica da expansão e contração das áreas de afluência variável (saturadas) com transporte de sedimentos. (Fonte: VESTENA, 2008).

Conjuntamente com técnicas de monitoramento de bacias, a calibração de modelos hidrológicos também é um procedimento amplamente empregado, podendo ser utilizada para o melhor entendimento do comportamento da infiltração média, a partir da estimativa do escoamento superficial gerado. Um exemplo é o modelo da Curva Número do Serviço de Conservação do Solo dos EUA (USDA-NRSC, 2007), desenvolvido a partir de dados monitorados em um grande número de bacias experimentais nos Estados Unidos. O método da Curva Número é um dos mais difundidos e utilizados para a estimativa do escoamento superficial, dada a sua parcimoniosidade, necessitando de apenas um parâmetro, que representa o tipo de solo e as diferentes condições de uso. Este método é amplamente utilizado em estudos que envolvem a estimativa do escoamento superficial (PRUSKI et al., 2001; BESKON, et al., 2009) e manejo e conservação do solo (ENDALE, et al., 2011).

A variabilidade dos fatores que atuam na infiltração precisa ser considerada quando queremos estimá-la, buscando sua representatividade na escala de bacias. Desta forma, é preciso buscar metodologias que representem a dinâmica de como ela ocorre. O uso de modelos matemáticos simples pode ser considerado uma boa alternativa, desde que se tenham dados obtidos que incorporem a variabilidade.

Os métodos convencionais de estimativa da infiltração são limitados para estimar o valor médio infiltrado em áreas heterogêneas, tal como em bacias hidrográficas. Além disso, a quantificação da magnitude da infiltração na escala de bacia permite a comparação com a magnitude dos valores obtidos pelos métodos convencionais. De acordo com Rose (2004), quando se detém de um conjunto representativo de hietogramas (precipitação *versus* tempo) e hidrogramas (vazão *versus* tempo) é possível alcançar uma boa aproximação da média espacial da taxa de infiltração da bacia. O mesmo autor retrata a variabilidade da infiltração em áreas heterogêneas e propõe uma metodologia para obter um modelo matemático simples de estimativa da infiltração média da bacia para uma determinada precipitação, a partir de um conjunto de eventos com análise de hietogramas e hidrogramas.

Em áreas homogêneas, ou quando metodologias convencionais incorporam esse pressuposto, temos que a taxa de infiltração é crescente até um momento quando alcança a taxa constante de maneira linear e torna-se constante ao longo da ocorrência da precipitação (Figura 4).

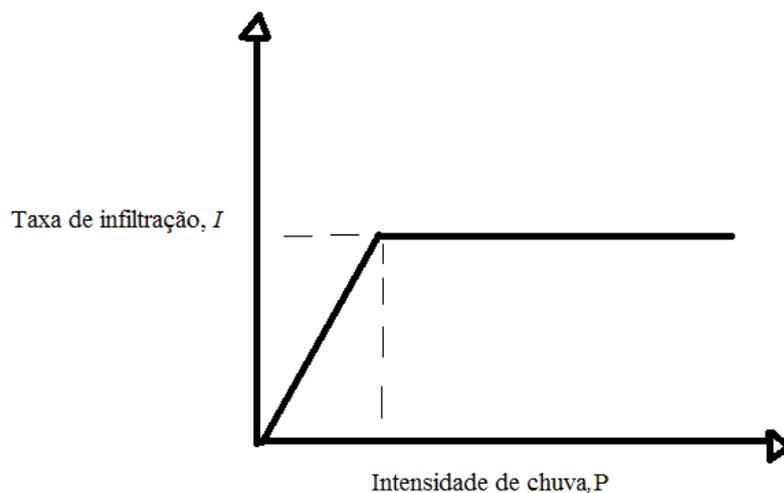


Figura 4: Ilustração da resposta da taxa de infiltração para a intensidade da precipitação, em uma área com características de infiltração homogênea.

Entretanto, em uma bacia hidrográfica o comportamento é diferente, a curva corresponde uma função exponencial inversa, onde primeiramente há um incremento rápido das taxas de infiltração e, após a inclinação da curva começa a diminuir até alcançar um valor máximo. A partir

desse valor não há maior incremento das taxas de infiltração nem mesmo com o aumento da precipitação (Figura 5). O valor máximo gerado nessa curva é interpretado como a capacidade máxima de infiltração para a bacia hidrográfica em estudo. A partir de sua determinação é possível obter o modelo que pode fornecer a taxa de infiltração para qualquer precipitação desejável. Contudo, a metodologia será tanto mais eficiente quanto maior o conjunto de dados fornecidos, mostrando a importância do monitoramento das variáveis hidrológicas vazão e precipitação para o uso desta metodologia.

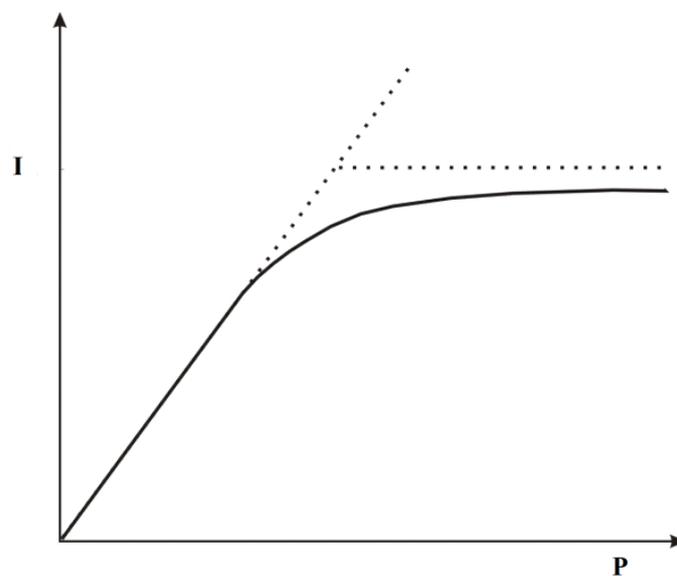


Figura 5: Ilustração da taxa de infiltração média (I) em área não homogênea em resposta a intensidade da precipitação (P).

4.5 Transferência de sedimentos: da bacia vertente para o canal fluvial

O conhecimento acerca da transferência dos sedimentos da bacia vertente até o canal fluvial, ainda precisa de investigações. Os processos erosivos geradores da produção de sedimentos foram e ainda são muito bem estudados, principalmente a partir da década de 70 quando estudos em parcelas experimentais surgiram para incentivar o uso de práticas conservacionistas do solo e da água em virtude da alta degradação dos solos. Atualmente, trabalhos de erosão ganharam mais empenho nos estudos em bacias hidrográficas, sendo que grandes avanços vem sendo realizados

para descobrir as fontes de produção de sedimentos em bacias hidrográficas (WALLING, 2005; VESTENA, 2008; MINELLA; MERTEN, 2011).

Um dos grandes desafios é ainda a investigação da conectividade entre as etapas da transferência de sedimentos entre a bacia vertente até o canal fluvial (WALLING, 1999; 2005). A produção de sedimentos é considerada reflexo da degradação ambiental, pois contamina a água, altera o ecossistema aquático, os bancos de areia advindos da deposição e compactação do sedimentos podem impedir a navegação, além de diminuir a vida útil de reservatórios. Desta forma, torna-se imprescindível o entendimento da transferência desse material até rios e reservatórios.

Em busca da compressão de como o sedimento e a água são transferidos e quais fatores atuam em maiores ou menores taxas de transferência, é que estudos apontam como boa alternativa a utilização da relação entre a concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) com a descarga líquida ou vazão (Q). Essa relação é investigada durante a ocorrência de um evento ou entre eventos, pois os processos que contribuem para a dinâmica do fornecimento, deposição e mobilização dos sedimentos ocorrem nesses períodos. De acordo com Lefrançois et al., (2007) o estudo da relação entre C_{ss} versus Q , tem sido realizado em bacias com diferentes tamanhos, entretanto a abordagem desta relação é mais utilizada em bacias pequenas ($<100\text{km}^2$). Os autores descrevem ainda que em bacias de cabeceira a dispersão dos pontos da regressão na curva (C_{ss} versus Q) é mais elevada do que em grandes bacias, por causa da maior sensibilidade da C_{ss} com as fontes locais de sedimentos em bacias menores. Todavia, a relação entre essas variáveis hidrossedimentológicas não é constante para a maioria dos eventos, ou seja, verifica-se que o comportamento de ambas não ocorre de forma sincronizada no tempo (LEFRANÇOIS, et al., 2007). Além disso, a concentração de sedimentos em suspensão é muito variável ao longo do ano, devido aos regimes de chuva, atividade antrópica, e sazonalidade entre estações o que lhe confere uma grande variabilidade. Deste modo, podemos encontrar para um mesmo valor de Q diferentes valores de C_{ss} , situação esta, que provoca um comportamento conhecido como histerese.

A histerese é interpretada como o aparecimento de um atraso na evolução de um fenômeno em relação a outro (KLAR, 1984). Além do efeito de histerese entre a Q e a C_{ss} , o processo de secagem e umedecimento do solo, por exemplo, também apresenta um comportamento não sincronizado com o tempo. O estudo da histerese vem contribuindo com os trabalhos na área de identificação de fontes de sedimentos, e na compreensão dos mecanismos da transferência de sedimentos e água, através de sua análise qualitativa e quantitativa em diferentes ecossistemas (LAWER, et al., 2006; MINELLA, et al., 2011; RODRIGUES, 2011). A complexidade que envolve a dinâmica de sedimentos é em grande parte perceptível por bacias pequenas, mas essa mesma

sensibilidade nos permite interpretar de forma mais detalhada a relação entre a vazão e concentração de sedimentos em suspensão. Williams (1989) identificou e classificou a histerese em cinco classes de curva, que caracterizam a análise qualitativa. As cinco classes se distinguem em valor simples (*Single value*), laço horário (*Clockwise loop*), laço anti-horário (*Counterclockwise loop*), linha simples comum (*Single line plus loop*) e figura em oito (*Figure eight*). Em uma bacia hidrográfica espera-se encontrar mais de uma classe, como observado por Lopes et al., (2006), pois a curva da histerese é influenciada pela área da bacia, intensidade da precipitação, quantidade do volume escoado, distância das áreas fontes de sedimentos até o canal (WILLIAMS, 1989).

De acordo com Williams (1989) a caracterização de cada classe da curva da histerese é descrita a seguir. A curva histerese valor simples é a relação mais simples da Q versus C_{ss} , ela pode ser dividida em três subgrupos, contudo, para todos a C_{ss} aumenta à medida que aumenta a Q , ocorrendo os picos simultaneamente. O laço horário representa o pico da C_{ss} antecipadamente ao pico da Q , isto representa que a fonte de sedimentos é limitada e rapidamente esgotada. Portanto, a geração do escoamento e mobilização dos sedimentos é limitada as áreas localizadas perto dos canais. Quando o pico da Q antecede o pico da C_{ss} a classe de histerese é o laço anti-horário. Esta classe pode ter três causas, sendo a primeira a alta erodibilidade do solo em conjunto com a erosão prolongada durante o escoamento superficial; segundo a variabilidade sazonal da distribuição de chuva e da produção de sedimentos; terceiro a velocidade do fluxo do canal é menor do que a velocidade da onda de cheia, sendo que o fluxo de água advindo do escoamento tende a percorrer em igual velocidade da onda de cheia, já o transporte de sedimentos ocorre na velocidade do fluxo do canal, ou seja, em uma menor velocidade, desta forma, atrasando o pico em relação a Q . A característica da linha simples comum é que esta classe relaciona as três classes anteriores, deste modo, as possíveis causas são semelhantes a elas. Por fim, a figura em oito, pode ser entendida com uma sequência de laço horário e anti-horário. Primeiramente a fonte de sedimentos está perto do canal, sendo disponibilizada rapidamente, e o sentido predominante é o laço horário, com o passar do tempo o solo começa a saturar e outras áreas da bacia hidrográfica contribuem para o fornecimento de sedimentos ocorrendo assim o laço no sentido anti-horário. No entanto, como a intensidade da chuva diminui as fontes de sedimentos passam a serem as mais próximas do canal e, desta forma, o laço volta a ser no sentido horário (SEEGER, et al., 2004). Minella et al., (2010), avaliando o comportamento da histerese em 19 eventos na bacia de Arvorezinha, observou a predominância do laço horário entre 17 eventos, diferente do esperando, quando acreditasse que os sedimentos eram transferidos de fontes mais distantes, gerando um padrão de curva anti-horária.

Além da análise qualitativa, Lawler et al., (2006) inseriu o índice de histerese (IH) para tornar mais eficaz a análise da curva da histerese, através da quantificação da sua magnitude e direção com um índice simples e direto. O método é baseado em medir a “fatness” do laço da histerese no ponto médio da vazão (Q_{cen}), ou seja, 50% da vazão. O termo “fatness” é traduzido como a largura do laço de histerese formado. A variação do IH pode estar relacionado com a variabilidade dos fatores que atuam na dinâmica dos sedimentos e desta maneira tornando o comportamento da histerese mais complexo.

De acordo com Lawler et al., (2006) o IH diminui devido ao aumento da umidade do solo determinando que novas fontes de sedimentos sejam incorporadas pela bacia hidrográfica. De acordo com Rodrigues (2011) não se observou a redução do IH para uma sequência de eventos numa pequena bacia florestal. Seeger et al., (2004) descreve que a umidade do solo é um fator determinante na formação da classe de curva da histerese, enquanto a precipitação total do evento e precipitação antecedente ao evento pode mudar uma situação normal, isto é, a transferência de sedimentos caracterizada pelo laço horário pode mudar para outros padrões de transferências.

4.6 Modelagem matemática do escoamento superficial e produção de sedimentos

O uso de modelos matemáticos na predição dos processos erosivos e da formação do escoamento superficial (runoff) é considerado uma grande ferramenta para fins de planejamento ambiental. A dificuldade da continuidade das redes de monitoramento e obtenções de dados que envolvam maior extensão temporal para trabalhos sobre os impactos ambientais, contribuíram para que muitos pesquisadores desenvolvessem e utilizassem os modelos matemáticos para a predição e simulação de cenários futuros. Desta forma, há melhor planejamento do uso do solo, e recursos hídricos, bem como melhor aproveitamento dos recursos financeiros. Gomes et al., (2008) no uso de um modelo de base física e distribuída pode formular cenários, os quais eram tendência para a região, e avaliar o impacto da mudança do uso do solo nas variáveis hidrológicas, como a vazão e coeficiente de escoamento superficial. Os modelos podem ser classificados de acordo com o comportamento das variáveis (estocásticos ou determinísticos), descrição dos processos no sistema (empírico ou conceitual; base física), e quanto a variabilidade espacial das variáveis (concentrado ou distribuído). A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é um exemplo de modelo empírico para a estimativa de perda de solo anual, de grande aceitação e utilização no mundo, sendo sua versão

modificada MUSLE (*Universal Soil Loss Equation Modified*) incorporada a modelos de base física distribuída para a predição da erosão, como o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

A distribuição espacial dos processos erosivos e da produção de sedimentos é de grande importância, pois é possível descobrir as áreas fontes, de mobilização e de deposição dos sedimentos. Modelos de base física e distribuídos buscam representar a variabilidade da bacia, sendo que os processos físicos que compõe o sistema são reproduzidos por um conjunto de equações gerais da física de conservação de massa, energia e quantidade de movimento e condições iniciais e de contorno adequadas. O uso de modelos matemáticos vem crescendo devido à maior representatividade da variação espaço-temporal dos processos que ocorrem dentro da área de estudo. Lelis e Calijuri (2010), utilizando o modelo SWAT em uma bacia tipicamente rural, observaram nas simulações de previsão de cenários que a mudança do uso de pastagens degradadas para eucalipto em 14,8% da área da bacia, diminui de $33 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para $26 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a produção de sedimentos. Com um amplo conjunto de dados para calibrar e validar, Bonuma, et al., (2010) utilizou o modelo SWAT e obteve resultados considerados muito bons para os processos hidrológicos e da produção de sedimentos em uma bacia rural na região central do Rio Grande do Sul.

Entre os modelos de base física e distribuído dos processos hidrossedimentológicos, podemos destacar o TOPMODEL (Topography-based hydrological model), o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), o WEPP (Water Erosion Prediction Project), o KINEROS (Kinematic Runoff Erosion Model), o EUROSEM (European Soil Erosion Model), e o LISEM (Limburg Soil Erosion Model).

Dentre esse conjunto e demais modelos hidrossedimentológicos existentes ressaltam-se a aplicabilidade do modelo LISEM para pequenas bacias rurais. De acordo com Moro et al., (2009) uma das maiores vantagens do modelo LISEM são os mapas da deposição de sedimentos de forma espacializada, indicando quais áreas são mais críticas na bacia, uma vez que a maioria dos modelos não é capaz de simular a deposição distribuída no espaço.

O modelo LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*) (DE ROO et al., 1996) foi gerado originalmente para a Província de Limburg, na Holanda, para testar os efeitos das faixas de vegetação e outras medidas conservacionistas em pequenas bacias rurais sobre a perda de solo. O modelo abrange as pequenas bacias hidrográficas (10 a 300 ha) as quais podem responder às mudanças estruturais do solo devido a alteração do uso e manejo do solo. No Brasil são poucos os registros do uso do modelo, sendo encontrados em maior número na Europa e Ásia. Um dos motivos pode ser atribuído ao grande número de variáveis que o modelo exige, bem como, a

determinação destas variáveis ser considerada de difícil obtenção e representatividade em bacias hidrográficas. De acordo com Merritt et al., (2003) nos dados de entrada do LISEM são necessários aproximadamente 25 mapas para a simulação, incluindo mapas da descrição morfológica da bacia hidrográfica, características da vegetação, solo e relevo.

O LISEM deriva do modelo EUROSEM (MORGAN et al., 1998) acoplado com forte descrição dos processos físicos do solo. Considerado modelo de base física - distribuído, o modelo obtém seus resultados pela solução de equações físicas que descrevem os processos hidrológicos (infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial) e erosivos (desagregação, transporte e deposição de sedimentos). Em sua estrutura o modelo é um dos primeiros de base física que é completamente integrado em um *raster* de Sistema de Informação Geográfica, PCRaster, permitindo a distribuição espacial das informações. Além disso, o modelo pode simular de forma independente o escoamento superficial na bacia vertente e o fluxo no canal fluvial, através da onda cinemática e equação de Manning (DE ROO; JETTEN, 1999).

O LISEM permite a simulação do processo erosivo entre sulco e em sulco, sendo que existe um algoritmo adicional para a erosão em voçoroca (não disponível na versão nova do modelo: *openLISEM*). O desencadeamento da simulação do LISEM inicia-se pela interceptação vegetal da precipitação, após ocorre o armazenamento no micro relevo, que é determinado pela variável rugosidade aleatória, já a infiltração de água no solo (movimento vertical da água), pode ser simulada por diferentes opções, entre elas o modelo Green e Ampt para uma ou duas camadas de solo.

A intensidade da desagregação devido ao impacto da gota d'chuva é uma função da energia cinética da chuva, sendo simulada em função da variável estabilidade de agregados do solo. A desagregação do solo pelo escoamento superficial e deposição dos sedimentos é simulada em função da capacidade de transporte. A propagação do escoamento superficial e dos sedimentos ocorre pela propagação da onda cinemática, considerada a mais simples entre as propagações, em direção ao exutório da bacia.

A modelagem dos processos hidrológicos e sedimentológicos devem englobar as fases de calibração e validação para o modelo escolhido. Estas duas fases são de suma importância para a credibilidade e funcionalidade do modelo em um determinado sistema, pois só desta forma, poderemos utilizar a modelagem como uma ferramenta de planejamento. Deve-se determinar um grupo de eventos primeiramente para a calibração e outro para a validação. A cada simulação, os parâmetros são modificados até a minimização da diferença entre os valores simulados e medidos. A calibração é o momento de ajustar os parâmetros, mas de forma que os valores condizem com a

realidade dos processos. Um exemplo foi a aplicação do processo de calibração por Moro (2011) a qual a partir da calibração de 10 eventos com o modelo LISEM obteve boa relação entre os valores observados com os simulados para os processos hidrológicos. Contudo, a autora descreve que não foi possível representar adequadamente a produção de sedimentos o que mostra que são necessários mais estudos e um maior banco de dados para obter maior eficiência com esses modelos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado em quatro fases metodológicas:

- (i) Monitoramento hidrossedimentométrico.
- (ii) Estimativa da infiltração de água no solo em bacia hidrográfica.
- (iii) Calibração de um modelo hidrossedimentológico.
- (iv) Análise do padrão de transferência de água e sedimentos durante eventos de precipitação pluvial.

5.1 Local de Estudo

5.1.1 Características da região

A bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Ferreira está localizada no município de Arvorezinha mais precisamente na comunidade Cândido Brum. O município de Arvorezinha está situada na região Nordeste do Rio Grande do Sul, aproximadamente 300 km de Santa Maria, pertencente a região do “Vale do Taquari”. A região está dividida em duas regiões geomorfológicas, a Depressão Central e o Planalto das Araucárias. Dentro delas podemos encontrar as seguintes unidades geomorfológicas: Patamares da Serra Geral, Serra Geral, Planalto dos Campos Gerais e o Planalto Dissecado do Rio Iguaçu-Rio Uruguai. Cada unidade tem bem individualizado suas características como, por exemplo, o comportamento do sistema fluvial. O relevo da região é diverso, uma vez que abrange diferentes unidades geomorfológicas, desde áreas com escarpamentos bem pronunciados (área planáltica) e lugares com topografia simples, sem grandes variações (depressão do Rio Jacuí). O Vale do Taquari é formado ainda por uma densa rede hidrográfica, sendo o rio Taquari o principal rio que compunha a bacia hidrográfica do Vale do Taquari. Entre os principais afluentes do Rio Taquari podemos citar: Rio Guaporé, Forqueta, Taquari-Mirim, Boa Vista e Estrela. O clima da região é composto por dois tipos climáticos, Clima Subtropical (Cfa)

significando clima temperado moderado e chuvoso e o Clima Temperado (Cfbl) (MAGNA, 1997 apud KREUTZ, 2008).

A região apresenta alta densidade populacional, sendo que dos 36 municípios do vale do Taquari, 26 deles possuem mais de 50 % de sua população na zona rural. A economia da região é diversa, sendo distribuída da seguinte forma: agropecuária 7,08%, indústria 30,25% e serviços 62,67% (IBGE, 2007). O setor primário do Vale do Taquari é caracterizado por pequenas propriedades rurais (em média 13 ha) e trabalho com mão-de-obra familiar, possuindo grande destaque na produção de suínos e avicultura, juntamente com a produção leiteira. Além da produção animal a região tem destaque na produção de madeira, fumo e erva-mate (CIC, Vale do Taquari, 2010). A produção agropecuária nessa região é desafiada pela topografia acidentada e alta densidade populacional, peculiaridade que precisa ser respeitada.

5.1.2 Características do local

Localizada na cabeceira do Rio Guaporé, o qual por sua vez é afluente do sistema fluvial Taquari-Antas que desemboca no Rio Jacuí, a bacia do Arroio Lajeado Ferreira (Figura 6), possui área de captação de 1,19 Km². A geologia do local é caracterizada por derrames vulcânicos da formação da Serra Geral, transição entre o Planalto dos Campos Gerais e o Vale do Rio Jacuí. O relevo na parte superior é ondulado (declividade 7%), e no terço médio e inferior o relevo é forte ondulado com vertentes curtas e vales encaixados (MINELLA 2007; MORO 2011). A variação da altitude é de 560-740 m. O canal principal possui declividade média de 8,20 %, com densidade de drenagem aproximada de 2,395 km km⁻² (MINELLA, 2004). De acordo com Rosgen (1994) o canal é enquadrado como A3, considerado íngreme (declividade entre 4-10%) com cascatas, e ao longo de seu trecho é caracterizado por possuir material pedregulhoso (fundo e margens) (Figura 7).

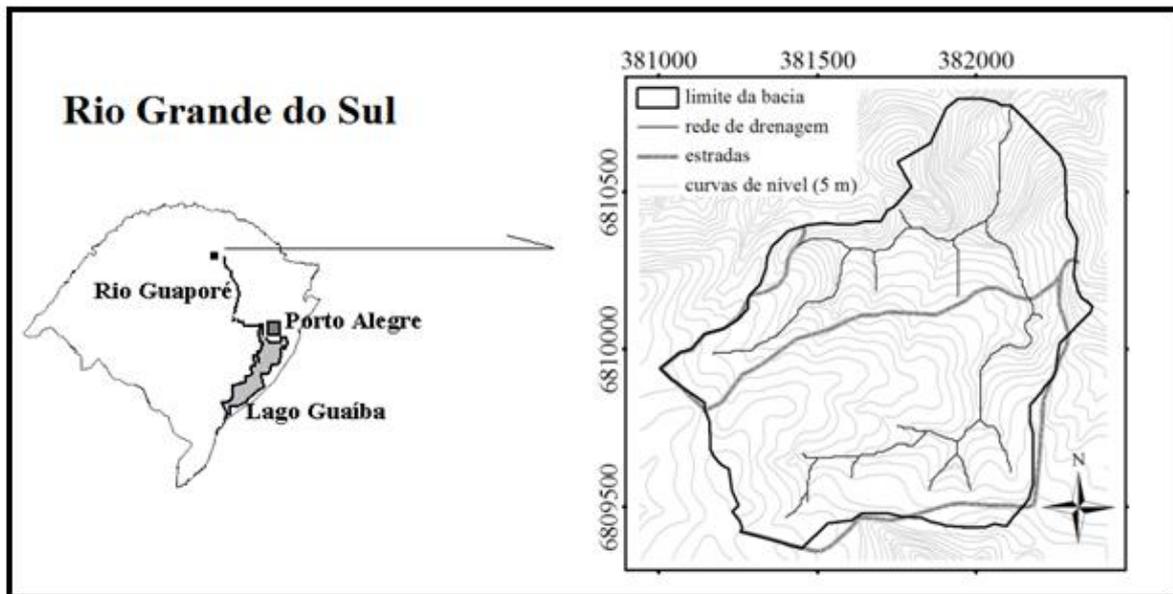


Figura 6: Localização da bacia de Arvorezinha, com sua rede de drenagem e estradas.



Figura 7: Ilustração do canal fluvial, na porção do exutório.

O clima da região é classificado segundo Köppen como Cfb subtropical, superúmido mesotérmico sem estação seca definida. A precipitação média anual fica entre 1250 e 2000 mm. O índice de erosividade (EI_{30}) para a bacia de Arvorezinha é $6.540 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, considerada

moderada a forte, (Tabela 1). Os meses de setembro e outubro são os que apresentam maior EI_{30} , coincidindo com a época de preparo e plantio da cultura principal, o que aumenta a preocupação com as práticas de manejo adotado na bacia.

Tabela 1: Índice de Erosividade e Precipitação média mensal para o município de Arvorezinha, RS.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
$P^{(1)}$	153	120	127	122	94	152	106	145	206	183	81	117	1605
$EI_{30}^{(2)}$	659	435	477	447	289	654	352	602	1094	894	222	416	6540

⁽¹⁾ Precipitação (mm), ⁽²⁾ Índice de Erosividade ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$). Fonte: Argenta et al., (2001), média calculada a partir de 40 anos de dados.

As classes de solos existentes na bacia são os Argissolos, Cambissolos e Neossolos (Figura 8). De acordo com o levantamento e classificação de solos, os Argissolos estão localizados principalmente na porção superior da bacia, possui coloração vermelha uniforme no perfil de solo ou em condições mais úmidas cores brunadas. São considerados muito profundos ou profundos, variando de 0,7-1,0 m. A sequência de horizontes é A-B-C, podendo haver horizontes transicionais AB-BA-BC. Essa classe de solo tem um preponderante que é a mudança textural abrupta entre o horizonte A e B, desta forma, há uma descontinuidade da infiltração de água no solo, devido a baixa permeabilidade do horizonte Bt (maior teor de argila).

Os Cambissolos nessa bacia aparecem como manchas específicas localizadas em áreas onde predominam Argissolos ou Neossolos. Eles são considerados poucos profundos com espessura inferior a 1,0 m. Sua drenagem é classificada como moderada a boa, com sequência de horizontes A-Bi-C. Os Cambissolos, diferentemente dos Argissolos, não possuem o Bt, o que lhe proporciona melhor capacidade de infiltração de água. Contudo, quando localizados em relevo suave ondulado sua condição de drenagem fica desfavorecida, tendo acúmulo de água por vários dias em período chuvoso.

Os Neossolos ocorrem nessa bacia em associação, isto é, Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico, sendo que no levantamento realizado não foi possível realizar sua separação, devido a dificuldade de separar ambas as associações. Eles são considerados poucos profundos variando de centímetros e às vezes até 1,0 m. São considerados solos bem drenados, com sequência de horizontes A-AC-C-R e Ap-R. Na porção superior da bacia, onde o relevo é bastante movimentado,

ambos os Neossolos ocorrem associados em proporções semelhantes, já nas áreas de lavoura na porção superior e média, em declividades menos acentuadas, predominam os Neossolos Regolíticos, e ainda na porção inferior do relevo são os Neossolos Litólicos que predominam na paisagem. Os Neossolos Litólicos ocorrem como manchas de pequena extensão no interior de manchas maiores de Argissolos. O comportamento hidrológico dos Neossolos Litólicos é semelhante aos Argissolos, ou seja, o contato lítico e menor espessura do horizonte A, faz com que o fluxo de água escorra lateralmente dentro do perfil do solo.

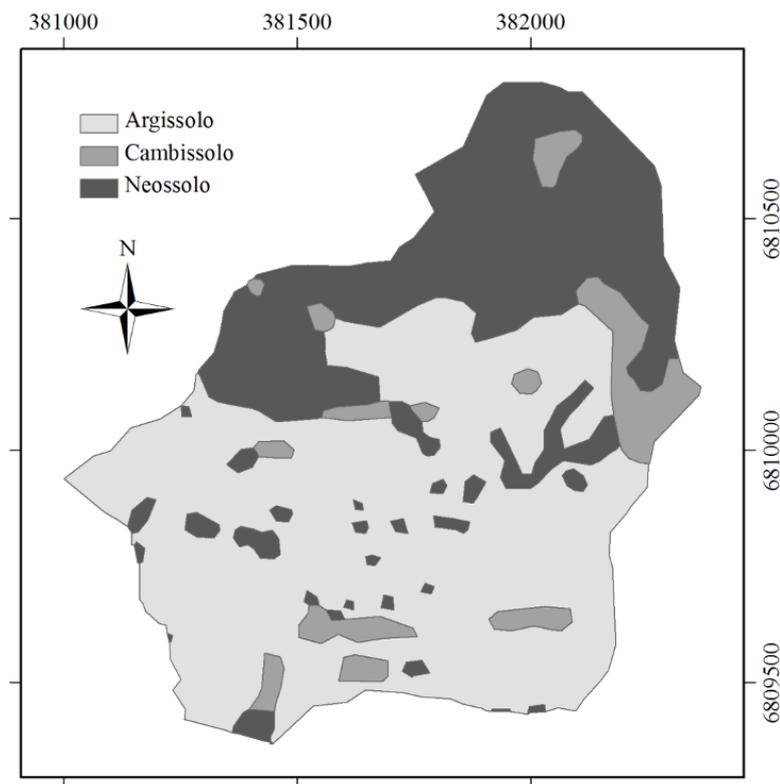


Figura 8: Mapa de solos para a Bacia de Arvorezinha, 2011.

Na comunidade de Cândido Brum o cultivo do fumo (*Nicotina tabacum* L) é a atividade agrícola de maior importância econômica, ocupando a maior parte da área desta bacia. A região sul é a maior produtora de fumo correspondendo a 96% da área plantada em nível nacional na última safra - 2010/2011 (AFUBRA, 2011). O número de famílias que cultiva fumo no sul é de aproximadamente 186 mil, sendo que a renda por ha para cada família, em média, na safra 2010/2011 foi R\$ 11.010,00. Já a distribuição fundiária levantada pelo Afubra na última safra revela dados expressivos, pois do total de famílias aproximadamente 47 mil não possuem terras,

trabalham no regime de parceria e pouco mais de 66 mil possuem de 1-10 ha. A média por família é de 16,4 ha. A maior rentabilidade por hectare faz com que muitos produtores continuem nessa atividade, pois a grande maioria possui poucos hectares de terra o que não lhes permitiria produzir outros cultivos em maior escala de produção. O cultivo do fumo na bacia de Arvorezinha é baseado na mão-de-obra familiar, pequenas propriedades, uso intenso de insumos agrícolas, e uso de tração animal. A área da bacia, considerada ambientalmente frágil, com a utilização intensa da atividade agrícola, aumentou a degradação da área, principalmente pela erosão do solo.

Em 2001 o governo estadual do RS com parceira do Banco Mundial desenvolveu o projeto Programa de Combate a Pobreza Rural (RS-Rural). Este projeto teve como objetivos gerais melhorar a qualidade de vida dos produtores e da conservação dos recursos naturais. Foram escolhidas algumas regiões do RS com maior pobreza rural, áreas com grande fragilidade ambiental, uso intenso e inadequado dos recursos naturais. O projeto abrangeu quatro microbacias rurais no estado do RS, sendo Arvorezinha uma das escolhidas. Variáveis ambientais, como as propriedades do solo, características do relevo, rede de drenagem, qualidade da água, fauna e flora foram estudadas no projeto. Todavia para realizar esse estudo, instalou-se uma rede de monitoramento ambiental, a qual está ainda em funcionamento nessa microbacia. O monitoramento das variáveis hidrossedimentológicas serve de base para o estudo dos processos erosivos, produção de sedimentos, formação do escoamento superficial, e o impacto das práticas de conservação do solo e da água nos processos de degradação do solo e contaminação das águas.

Os produtores da comunidade de Cândido Brum, até o ano de 2003 cultivavam o fumo exclusivamente no sistema de cultivo tradicional (CT). Esse sistema é baseado no revolvimento do solo, com o uso de arados e grades de dentes, mantendo pouca palhada sobre o solo. Com o desenvolvimento do projeto alguns produtores começaram a implementar práticas de conservação do solo e da água em sua propriedade. Dentro do sistema de preparo do solo o cultivo mínimo (CM) foi escolhido por ter melhor adaptação dos produtores. O CM utiliza menos operações com os implementos para a mobilização do solo, além de não deixar o solo em pousio na entressafra, proporcionando palhada para a cultura do verão (fumo). A principal cultura de cobertura escolhida pela maioria dos produtores foi a aveia preta (*Avena strigosa*). Na primavera de 2006 alguns produtores começaram a plantar o fumo no plantio direto (PD) (MINELLA, 2007). Este, não utiliza nenhum tipo de mobilização do solo sendo plantada a muda de fumo diretamente no solo coberto com palha. Entretanto, para este trabalho pode-se observar que o PD ainda não está consolidado entre os produtores. As figuras 9 e 10 ilustram os sistemas de cultivo CT e CM, respectivamente. O plantio da muda de fumo é realizado no início do mês de outubro, sendo feito em camalhões que se

tentou construir em nível. A distância entre os camalhões é 1,20 m e as mudas de fumo possuem um espaçamento de plantio de 0,40 m na linha.



Figura 9: Foto de uma lavoura cultivada pelo cultivo tradicional após o plantio das mudas de fumo, safra 2011/2012.



Figura 10: Foto de uma lavoura cultivada no cultivo mínimo após plantio de mudas de fumo, safra 2011/2012.

Além do cultivo de fumo no verão e aveia no inverno, existem outros usos na bacia de Arvorezinha com destaque para as áreas de mata nativa, pastagem natural, em pequena escala milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), e eucalipto (*Eucaliptus spp*). A vegetação nativa é denominada Floresta Ombrófila Mista, cuja composição é complexa, possuindo no dossel superior a *Araucaria angustifolia*, espécie que atinge grandes alturas e diâmetros. Com o intenso extrativismo e cultivo agrícola, parte significativa da vegetação e das demais espécies constituintes dessa tipologia florestal foi desaparecendo ao longo dos anos de ocupação do solo. No levantamento de 2010-2011 observou-se a grande transição da vegetação nativa e áreas lavouras de fumo para a atividade do reflorestamento (Figura 11).

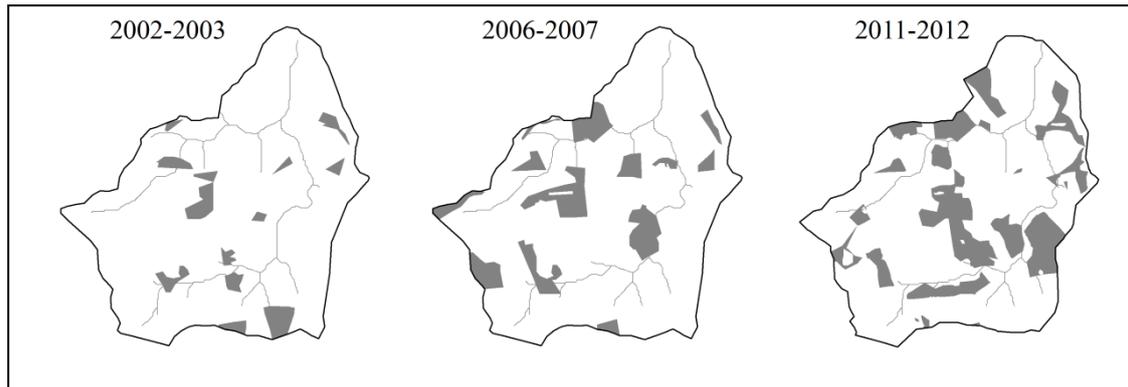


Figura 11: Evolução do reflorestamento desde o início do monitoramento ambiental, na bacia experimental de Arvorezinha.

5.2 Monitoramento Hidrossedimentométrico

O monitoramento hidrossedimentométrico das variáveis hidrológicas e sedimentológicas da bacia experimental de Arvorezinha são realizados desde o ano de 2002, com o início do projeto RS-Rural. Nesse estudo contemplamos os anos de 2009, 2010 e 2011. O monitoramento avaliou as seguintes variáveis com seus respectivos equipamentos:

- (i) Precipitação: pluviógrafos e pluviômetros.
- (ii) Descarga líquida: linígrafo de pressão junto a calha *parshall*.
- (iii) Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão e da produção de sedimentos: USDH-48 e turbidímetro.
- (iv) Variabilidade do uso e manejo do solo: caminhamento com GPS de navegação.

Estas variáveis foram monitoradas com aparelhos automáticos e coletas manuais. A bacia experimental conta com a presença de um hidrotécnico o qual realiza as leituras, coletas de amostras de sedimentos, e identifica possíveis problemas de funcionamento dos aparelhos. Com a colaboração de alunos de pós-graduação e iniciação científica, visitas foram realizadas durante o período do estudo. As visitas à bacia hidrográfica foram realizadas ao menos uma vez por mês, sendo que em alguns momentos em intervalos de 15 dias. Com estas viagens o monitoramento pode ser acompanhado de forma que a série de dados tivesse o mínimo de falhas. Ou seja, foram realizadas manutenções, limpezas e calibrações dos aparelhos automáticos. Em bacias hidrográficas menores a resposta de um evento chuvoso é rápida, desta forma, eles foram coletados em sua grande maioria pelo hidrotécnico que mora no local, contratado para prioritariamente acompanhar os eventos. Ao total foram monitorados 77 eventos que englobaram diferentes épocas do ano, uso

do solo e diferentes magnitudes de precipitação. A partir desse conjunto de eventos foi possível realizar as próximas etapas do estudo. A figura 12 indica a distribuição dos pluviômetros, pluviógrafos, turbidímetro e linígrafo na bacia do Arroio Lajeado Ferreira.

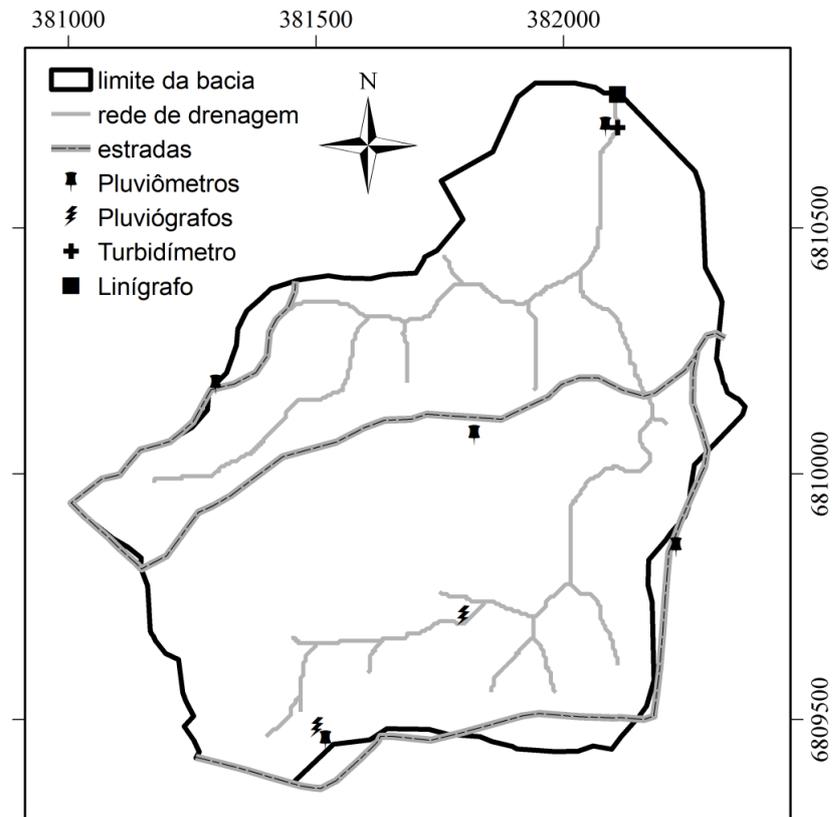


Figura 12: Distribuição dos equipamentos utilizados no monitoramento hidrossedimentométrico na bacia experimental de Arvorezinha.

5.2.1 Monitoramento da precipitação

A precipitação foi monitorada com o uso de dois pluviógrafos (Figura 13) e cinco pluviômetros (Figura 14). Eles estão instalados próximos aos divisores de água e na parte central da bacia, e os dados são obtidos diariamente pelo hidrotécnico do projeto. Salienta-se que a principal informação da qual todas as outras interpretações e análises dependem é o correto monitoramento da precipitação diária e em intervalos sub-horário. Um pluviógrafo está localizado em um dos pontos mais alto da bacia, e seu intervalo de leitura é de 5 minutos; o segundo localizado na parte central da bacia com registros de 10 minutos.

Os pluviômetros estavam distribuídos espacialmente na bacia. A leitura deles é realizada às 9 h; com estas leituras era efetuada a correção da leitura dos pluviógrafos. Uma observação é que no 1º semestre de 2010 dois pluviômetros não estavam em funcionamento, mas desde o 2º semestre de 2010 os cinco pluviômetros registraram o acumulado de chuva normalmente.

5.2.2 Monitoramento da descarga líquida

O nível do arroio Lajeado Ferreira foi monitorado com um linígrafo (sensor) de pressão (*Thalimedes* – OTT) instalado a uma calha *parshall* (Figura 15). Junto à calha existia uma régua linimétrica a qual era lida três vezes ao dia (9, 12 e 16 h), desta forma era possível conferir o nível do arroio pelo linígrafo. A conversão do nível ou lâmina de água para vazão - Q ($L s^{-1}$), de acordo com as dimensões da calha, segue a equação 1:

$$Q = 4,519 * H^{1,595} * 1000 \quad (1)$$

Onde H é em metros.

O linígrafo de pressão tem acoplado um *datalogger* para armazenar as informações. O intervalo de tempo de cada leitura era 10 minutos.



Figura 13: Pluviógrafo



Figura 14: Pluviômetro



Figura 15: Vista da calha parshall com régua linimétrica e sensor de pressão.

5.2.3 Monitoramento da concentração de sedimentos em suspensão (Css)

O monitoramento da constou da determinação dos sedimentos em suspensão, uma vez que em estudos anteriores na bacia de Arvorezinha, observou-se o predomínio deste tipo de sedimentos (MINELLA, 2007). Além disso, em áreas agricultáveis o maior interesse é o sedimento em suspensão, pois ele transporta consigo poluentes químicos provenientes das lavouras. Para tal utilizou-se o monitoramento automático através dos sensores de turbidez (Figura 16a) e o monitoramento manual através das coletas de amostras com o amostrador DHUS-48 (Figura 16b) do tipo integrador na vertical.

O turbidímetro está ganhando cada vez mais espaço no monitoramento da Css, pois fazer leituras de forma automática facilita a aquisição dos dados em curtos intervalos de tempo, sem precisar a presença constante de pessoas. Os sensores instalados na bacia experimental são de duas marcas distintas, “SOLAR” modelo SL 2000-TS e o sensor “ANALITE” modelo NEP9500. Entretanto, também é importante ter um grande número de coletas manuais durante eventos chuvosos, para complementar e aferir o aparelho. O controle e o armazenamento dos dados eram feito por um *datalogger* alimentado por uma bateria de 12 volts recarregada automaticamente por um painel solar, sendo o intervalo de leitura programado para 10 minutos.

O amostrador de sedimentos em suspensão utilizados é o DHUS-48, para operações de haste em rios rasos. Ele é feito de alumínio em forma hidrodinâmica (bocal 3/16’’), e usa uma garrafa presa por uma mola. A amostragem de Css durante os eventos foram possíveis de ser obtidas em quase todos os eventos chuvosos. As coletas eram realizadas durante a subida, pico e recessão do nível do arroio durante o transcorrer do evento. Para a coleta da amostra o amostrador era levado até próximo ao leito do arroio e retornava à superfície em velocidade constante de forma a integrar o perfil do fundo até a superfície d’água. Abaixo consta o procedimento da calibração do sensor de turbidez e a descrição da metodologia para as análises de concentração de sedimentos em suspensão.

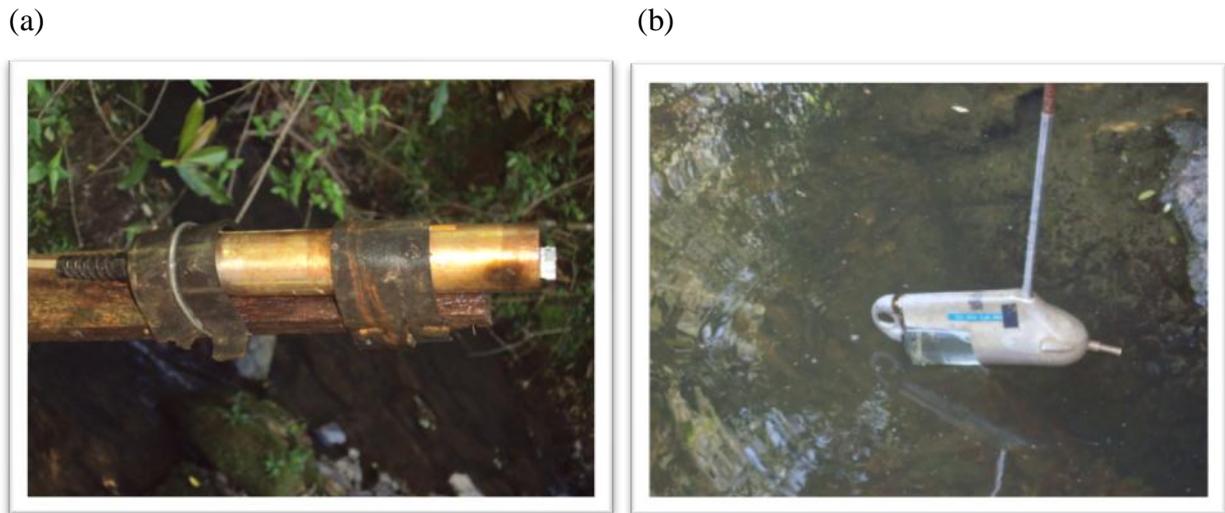


Figura 16: Equipamentos utilizados para a determinação da C_{ss} , (a) turbidímetro e (b) DHUS -48, respectivamente.

5.2.3.1 Calibração do Turbidímetro

A avaliação da produção de sedimentos baseia-se com a coleta das amostras de C_{ss} , numa determinada frequência de obtenção amostral, incluindo dados diários, instantâneos e coletas durante os eventos. O uso de aparelhos automáticos facilitou o monitoramento desta variável, através do sensor de turbidez (turbidímetro). Este aparelho fornece os dados de forma indireta, pois os dados obtidos estão em mV. Para obter os dados em concentração de sedimentos em suspensão em $mg\ l^{-1}$, é necessário o processo de calibração dos aparelhos. Neste trabalho as calibrações dos sensores de turbidez intensificaram a partir do mês de janeiro de 2011. Os sensores instalados na bacia experimental são de duas marcas distintas, “SOLAR” modelo SL 2000-TS com leitura no intervalo de 0-2500 mV, e o sensor “ANALITE” modelo NEP9500 com intervalo de leitura 0-3000 mV.

A primeira etapa foi a calibração dos valores em mV para NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) o qual é feito a partir de uma solução padrão em diferentes concentrações. Foram usadas duas soluções padrões, primeiramente a solução *Formazina*, considerada menos precisa e nociva a saúde (cancerígena), contudo, é de custo mais barato e de fácil acessibilidade de compra. A segunda solução utilizada é a *Polymer bead calibration solutions*, sendo atualmente a única utilizada na calibração dos sensores. Esta solução que é importada possui alta qualidade, tendo em vista que a solução tem um período de validade maior, mais estável, não é cancerígena e apresenta as

concentrações padronizadas, não sendo necessário efetuar diluições o que garante maior precisão nos resultados, quando comparadas às soluções de calibração fabricadas no Brasil, como a Formazina. As concentrações utilizadas para Formazina foram: 0 (água destilada), 10, 40, 100, 400, 1000 e 4000 NTU; já para a outra solução padrão foram as seguintes concentrações: 0 (água destilada), 40, 100, 400, 800, 1000 e 3000 NTU. Com as concentrações definidas os sensores são colocados na solução e anota-se o valor correspondente do sinal emitido para cada concentração, no final é realizada a curva de calibração. Para cada concentração foi realizada 20 leituras (repetições). Alguns cuidados eram importantes para se preservar a solução de calibração, e também a uniformidade do processo durante e entre as calibrações. A solução era homogeneizada com bastão de vidro para a leitura do sensor, e a cada mudança de concentração o bastão e o sensor eram limpos com água destilada e secos com papel toalha, tomando o cuidado para não ficar papel aderido em ambos. Outro detalhe é quanto a exposição da solução aos raios solares, desta forma, utilizou-se papel alumínio para evitar a entrada de luz dentro da solução (Figura 17). Abaixo as equações utilizadas nessa primeira etapa:

$$NTU = 6 * 10^{-5} * mV^2 + 0,798 * s + 14,201 \quad (2)$$

$$NTU = 0,473 * mV^{1,206} \quad (3)$$

Onde: NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez), mV representa o sinal elétrico do equipamento (milivolts).



Figura 17: Calibração do sensor de turbidez com solução padrão.

A segunda etapa foi calibrar os sensores com sedimentos da bacia, para converter o sinal (mV) para mg L^{-1} . As amostras de sedimentos foram preparadas para compor as mesmas concentrações determinadas para a solução padrão da primeira etapa de calibração. Contudo, utilizou-se para este estudo a equação desenvolvida anteriormente por outra instituição (Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS) responsável pelo monitoramento bacia. Desta forma, a equação utilizada para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão segue abaixo.

$$C_{ss} = 1,7738 * NTU + 4,16 \quad (4)$$

Onde: C_{ss} representa a concentração em sedimentos em suspensão (mg L^{-1}), NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

5.2.3.2 Análises de Laboratório

As amostras de C_{ss} foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo (LaFis) - UFSM. Os métodos para determinação da C_{ss} foram por evaporação e filtração (SHREVE; DOWNS, 2005). O critério para definir qual método a ser utilizado foi baseado na quantidade de sedimentos presente nas amostras vindas do campo, sendo as amostras coletadas diariamente pelo técnico da bacia, bem como amostras coletadas durante os eventos. Nesses dois anos de estudo as análises passaram por algumas modificações para alcançar resultados coerentes. O método da evaporação foi o que apresentou maiores problemas, desta forma, foram feitas algumas modificações nos métodos para melhorar a sua eficiência. Abaixo segue as modificações feitas:

Método da Evaporação

- 1- A parte externa das garrafas era limpa quando as amostras chegavam ao LaFis, posteriormente realizada a primeira pesagem, a qual se referia ao peso bruto da amostra.
- 2- As amostras ficavam em lugar adequado por no mínimo duas semanas, para ocorrer a sedimentação; passado o tempo era retirada uma alíquota de 20 ml da amostra para a correção do sólido solúvel dissolvido (SSD).
- 3- O Becker contendo a alíquota de 20 ml da amostra era colocado na estufa a 105°C por 24 horas e após com pinça eram retirados e colocados durante 3 horas em dessecador para resfriamento, e após era pesado.

- 4- Logo após, retirava-se um volume de aproximadamente 50% da amostra restante na garrafa para acelerar o processo de evaporação, e pesava-se sendo denominada de segunda pesagem.
- 5- As garrafas eram lavadas e colocadas na estufa a 105°C e quando secos colocados no dessecador por duas horas, após eram pesados (tara).
- 6- O Becker com a amostra do sedimento em suspensão era levado para a estufa em 105°C por aproximadamente 48 horas, depois de secos eram colocados em dessecador por três horas para ocorrer o resfriamento.
- 7- Por fim, as amostras de sedimentos que ficam nos beckers eram retiradas com auxílio de bastão e guardadas para a determinação de outras análises, como de granulometria (essa análise não foi contemplada neste estudo). As amostras foram guardadas por evento coletado, isto é, juntavam-se todas as amostras que contemplam um evento chuvoso.

Método da Filtração

- 1- A parte externa das garrafas era limpa quando as amostras chegavam ao LaFis, após é realizada a pesagem da amostra.
- 2- Os filtros utilizados eram colocados em estufa por 1 hora em recipientes de alumínio. Os filtros utilizados tinham a seguinte descrição: membrana Ha em éster de celulose (nitrato 75 - 80 % e acetato), 0,45 µm, 47 mm de diâmetro, branca e lisa.
- 3- Após 1 hora os filtros foram colocados no dessecador por 1 hora para que eles se resfriassem, posteriormente eram pesados.
- 4- Após era montado o conjunto de filtração acoplado a bomba de sucção.
- 5- Os filtros com a amostra de sedimentos eram colocados dentro do recipiente de alumínio e levados para a estufa a 105°C. Os filtros ficavam em torno de 12 horas na estufa.
- 6- As garrafas eram lavadas após a filtragem e colocadas na estufa para secar, quando secas são colocadas no dessecador e deixadas por 2 horas, após eram pesadas.
- 7- Por fim os filtros eram retirados da estufa e deixados no dessecador por 2 horas para posterior pesagem do filtro+sedimentos.

5.2.3.3 Estimativa da produção de sedimentos (PS)

A produção de sedimentos (massa por unidade de área) é determinada pelo monitoramento da descarga total de sedimentos transportados pelo canal no exutório da bacia durante um período de tempo. Desta forma, a PS foi estimada pelo produto da vazão e concentração de sedimentos em suspensão através do monitoramento em um dado intervalo de tempo. Abaixo a equação utilizada na determinação da PS:

$$PS = \sum_{i=1}^n k(C_{ss} * Q) \quad (5)$$

Onde: PS é a produção de sedimentos (ton), K é fator de correção de unidades, C_{ss} (g L⁻¹) representa a concentração de sedimentos em suspensão, Q (L s⁻¹) representa a vazão, e n representa o número de medições instantâneas de C_{ss} e Q num determinado tempo.

A PS foi calculada para todos os eventos monitorados. Esses dados foram utilizados para a calibração do modelo hidrossedimentológico, e no estudo da transferência de sedimentos e água, e para montar a série mensal dos dados através da média diária obtida para Q e C_{ss}.

5.2.4 Monitoramento da variabilidade do uso e manejo do solo

A variabilidade espacial e temporal do uso e manejo do solo foi realizada no 2º semestre de 2010 e 2011 por caminhamento e com auxílio de um GPS de navegação. As coordenadas dos pontos percorridos por toda área da bacia foram inseridos no programa *ArcGis* versão 9.3 para a confecção dos mapas. Os principais usos identificados foram: fumo, aveia preta, pastagem natural, reflorestamento com eucalipto e mata nativa (Figura 18). Na tabela 2 são apresentados os valores em hectares e em porcentagem do uso e manejo do solo nos anos do monitoramento.

Tabela 2: Área total e percentagem do uso e manejo do solo para a bacia de Arvorezinha no ano 2010-2011.

Usos	2010-2011	
	Área (ha)	Área (%)
Mata nativa	26,99	22,26
Reflorestamento com Eucalipto	21,87	18,04
Pastagem	5,7	4,7
Cultivo Mínimo de Fumo	37,88	31,24
Cultivo Tradicional de Fumo	16,37	13,5
Outros usos	12,44	10,26
Total	121,25	100

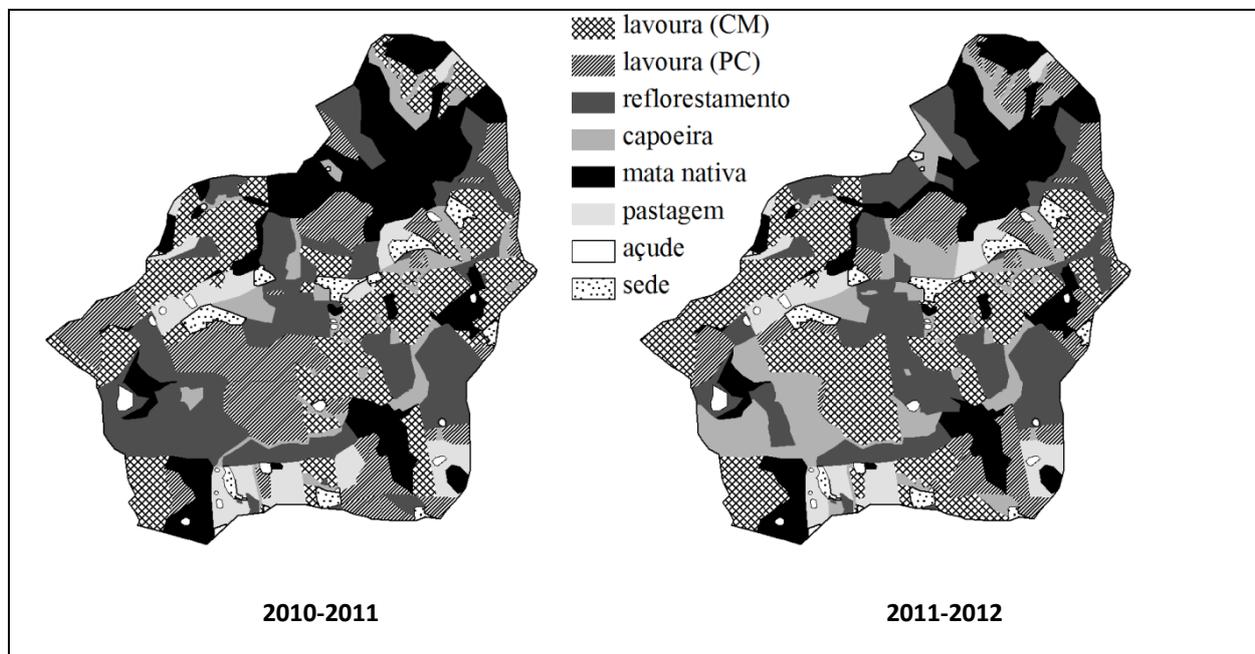


Figura 18: Mapa do uso e manejo do solo no levantamento 2010-2011 e 2011-2012, na bacia experimental de Arvorezinha.

5.2.5 Composição do banco de dados

Em continuidade à série já existente desta bacia elaborou-se um banco de dados para o período de estudo, ou seja, ente setembro de 2009 a agosto de 2011. Os dados advindos do campo estavam na forma de sinais elétrico (mV), desta forma, era necessário gerar as informações referente as variáveis precipitação, vazão e concentração de sedimentos em suspensão. Os dados

das variáveis citadas eram baixados a cada 30 dias, devido a capacidade de armazenamento do *datalogger*, com os dados brutos foi realizada conversões de mV para as unidades correspondente de cada equipamento do monitoramento. Para tal foram utilizadas equações de calibração dos mesmos. Após, a transformação era possível realizar uma análise de consistência dos dados, mesmo que de forma simples, era de extrema importância avaliar a série de cada variável, e observar as respostas de Q e C_{ss} em função da ocorrência da P. Outra forma de realizar a análise de consistência dos dados já foi descritas em cada item do monitoramento (5.2.1, 5.2.2, e 5.2.3), como a conferência da régua com o sensor de pressão, e comparação da leitura do acumulado de chuva pelos pluviômetros com o acumulado pelos pluviógrafos. Depois de verificados os dados os mesmos foram organizados nas seguintes escalas:

- a) Instantâneos - série completa nos intervalos de tempo programado nos equipamentos com as conversões de unidades já realizadas.
- b) Diários – as variáveis foram separadas em máximos, médios e mínimos; a precipitação em acumulado do dia.
- c) Eventos – analisando a série de dados e leituras dos pluviômetros foram separados os eventos.
- d) Mensal– os dados também foram convertidos e analisados em uma escala mensal.

Desta forma, depois de separados os eventos, realizaram-se a confecção dos hidrogramas (vazão *versus* tempo), sedimentogramas (concentração de sedimentos em suspensão *versus* tempo) e hietogramas (precipitação *versus* tempo). A manutenção e a organização do banco de dados é muito importante, pois com ele é possível compreender os processos que atuam na bacia hidrográfica e aplicar modelos matemáticos na predição dos processos erosivos. Além disso, quando bem organizado o banco de dados pode ser compreendido por demais pessoas.

5.3 Estimativa da infiltração de água no solo em bacia hidrográfica.

A determinação da infiltração de água no solo em escala de bacia hidrográfica é de grande dificuldade, o que nos remete muitas vezes a incerteza da obtenção de seus valores. Em bacia hidrográfica existe uma grande variabilidade das propriedades do solo, características do relevo e da

vegetação o que tem impacto direto no processo de infiltração. Desta forma, se faz necessário o uso de metodologias que abranjam a variabilidade dos fatores.

Os dados do monitoramento hidrológico compõem um banco de dados, a partir do qual foram selecionados 77 eventos simultâneos de chuva e de vazão do mês de setembro 2009 ao mês de agosto de 2011. Este conjunto de eventos está distribuído uniformemente no período, contemplando diferentes fases do uso e manejo do solo, incluindo períodos de preparo do solo, períodos de grande cobertura do solo pelo fumo, períodos com plantas de cobertura e pousio. Além da variabilidade do uso e manejo do solo, o conjunto de eventos incorpora as variações climáticas inter e intra-anuais. Foram reunidos eventos de pequena magnitude (50 l s^{-1}) até eventos de grande magnitude (5000 l s^{-1}), sob diferentes condições de umidade antecedente e de erosividade das chuvas.

Os eventos foram caracterizados com a obtenção de variáveis explicativas, sendo elas: volume total de chuva (P), intensidade máxima de 30 minutos (I_{30}) da chuva, infiltração total (I), escoamento superficial (Q_{sup}), coeficiente de escoamento superficial (C), vazão máxima (Q_{max}) e concentração de sedimentos em suspensão máxima ($C_{\text{ss max}}$). A separação dos valores de escoamento superficial (Q_s) e o escoamento de base (Q_b) foram obtidos a partir da análise gráfica dos hidrogramas (método da declividade constante) conforme metodologia descrita em Ven Te Chow (1964) (Figura 19). O C foi obtido pela razão entre o Q_s e o volume total precipitado no evento.

Na sequência, foram utilizadas três estratégias matemáticas para a estimativa de infiltração na escala espacial e temporal, considerados distintos e independentes.

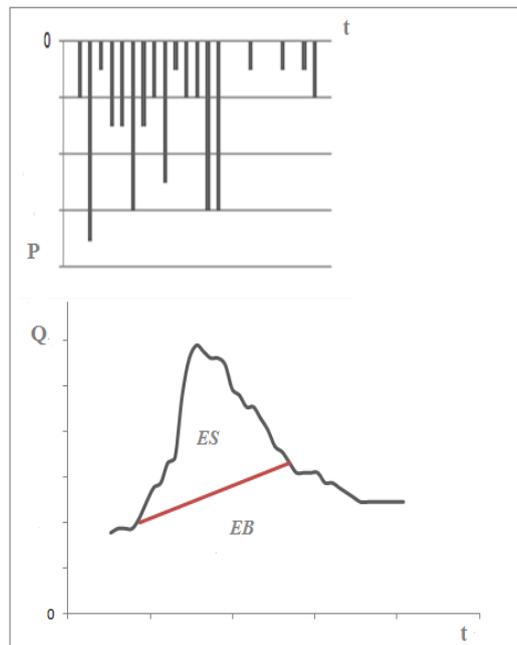


Figura 19: Separação do hidrograma (Q versus t) em escoamento superficial (ES) e escoamento de base (EB).

5.3.1 Modelo da Infiltração Total Aparente

Neste método, a infiltração para cada evento foi determinada pela variável conhecida como infiltração total aparente, estimada a partir da subtração entre a precipitação e o escoamento superficial, referentes à formação do escoamento superficial do evento (ROSE, 2004), equação 5.

$$I = P - Q_{\text{sup}} \quad (5)$$

Onde: I representa a infiltração total aparente de água no solo durante o evento (mm), P é a precipitação total (mm), e Q_{sup} representa o escoamento superficial (mm).

Os pressupostos mais importantes, considerados durante o procedimento foram: a) todo o volume de água não contabilizado pelo escoamento superficial infiltrou no solo; e b) a evapotranspiração é desconsiderada durante o evento. Estas são simplificações que geram incertezas nos resultados, entretanto, é um procedimento plausível perante a complexidade do fenômeno nesta escala e também as características fisiográficas da bacia, (tamanho e declividade) que apresenta tempo de concentração variando entre 40 e 90 minutos

Para os 77 eventos analisados, o valor de I foi obtido e, posteriormente, foram graficados num sistema cartesiano, com o valor de P no eixo das abscissas e I no eixo das ordenadas (Figura 20). A distribuição dos pontos indicará uma função exponencial com três regiões distintas: a) na parte inferior uma linha com declividade próxima a 1:1, indicando que praticamente todo o volume precipitado é infiltrado; b) uma região intermediária, com uma maior dispersão de valores, indicando um forte controle do uso e manejo do solo sobre a infiltração; e c) a formação de um patamar, que representa fisicamente a infiltração máxima da bacia (I_m), a partir da qual precipitações de maior volume não geram aumento na infiltração aparente medida.

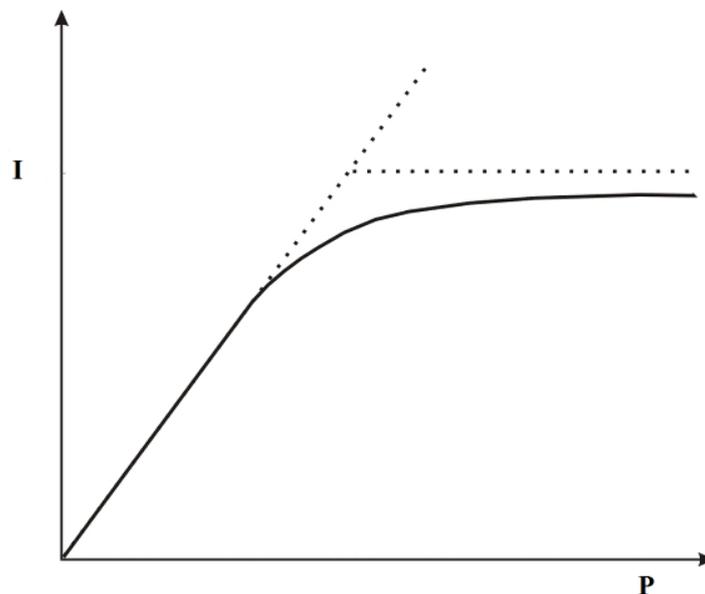


Figura 20: Gráfico ilustrativo da precipitação (P) versus a infiltração aparente (I), indicando a capacidade de infiltração máxima (I_m).

A partir do estabelecimento do valor de I_m , o modelo de infiltração para a bacia é descrito na forma (Equação 6):

$$I = I_m \left[1 - \exp\left(-\frac{P}{I_m}\right) \right] \quad (6)$$

Onde: I é o volume total infiltrado (mm), I_m é a infiltração máxima, P é o volume total precipitado (mm).

Importante que o conjunto de eventos monitorados inclua eventos de grande magnitude para que o patamar seja estabelecido.

Neste trabalho optou-se por trabalhar com a infiltração total de cada evento resultante da subtração da precipitação total ocorrida durante evento e do escoamento superficial gerado (ROSE, 2004).

5.3.2 Modelo da Curva Número

O Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS), divisão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, tem desenvolvido modelos para a estimativa do escoamento superficial, ou infiltração, a partir de eventos de precipitação. Um dos modelos mais utilizados para estes fins é a Curva Número (NRCS-USDA, 2007). O modelo proposto para a estimativa da vazão que escoam superficialmente é mostrado na equação 7.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (7)$$

Onde Q é o escoamento superficial (mm), P é a precipitação referente ao evento (mm), S é o potencial máximo de armazenamento de água no solo (mm), Ia representa as perdas iniciais devido a fatores como a interceptação e armazenamento em depressões, antes da formação do escoamento superficial (mm) sendo que, em geral, o próprio órgão desenvolvedor do método recomenda que na ausência de informações mais detalhadas, seja considerado como 20% de S. A variável S é uma função do valor da curva número (CN), conforme a equação 8, assim sendo, o único parâmetro a ser ajustado no método é o próprio CN.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Onde CN é um parâmetro adimensional (Curva-Número).

O parâmetro CN é tabelado para diferentes tipos de solo, e controla a formação do escoamento superficial nas diferentes condições de uso (USDA-NRSC, 2007). Quanto maior o seu valor, maior a propensão de formação do escoamento superficial. Na prática, este parâmetro é

definido experimentalmente, e varia conforme o uso e ocupação do solo, classe de solo e, também, em função da umidade antecedente ao evento. Para quantificar a influência do uso do solo no comportamento da infiltração, os eventos foram separados em duas épocas, sendo o período compreendido entre os meses de julho e dezembro a Época 1, abrangendo uma época de menor cobertura vegetal, e o período entre os meses de janeiro e junho a Época 2, com maior cobertura vegetal na bacia em estudo.

A aplicação deste método neste trabalho ocorreu de duas formas: a primeira estimando o CN em função do tipo e uso do solo (mediante a consulta em tabelas) e, num segundo momento, usando os valores de Q, determinados conforme a análise gráfica dos hidrogramas, para a estimativa do valor de CN para cada evento. O primeiro caso refere-se ao procedimento tradicional de aplicação do método, onde um único valor de CN é estabelecido para a bacia hidrográfica, por meio de uma média dos diferentes usos do solo ponderada pela área de cada gleba, possibilitando o cálculo do valor de S (Equação 8). No segundo caso, os valores de Q, estimados a partir da vazão medida, são utilizados para calcular o valor de CN de cada evento chuvoso, através da calibração do modelo. Neste caso, existe uma função objetivo, que é calibrar o valor do parâmetro CN de tal forma que ele gere um volume de escoamento superficial idêntico ao medido. A partir do valor de CN determinado, é determinado o valor de S, que é considerado como uma estimativa da infiltração total na bacia hidrográfica, durante cada evento chuvoso. Com esses dois conjunto de resultados foi realizada a análise da variabilidade temporal do processo de infiltração e formação do escoamento superficial e da aplicação do método.

5.3.3 Limburg Soil Erosion Model - LISEM

Nesta etapa o modelo LISEM foi utilizado para simular os processos hidrológicos e a partir disso a estimativa da infiltração média calculada para cada evento. O método de infiltração presente e escolhido no LISEM foi o Green e Ampt considerando duas camadas de solo. Além dos resultados de infiltração, objetivou-se analisar a capacidade deste modelo em representar o escoamento superficial.

A escolha pelo modelo LISEM partiu pelas características do modelo, principalmente pela capacidade de gerar informações espacializadas na bacia. Deste modo, inicialmente buscou-se a calibração do modelo para as características da descarga líquida e também acerca da produção de

sedimentos. Todavia, o objetivo geral do trabalho foi agregar mais um método de estimativa de infiltração comparando com os descritos nos itens 5.3.1 e 5.3.2.

Desta forma, com a utilização do modelo LISEM teremos um resultado de um modelo mais complexo e robusto. Assim, com o uso de diferentes modelos pode-se analisar a eficiência e o custo benefício das diferentes opções para a escala de bacia (um modelo físico com maior complexidade e dois modelos empíricos de fácil aplicabilidade). Apesar de o modelo permitir a simulação da produção de sedimentos, a contribuição deste trabalho com o LISEM se restringiu às descargas líquidas.

O modelo LISEM (*Limburg Soil Erosion Model*) foi desenvolvido especificamente para ser utilizado no planejamento e conservação da água e solo em bacias agrícolas com problemas relacionados ao uso intensivo e inadequado do solo. Esse por ser de base física contempla importantes descrições de processos do ciclo hidrológico e erosivo. Como por exemplo, precipitação, interceptação, infiltração de água no solo, movimento vertical da água no solo, escoamento superficial, capacidade de transporte e deslocamento pelo escoamento superficial, entre outros. O modelo faz simulações por evento.

Em sua estrutura o modelo é um dos primeiros de base física, sendo integrado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), como o software PCRaster possibilitando a entrada e saída de dados espacializados. Assim, ele divide a área da bacia em uma grade de células com tamanhos iguais onde para cada célula o modelo simula os processos hidrossedimentológicos, sendo que os cálculos realizados em uma célula podem interferir na célula vizinha. A escolha do tamanho da célula (*pixels*) é baseada no tamanho da bacia e do nível de detalhamento do levantamento das variáveis interferentes e do modelo numérico do terreno. Além disso, o critério de Courant foi usado para definir os valores do intervalo de tempo das simulações ($\Delta t=60$ s) e o tamanho de cada célula ($\Delta x=30$ m), sendo utilizado para fornecer maior estabilidade nos cálculos das diferenças finitas na modelagem matemática realizada pelo LISEM.

Desta forma, para cada célula, precipitação e interceptação são calculadas, após com a infiltração e armazenamento de superfície esses são subtraídos para gerar a descarga líquida. Posteriormente, o fluxo e deposição de sedimentos são calculados usando os seus princípios de energia e fluxo para finalmente serem encaminhados para a saída da bacia através da propagação por onda cinemática (Figura 21). Dentro de sua estrutura ele ainda permite simular a influência de estradas e áreas compactadas. Os resultados do LISEM consistem em um arquivo sumário com os totais (precipitação, descarga líquida, pico da descarga, perda de solo), um arquivo de séries temporais, com os dados discretizados no tempo podendo formular os hidrogramas e

sedimentogramas, além dos mapas com as áreas de erosão e deposição. A avaliação da eficiência do modelo é baseada na comparação dos hidrogramas e sedimentogramas observados e simulados. Além disso, uma análise estatística pode ser realizada para avaliar os valores medidos e observados, conforme o item 5.3.3.3

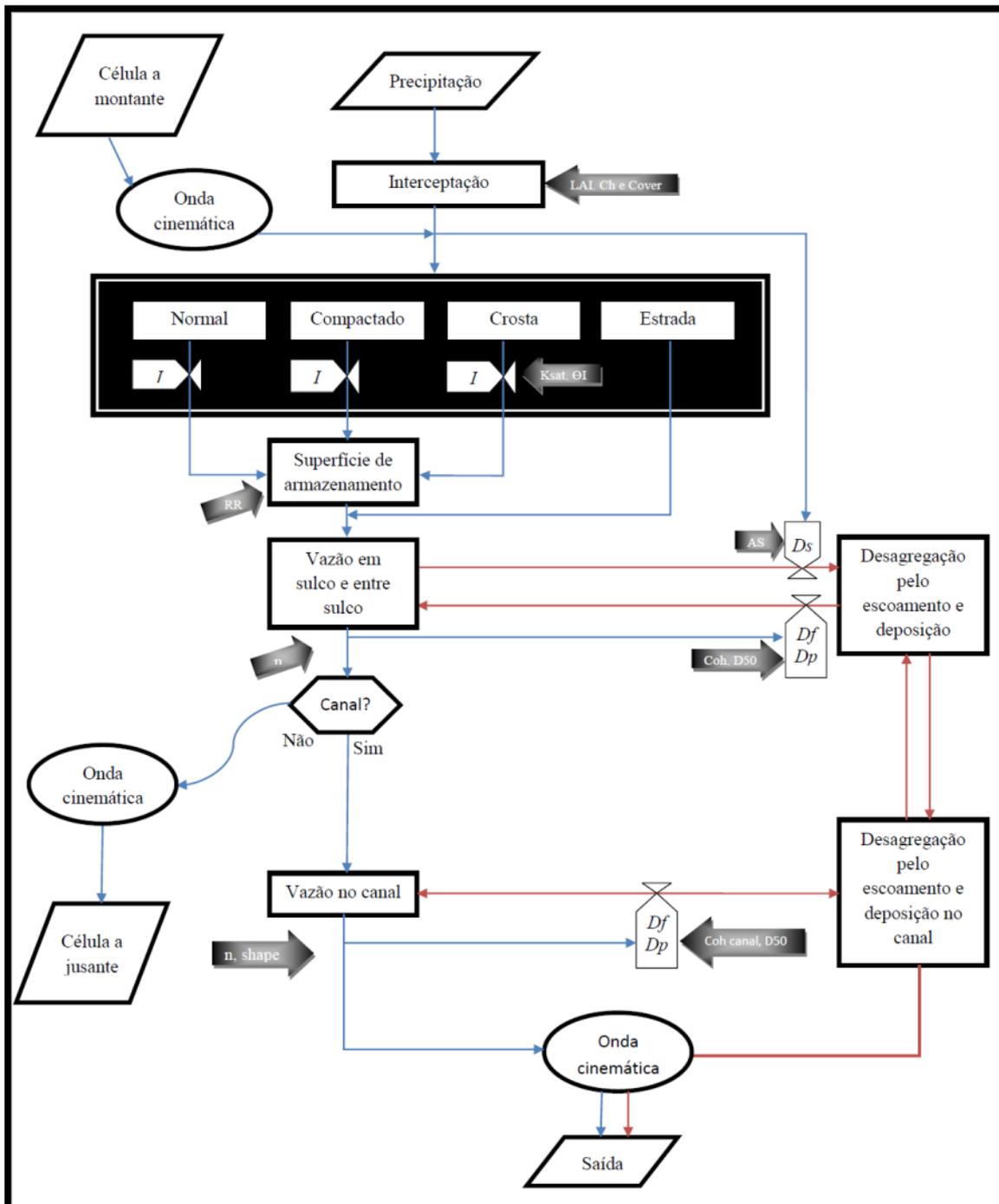


Figura 21: Fluxograma básico do funcionamento do modelo LISEM. (Fonte: adaptado de JETTEN, 2002).

Onde: LAI= índice de área foliar, CH= altura de plantas, Cover= fração vegetada, Ksat= condutividade hidráulica do solo saturado, θI = umidade antecedente, I= infiltração de água no solo, RR= rugosidade aleatória do solo, AS= estabilidade de agregados, Ds= desagregação pelo impacto da gota d'chuva, n= coeficiente de Manning, Df= desagregação pelo escoamento superficial, Dp= deposição, Coh= coesão do solo, D50= mediana da fração textural do solo, shape= forma do talude canal, Coh canal= coesão do canal.

Abaixo consta de que forma o LISEM interpreta e calcula os processos físicos na dinâmica da formação do escoamento superficial e erosivo. Entretanto, neste trabalho foram realizadas as calibrações para a formação do escoamento superficial, apenas consta de que forma o modelo calcula a partir das variáveis inseridas na sua programação a obtenção da erosão e deposição, pois se tentou avaliar a eficiência do modelo quanto a simulação dos sedimentogramas e produção de sedimentos, mas não obteve-se sucesso.

Cabe, ainda, ressaltar que o modelo faz as simulações por evento.

Precipitação

O modelo necessita a inserção de um arquivo com dados da intensidade de chuva, obtido pelo pluviógrafo instalado na bacia experimental, corrigidos pelos pluviômetros.

Interceptação

A interceptação da água chuva pelas culturas e vegetação é simulada sobre a copa por um simples armazenamento. A interceptação acumulada durante um evento é calculada de acordo com a equação 9 (ASTON, 1979):

$$S = C_p * S_{\max} \left[1 - e^{-k \left(\frac{P_{\text{acum}}}{S_{\max}} \right)} \right] \quad (9)$$

Onde: S é a interceptação acumulada (mm), Pacum é a precipitação acumulada (mm), K é um fator de correção para densidades de vegetação (igual $0.046 * LAI$), Cp é a fração da cobertura vegetal, Smax é o máximo armazenamento do dossel (mm) estimado a partir do índice de área foliar (m^2 de folhas m^{-2} de solo - LAI), equação 10:

$$S_{\max} = 0,935 + 0,498 * LAI - 0,00575 * LAI^2 \quad (10)$$

Note que o LAI representa a área foliar da fração de cada célula da grade que está sob vegetação.

Infiltração

O modelo permite mais de uma escolha para cálculo da infiltração e cabe ao modelador escolher qual equação é melhor dentro do seu conjunto de dados. Atualmente as opções são:

1. Swatre
2. Holtan (na nova versão do modelo, openLisem, este não aparece entre as opções)
3. Green e Ampt para 1 e 2 camadas
4. Morel e Seytoux
5. Subtração de Ksat

Nesse trabalho optou-se pelo Green e Ampt com simulação para duas camadas, devido ao conjunto de dados obtidos no estudo. Além disso, o uso de duas camadas é um grande diferencial, pois trabalhos desenvolvidos com o modelo LISEM no Brasil vinham sendo realizados com a simulação de apenas uma camada (GOMES et al., 2008; MORO et al., 2009; MORO 2011; RODRIGUES, 2011). A infiltração de água no solo por ser extremamente variável em uma bacia hidrográfica precisa que os dados inseridos no modelo sejam o máximo condizente com sua realidade. Desta forma, na bacia de Arvorezinha sabe-se que as classes de solos possuem um impedimento ao fluxo de água na camada subsuperficial devido ao horizonte argiloso que tem baixa condutividade hidráulica e solos rasos com contato lítico que também impedem a maior infiltração de água no solo. 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. Portanto, a inserção da segunda camada é muito importante, pois é responsável pela menor infiltração de água no solo e conseqüentemente formação do escoamento superficial.

A lâmina de água infiltrada acumulada em função do tempo é calculada por Green e Ampt conforme a equação 11:

$$I(t) = K * t + \Psi_f (\theta_s - \theta_i) \ln \left[1 + \frac{I(t)}{\Psi_f (\theta_s - \theta_i)} \right] \quad (11)$$

Onde: $I(t)$ = infiltração acumulada em um determinado período de tempo (mm), K é condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}), t representa o tempo, Ψ_f representa o potencial matricial na frente de molhamento (mm), θ_s representa a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e θ_i representa a umidade inicial do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Definição das superfícies

Diferentes superfícies podem ser simuladas com o modelo LISEM, os quais representam a estrutura do solo, sendo elas, solo normal (lavrado), solo com crosta, solo compactado, estrada (impermeável) e faixa de vegetação. Entretanto, para poder calcular a lâmina de água, quando são inseridas diferentes superfícies, é necessários mapas com parâmetros físicos do solo (condutividades hidráulica do solo saturado) específico para a superfície escolhida. Ou seja, é possível na grade de célula termos mais de um tipo de superfície, sendo que valores > 0 o LISEM assume que deve calcular a infiltração separada para essa área.

Armazenamento em micro depressões

A variável rugosidade aleatória do solo é usada como uma medida do armazenamento de água em micro depressões. O armazenamento de água em micro depressões é calculado usando o Armazenamento Máximo em Depressão. Originalmente o armazenamento superficial em depressões foi baseado na equação desenvolvida por Onstad (1984).

$$RET_{MAX} = 0,112 * RR + 0,031 * RR^2 - 0,012 * RR * N \quad (12)$$

Onde: RET_{MAX} é o armazenamento máximo em depressões (cm), RR é a rugosidade superficial (cm) e N é a declividade (%).

O excesso de chuva (chuva + escoamento superficial – interceptação – infiltração) requerido para preencher todas as depressões é calculado usando outra equação desenvolvida por Onstad (1984):

$$RET_{RAIN} = 0,329 * RR + 0,073 * RR^2 - 0,018 * RR * N \quad (13)$$

Onde: RET_{RAIN} é o excesso de chuva necessário para preencher as depressões (cm).

De acordo com Moore e Larson (1979) existem três possíveis estágios durante um evento chuvoso: (i) armazenamento em micro relevos, sem escoamento; (ii) armazenamento em microrrelevos adicionais acompanhado de escoamento; e (iii) escoamento somente com o preenchimento dos microrrelevos. Para determinar o estágio de transição entre (i) e (ii), os dados de Onstad (1984) foram analisados. A partir dessa análise, a seguinte equação foi desenvolvida para simular o ponto de início do escoamento:

$$DET_{START} = RET_{RAIN} * [0,0527 * RR - 0,0049 * N] \quad (14)$$

Onde: DET_{START} é o excesso de chuva necessário para iniciar o escoamento (cm).

A fração máxima de superfície coberta por água é calculada usando uma equação desenvolvida por Onstad (1984) com o mesmo conjunto de dados para calcular o excesso de chuva que é necessário para iniciar o escoamento superficial.

$$FWA_{MAX} = 0,152 * RR - 0,008 * RR^2 - 0,008 * RR * N \quad (15)$$

Onde: FWA_{MAX} é a fração máxima da superfície coberta com água.

A fração atual da superfície coberta com água é calculada usando uma relação baseada no trabalho de Moore e Larson (1979) e Onstad (1984):

$$FWA = FWA_{MAX} * \left[\frac{RET}{RET_{MAX}} \right]^{0,6} \quad (16)$$

Onde: FWA é a fração atual da superfície coberta com água, e RET é o armazenamento de água nas micro depressões.

Com base em estudos, algumas depressões são (temporariamente) isoladas e não contribuem com o escoamento superficial. A partir desses dados foi determinado que se o armazenamento for menor que 75% da quantidade máxima de retenção, 20% das depressões são isoladas. Se a retenção for entre 75 e 100% da quantidade máxima, a percentagem de depressões isoladas decresce próximo à zero, representada pela equação:

$$FWA_{ISO} = 0,20 * FWA * \left[1 - \frac{\frac{RET}{RET_{MAX}} - 0,75}{0,25} \right] \quad (17)$$

Onde: FWA_{ISO} é a fração das depressões isoladas, RET é o armazenamento de água nas micro depressões.

Escoamento superficial e no canal

A grade de células como comentando acima pode ter mais de um tipo de superfície, sendo que as características da infiltração variam de acordo com cada superfície. Assim, uma altura média de lâmina de água é calculada, resultando em um raio hidráulico médio e a velocidade então é calculada pela equação de Manning, equação 18:

$$V = \frac{R^{2/3} * N^{1/3}}{n} \quad (18)$$

Onde: V representa a velocidade ($m s^{-1}$), R é o raio hidráulico da seção transversal (m), N é a declividade (adimensional) e n é o coeficiente de Manning.

O valor de n representa o coeficiente de rugosidade desenvolvido pelo engenheiro irlandês Robert Manning, desenvolvido para determinar a velocidade do escoamento em canais abertos e tubulações, de grande utilização por modelos hidrológicos. Esse coeficiente foi utilizado como uma alternativa para compensar a falta de informações do modelo numérico do terreno (MNT), pois neste mapa não há a representação real da superfície da bacia. Ou seja, em áreas com cultivo do fumo há a presença de camalhões que direcionam o caminho do fluxo do escoamento superficial de forma paralela aos mesmos; diferentemente da simulação realizada pelo MNT que é o fluxo ocorrendo no sentido do declive. Desta forma, o ajuste do coeficiente de Manning durante as simulações foi a alternativa para diminuir a velocidade do escoamento, tentando simular o efeito dos camalhões, das faixas de vegetação, das variantes do relevo não contemplado no MNE e do microrelevo, das curvas no canal, dos seixos e matacões presentes no canal, os quais retardam o escoamento significativamente.

Algumas células da grade podem ter um canal, desta forma, é realizado um cálculo com a equação da onda cinemática em separado. Estas células recebem parte do escoamento superficial, que depende da velocidade do escoamento, o qual é considerado a média das velocidades da célula, isto é, da velocidade do canal e da superfície (Figura 22). O canal é considerado no centro da célula de modo que a distância da borda do canal é de $0,5 * (L_{célula} - L_{canal})$. A parte que flui para dentro do canal é, portanto:

$$f = \frac{V}{(0,5 * (L_{célula} - L_{canal}))} \quad (19)$$

Onde: f é o fluxo que entra no canal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), V é a velocidade média da célula (m s^{-1}), $L_{célula}$ é a largura da célula (m) e L_{canal} é a largura do canal (m).

Por fim, a descarga líquida é calculada de acordo com a equação de Manning:

$$Q = \frac{A}{n} * R^{2/3} * N^{1/2} \quad (20)$$

Onde: Q representa a descarga líquida ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), A representa a área da seção transversal úmida (m^2), n é o coeficiente de Manning (adimensional), R é o raio hidráulico da seção transversal (m), N é a declividade do fundo do canal (adimensional).

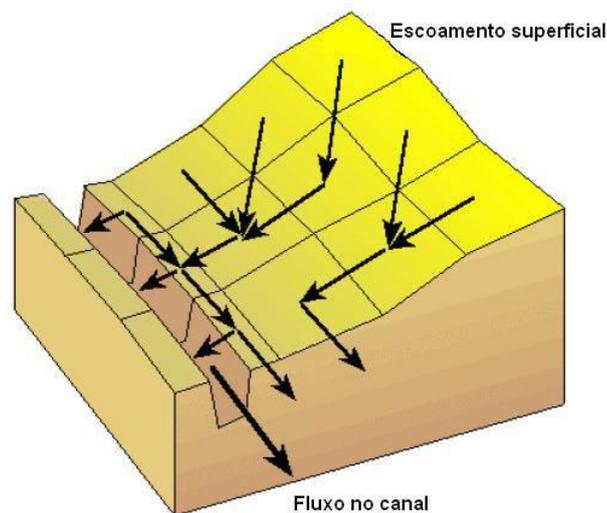


Figura 22: Ilustração do escoamento superficial e fluxo no canal em uma grade da célula de acordo com o mapa de fluxo de direção da área de estudo. (Fonte: adaptado JETTEN, 2002).

Erosão e Deposição

A erosão é a soma do desprendimento do solo pelo impacto da gota da chuva e desagregação pelo escoamento superficial. Supõe-se que a concentração da capacidade de escoamento superficial reflete um equilíbrio entre os processos contínuos de erosão e deposição. A quantificação da concentração de sedimentos em suspensão é calculada por:

$$e = Ds + Df - Dp \quad (21)$$

Onde: D_s representa a desagregação pelo impacto da gota d'chuva ($g\ s^{-1}$), D_f representa a desagregação pelo escoamento superficial ($g\ s^{-1}$), D_p representa a deposição ($g\ s^{-1}$), e representa a concentração de sedimentos em suspensão ($e - g\ s^{-1}$).

A erosão pelo impacto da gota da chuva é simulada através da estabilidade de agregados do solo, da energia cinética da chuva e da altura da lâmina de água superficial. A energia cinética pode surgir tanto da precipitação direta ou do “throughfall” (precipitação que foi interceptada pela vegetação), conforme a equação 22.

$$D_s = \left(\frac{2,82}{AS * Ke * \exp(-1,48 * h) + 2,96} \right) * P * M \quad (22)$$

Onde: D_s é a erosão pelo impacto da gota da chuva (efeito splash) ($g\ s^{-1}$); AS é referente a estabilidade de agregados (adimensional); Ke energia cinética da precipitação ($J\ m^{-2}$); h altura de lâmina de água (mm); P é a precipitação ou “throughfall” (mm); M representa a superfície onde o impacto da gota da chuva ocorre (m^2). A energia cinética da precipitação ou “throughfall” das plantas são respectivamente:

$$Ke_p = 8,95 + 44 * \log(I) \quad (23)$$

$$Ke_t = 15,8 * (h^{0,5}) - 5,87 \quad (24)$$

Onde: I representa a intensidade da chuva ($mm\ h^{-1}$) e h altura da planta (m).

Desagregação do solo pelo escoamento e deposição dos sedimentos

A equação para a desagregação do solo pelo escoamento e a deposição, expresso em termos de velocidade de sedimentação e da capacidade de transporte, é:

$$D = Y(T_c - C) * V_s * w * d_x \quad (25)$$

Onde: D representa D_f ou D_p ($g\ s^{-1}$); T_c representa a capacidade de transporte ($g\ m^{-3}$); C representa a concentração de sedimentos ($g\ m^{-3}$); V_s representa a velocidade de queda das partículas ($m\ s^{-1}$); w representa a largura do escoamento (m); d_x representa a largura de célula (m) e, Y representa um fator de eficiência (adimensional), calculado pela equação 26:

$$Y = \frac{u_{\min}}{u_c} = \frac{1}{(0,89 + 0,56 * Coh)} \quad (26)$$

Onde: u_{\min} representa o valor mínimo requerido para a velocidade de cisalhamento crítica (cm s^{-1}), u_c representa a velocidade de cisalhamento crítica para dar início a formação de um sulco (cm s^{-1}); e, Coh representa a coesão do solo (KPa).

Por definição quando Y é menor do que 1 está ocorrendo erosão, pois $T_c > C$, desta forma, quando a capacidade de transporte for menor do que a concentração de sedimentos ocorrerá deposição do mesmo (RAUWS; GOVERS, 1988).

Já a capacidade de transporte de sedimentos é calculada com base na potência do escoamento, conforme Govers (1990):

$$T_c = d_s * c * (W - W_c)^d \quad (27)$$

Onde: T_c representa a capacidade de transporte (Kg m^{-3}), d_s é a massa específica do material (2650 Kg m^{-3}), W é a potência do escoamento (calculado pela velocidade do escoamento multiplicado pela declividade), W_c representa a potência do escoamento crítica definido por Govers (1990) para um ampla gama de materiais, com valor estabelecido de $0,4 \text{ cm s}^{-1}$, e os coeficientes c e d são calculados em função da mediana da textura (D50) do material, que segue a equação 28 e 29 respectivamente:

$$c = \left[\frac{(D50 + 5)}{0,32} \right]^{-0,6} \quad (28)$$

$$d = \left[\frac{(D50 + 5)}{300} \right]^{0,25} \quad (29)$$

Por fim, a equação 27, no modelo LISEM, torna-se a equação 30, a qual calcular o transporte de sedimentos em sulcos.

$$T_c = 2650 * c * (VS - 0,4)^d \quad (30)$$

Onde: V representa a velocidade do escoamento (m s^{-1}) e S é a declividade (%).

Desagregação do solo no canal e sua deposição

A erosão e deposição no canal são tratadas da mesma maneira como esses processos ocorrem na superfície. As mesmas fórmulas são usadas, contudo baseadas nas características do canal fluvial.

5.3.3.1 Dados de entrada

O LISEM precisa de mapas na forma raster que são confeccionados pelo programa PCRaster. Estes mapas possuem características espacializadas sobre o relevo, solo e vegetação da bacia hidrográfica. Para obter esses mapas é necessário inserir mapas bases no PCRaster juntamente com uma tabela contendo os valores dos parâmetros utilizados para caracterizá-los. Contudo, algumas características podem variar ao longo do ano, por isso alguns dados foram alterados de acordo com a época do ano em que o evento ocorreu.

Os mapas bases são: delimitação da área de captação da bacia, classe de solo, uso do solo, modelo numérico do terreno, rede de drenagem e estradas. Juntamente a estes mapas foi necessário obter uma série de parâmetros para compor a tabela exigida pelo PCRaster. Desta forma, abaixo está descrito de que forma obtiveram-se os parâmetros e como se obteve os mapas bases utilizados.

(a) Mapas Base

Delimitação da área de captação da bacia hidrográfica:

O mapa da área de drenagem da bacia (Figura 6 e 23) foi obtido a partir dos outros estudos realizados no mesmo local, maiores informações podem ser obtidos em Minella (2003; 2007). Contudo, durante o período deste estudo (2010-2011) realizou-se verificação da área da bacia e seus divisores d'água.

Rede de drenagem e estradas:

A localização da rede de drenagem e estradas (Figura 6) foi obtida a partir dos outros estudos realizados no mesmo local, maiores informações podem ser obtidos em Minella (2003; 2007).

Modelo Numérico do Terreno:

O mapa do modelo numérico do terreno foi obtido a partir dos outros estudos realizados no mesmo local (Figura 23), maiores informações podem ser obtidos em Minella (2003; 2007).

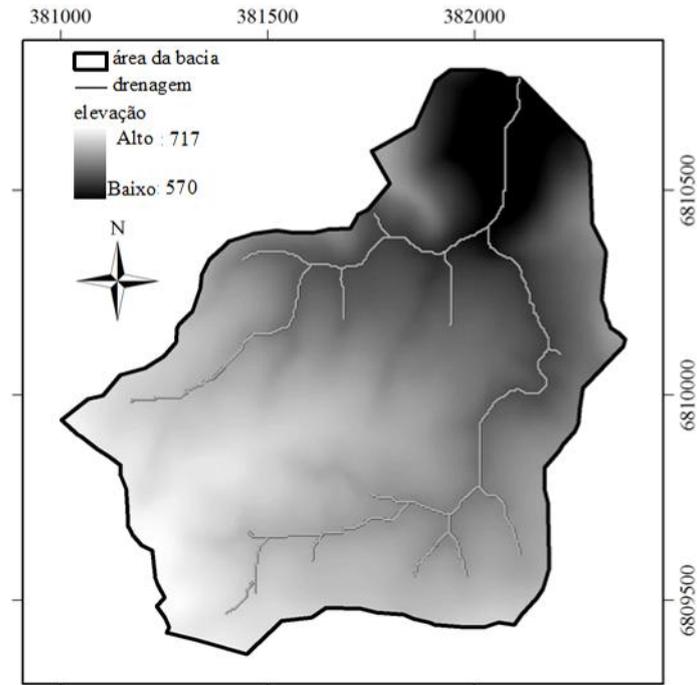


Figura 23: Mapa do modelo numérico do terreno, indicando a delimitação da bacia experimental e rede de drenagem.

Classe de Solo:

Foi realizado no ano de 2011 um novo levantamento da classe de solo para a bacia de Arvorezinha, pelo grupo de pesquisa em bacias hidrográficas do laboratório de física do solo da UFSM com o apoio dos estudantes de pós-graduação do setor de pedologia. Uma imagem do aplicativo Google Earth do ano de 2003 foi utilizada para reconhecimento prévio da área. Sobre esta foi sobreposto o mapa de solos na escala 1:25.000 (STRECK, 2001), através do que se estabeleceu uma relação solo-paisagem prévia e elaborado o modelo conceitual do mapeamento de solos. Ainda, sobre essa imagem, foram locados 150 pontos de observação para identificação das classes de solo a campo. A imagem do aplicativo Google Earth, contendo os pontos de observação, foi impressa para a realização das expedições de campo. Com o auxílio de um trado holandês foi identificada a classe de solo e coletadas informações ambientais e morfológicas (classe de declividade, classe de drenagem, espessura e textura dos horizontes A e B, profundidade do contato lítico, uso atual, pedregosidade e rochiosidade, entre outras). Os pontos amostrados, assim como feições importantes da paisagem, foram georreferenciadas utilizando um aparelho GPS. A partir das diversas tradagens realizadas, foram feitos ajustes e correções necessárias na relação solo-paisagem e elaborado o modelo conceitual definitivo do mapeamento de solos. Isso evitou a necessidade de visita e amostragem de todas as feições do relevo e glebas identificadas. As feições e manchas de solo foram delineadas sobre as imagens impressas do aplicativo Google Earth. Os dados

morfológicos, químicos e físicos dos perfis descritos no levantamento de 2001 foram utilizados. Assim, a classificação taxonômica dos solos foi atualizada segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006).

As unidades de mapeamento (estabelecidas no primeiro nível categórico do SiBCS) de solos e a legenda definitiva foram estabelecidas em função das classes de solos identificadas. Os delineamentos foram digitalizados fazendo uso de análise das imagens do aplicativo Google Earth, diretamente na tela do computador, em três dimensões, bem como do mapa de uso do solo de 2010-2011. O mapa produzido possui escala de publicação de 1:3.000. As figuras 24a e 24b mostram o mapa de solo inicial e o novo desenvolvido pelo grupo de pesquisa e setor de pedologia da UFSM, respectivamente. Observam-se significativas mudanças no mapa atual em relação ao anterior.

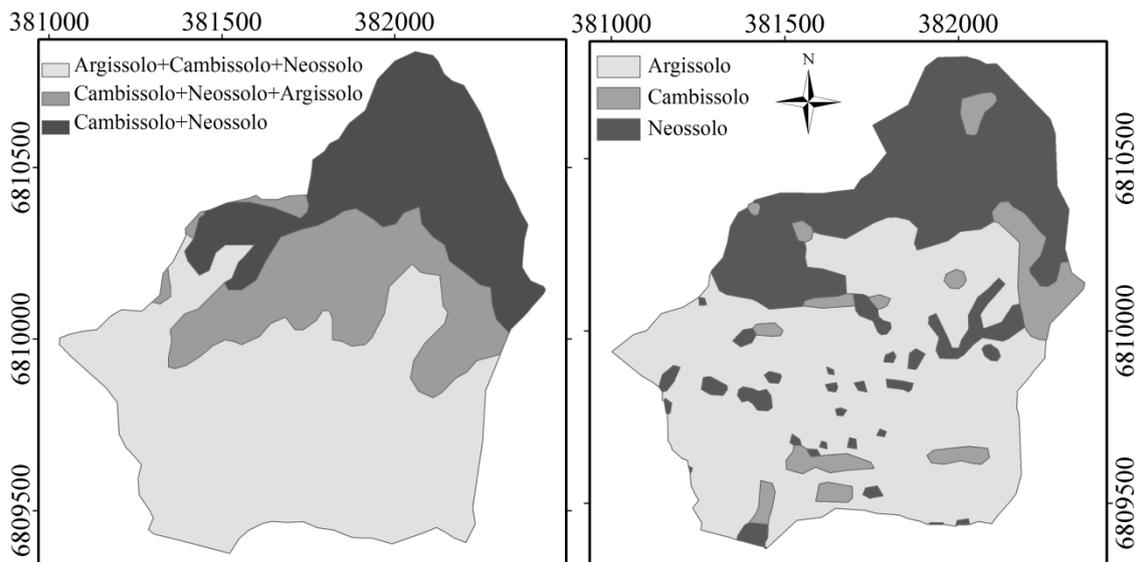


Figura 24: (a) Mapa de solos antigo; (b) novo mapa de solos realizado em 2011 na bacia experimental de Arvorezinha.

Uso e manejo do Solo:

O mapa do uso do solo é realizado anualmente (Figura 6), para tal se faz o caminhamento por todas as áreas da bacia com o auxílio de um GPS para o georreferenciamento das áreas. Para a realização do mapa de uso 2010-2011 utilizou-se imagem do aplicativo Google Earth do ano de 2003 juntamente com o mapa de uso do solo da bacia de 2007-2008. Já para a confecção do mapa de 2011-2012, foram utilizadas as informações do levantamento de 2010-2011 juntamente com saída de campo por caminhamento.

(b) Parâmetros de entrada do modelo LISEM

Parâmetros das características da vegetação

Fração de área do solo coberta por vegetação (Cover), altura da vegetação (CH) e índice de área foliar (LAI): A Cover e CH foram determinadas para a bacia de Arvorezinha por Mello (2007). O índice de área foliar para a cultura do fumo foi de acordo com Pellegrini (2006) que determinou o parâmetro em uma microbacia rural na região central do RS. Os valores de LAI para o reflorestamento (eucalipto) estão de acordo com os dados medidos por Rodrigues (2011) em uma microbacia florestal na região metropolitana do RS. O uso pastagem teve o LAI de acordo com os dados de Mello (2007) determinados na microbacia de Arvorezinha.

Parâmetros da superfície do solo

Rugosidade aleatória do solo (RR) e coeficiente de Manning (n): os valores de n foram retirados da literatura conforme Haan et al., (2003). O RR foi determinado em campo através do uso do perfilômetro (Figura 25) com 1 metro de comprimento e leituras tomadas de 5 a 5 cm . Foram amostrados 81 pontos contemplando a área de captação da bacia e os diferentes usos do solo (Figura 26). O RR fornece o desnível do terreno, considerado como um enrugamento da superfície, constituindo micro depressões e/ou micro elevações. O valor de RR utilizado no modelo LISEM é o desvio padrão das medições realizadas no campo para cada uso do solo considerado no estudo.



Figura 25: Perfilômetro em lavoura de fumo no cultivo convencional, Arvorezinha 2011.

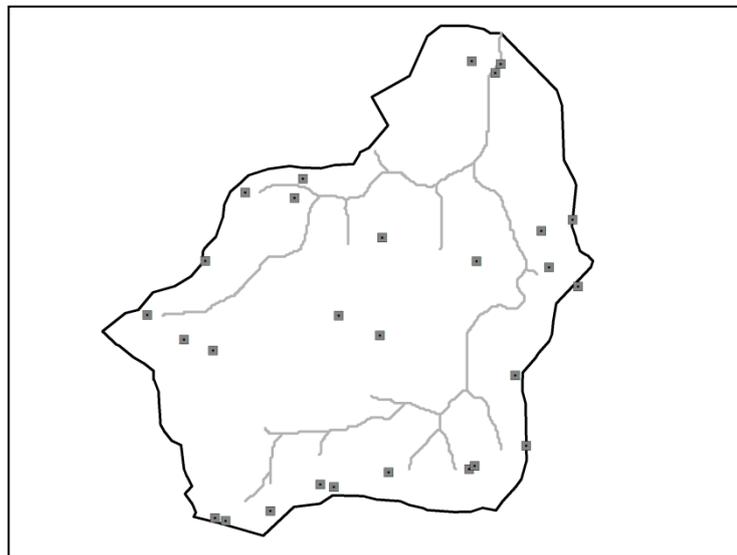


Figura 26: Distribuição da malha amostral dos pontos de coleta para a determinação da rugosidade aleatória do solo.

Parâmetros relacionados com a infiltração de água no solo

Umidade inicial de água no solo (THETA_I), Potencial matricial na frente de molhamento (PSI), Porosidade do solo (THETA_S) e Condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}). A umidade

inicial de água no solo foi estimada utilizando o valor de 70% da porosidade total, contudo o indicado seria utilizar o balanço hídrico diário para essa determinação, mas isso não foi possível devido a falta de informações sobre a evapotranspiração nos anos monitorados neste trabalho. O potencial matricial na frente de molhamento foi estimado pela equação desenvolvida por Rawls et al., (1983). A equação também foi utilizada por outros autores que apontaram como adequada para os solos brasileiros (GOMES et al., 2008; MORO, 2011).

$$\begin{aligned} \psi_m = & \text{Exp}(6,5309 - 7,3256 * VTP + 0,0011583 * Arg^2 + 3,809479 * VTP^2 + 0,0003444 * \\ & Are * Arg - 0,049837 * Are * VTP + 0,001608 * Are^2 * VTP^2 + 0,001602 * Arg^2 * VTP^2 - \\ & 0,000014 * Are^2 * Arg - 0,00348 * Arg^2 * VTP - 0,0008 * Are^2 * VTP) \end{aligned} \quad (31)$$

Onde: ψ_m é o potencial matricial na frente de molhamento (mm), VTP representa a porosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), Are representa o percentual da fração areia (%) e Arg representa o percentual da fração argila (%).

A Ksat foi determinada em laboratório com o uso do permêmetro de carga constante. Foram amostrados a campo 28 pontos, que se buscou contemplar a área da bacia, classes de solos e usos do solo (Figura 27). A coleta foi realizada em duas profundidades (superficial e subsuperficial) quando havia existência do horizonte B, sendo coletados três anéis por camada. A camada subsuperficial foi amostrada na profundidade que caracterizasse um impedimento ao fluxo de água, podendo ser um horizonte argiloso, presença da rocha, ou material em intemperismo (28). Ao total foram coletadas 135 amostras (anéis cilíndricos). Em laboratório elas foram preparadas e colocadas para saturar por 48h, após foi realizada a determinação da condutividade hidráulica. A equação 30 mostra como foi obtida a Ksat segundo a equação de Darcy:

$$K_{sat} = \frac{Q * L}{J * H * t} \quad (32)$$

Onde: Ksat é a condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}), Q corresponde ao volume percolado (mm), L é a altura do cilindro (cm), H é a altura do cilindro mais a coluna de água (cm), J corresponde a área do cilindro (cm^2) e t é o tempo (h).

A determinação da granulometria foi necessária, entre outros, para o cálculo do parâmetro PSI, deste modo, amostras de solo deformadas foram coletadas nos mesmos pontos de coleta das

amostras para avaliar a K_{sat} . Após, uma semana seco ao ar, o solo foi preparado, e a análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

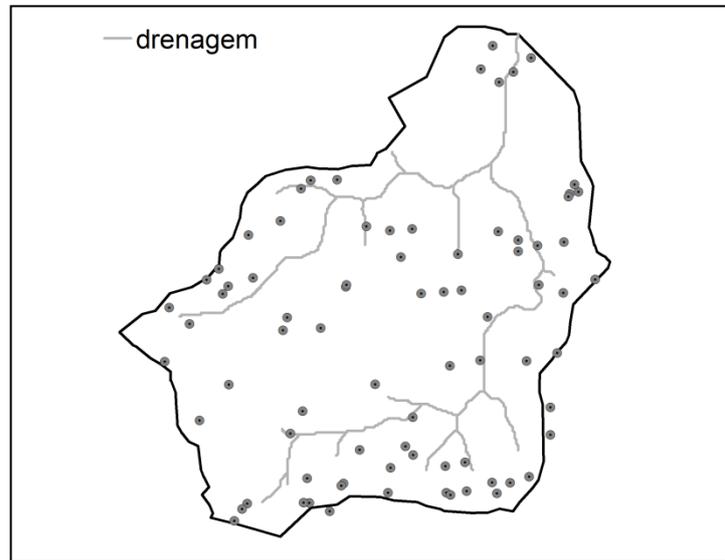


Figura 27: Distribuição da malha amostral na coleta da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}).

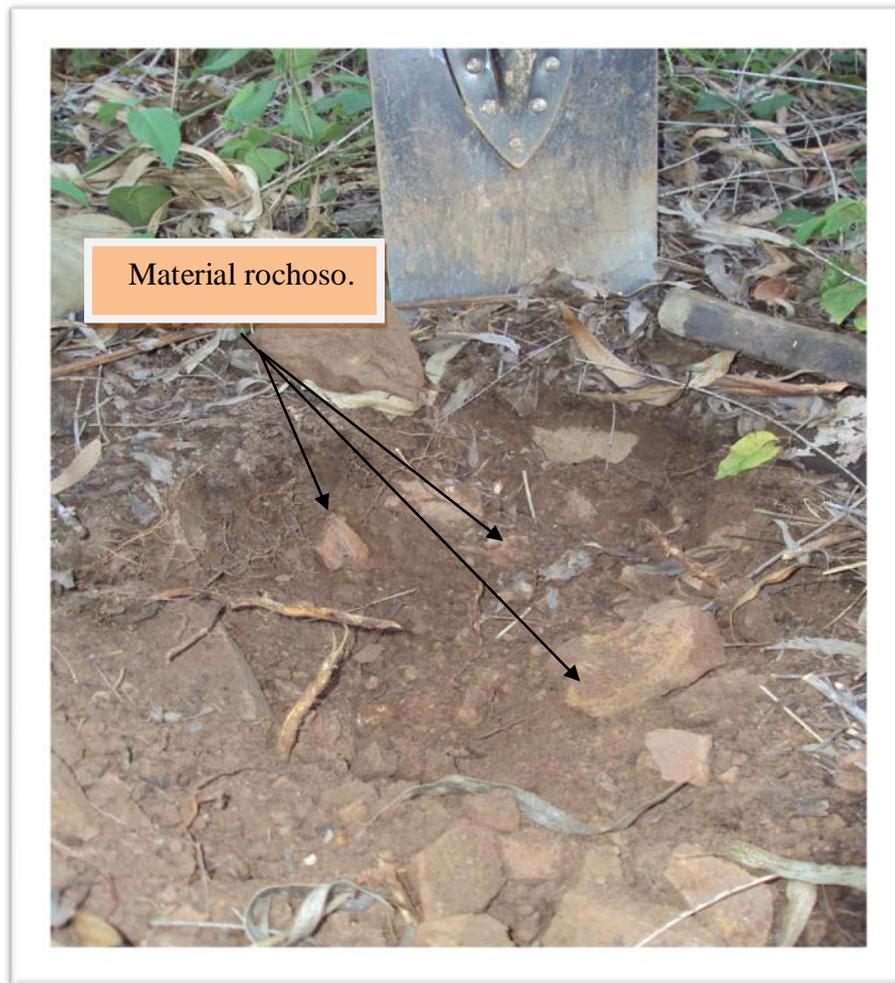


Figura 28: Perfil do solo (Cambissolo) de um dos locais onde não foi possível realizar coleta em duas camadas, Arvorezinha 2011.

A porosidade total do solo foi determinada com as mesmas amostras coletadas para a K_{sat} , sendo que após a análise no permêmetro elas foram colocadas na estufa a 105°C por 24h. Os dados de porosidade total foram obtidos através do volume correspondente ao contido na amostra de solo coletadas em anéis cilíndricos, conforme EMBRAPA (1997).

Parâmetros relacionados com a erosão e deposição

Estabilidade de agregados (AS), Coesão do solo (Coh), Coesão adicional pelas raízes (Coha) e Mediana da textura (D50): O parâmetro AS foi determinada para a bacia de Arvorezinha por Moro (2011). Para cada uso do solo foram utilizados 80 agregados de tamanho semelhante, os quais eram submetidos a uma simulação de desagregação do solo pelo impacto da gota da chuva.

Maiores detalhes podem ser obtidos pela referência acima citada. Os dados da mediana da fração granulométrica foram obtidos por Moro (2011) e utilizadas nesse trabalho.

A coesão do solo foi determinada para a bacia de Arvorezinha por Dalbianco (2009). Para realizar essa análise foi utilizado um aparelho denominado torvane (HOLTZ; KOVACS, 1981). Ao total, foram obtidos valores de resistência ao cisalhamento (coesão do solo) em 71 pontos, cada um composto por 10 leituras em um raio de dois metros.

A coesão adicional pelas raízes foi retirada de estudos realizados por Morgan et al., (1998).

5.3.3.2 Características e calibração dos eventos utilizados

A calibração do modelo foi realizada com 10 eventos distribuídos nos anos de 2010 e 2011. Os eventos foram escolhidos, principalmente, a partir da sua magnitude (extrema, alta, média e baixa), época do ano com maior ou menor vegetação. Na tabela 3 estão dispostas as características hidrossedimentológicas dos 10 eventos calibrados.

Tabela 3: Características hidrossedimentológicas dos eventos calibrados.

Evento	Data	Duração	P total ⁽¹⁾	I max ⁽²⁾	Esc. Superf. ⁽³⁾	Q max ⁽⁴⁾	CSS max ⁽⁵⁾	C ⁽⁶⁾	PS ⁽⁷⁾
		h	mm	mm h ⁻¹	mm	L s ⁻¹	g L ⁻¹	%	ton
1	03.01.10	45,83	187,30	64,90	79,00	5152,00	4,52	36,07	156,00
2	22.03.10	10,50	36,73	58,68	1,07	183,00	2,39	2,92	1,35
3	24.07.10	9,16	17,36	53,88	0,96	375,00	1,49	5,54	2,28
4	12.08.10	14,66	18,95	21,22	0,32	100,00	0,61	1,69	0,40
5	07.10.10	7,16	27,06	9,74	0,17	59,00	1,54	1,19	0,20
6	22.04.11	10,83	40,85	67,12	6,66	1790,68	2,00	16,30	8,79
7	11.05.11	8,00	14,86	62,77	1,12	451,28	1,10	7,56	1,35
8	17.06.11	13,50	33,42	21,43	0,90	120,26	0,23	2,68	0,34
9	20.07.11	39,16	127,03	36,73	69,14	3367,08	0,61	54,43	25,07
10	08.08.11	16,00	64,16	18,97	9,03	2014,95	0,68	14,07	6,63

⁽¹⁾ Precipitação total do evento, ⁽²⁾ Intensidade máxima da precipitação em 1 hora, ⁽³⁾ Escoamento superficial, ⁽⁴⁾ Vazão máximo ocorrida durante o evento, ⁽⁵⁾ Concentração de sedimentos em suspensão máxima ocorrida durante o evento e ⁽⁶⁾ Coeficiente de escoamento superficial, ⁽⁷⁾ Produção de sedimentos.

Foram escolhidos 5 usos do solo para realizar a modelagem, de acordo com a significância dos usos encontrados na bacia, sendo eles: 1- Lavoura fumo cultivado tradicional (CT), 2- Lavoura

fumo cultivo mínimo (CM), 3- Mata Nativa, 4- Pastagem e 5- Açudes. O uso e manejo do solo foram escolhidos como condicionantes dos processos hidrossedimentológicos para a camada 1 do solo, contudo, observou-se que na camada 2 do solo o fator condicionante foi a classe do solo. Para a modelagem foi determinado que a camada superficial (camada 1) teria uma profundidade de 0,0 - 0,35 m, de acordo com as observações realizadas no campo; bem como para a camada subsuperficial (camada 2) a profundidade foi de 0,35 - 1,0 m. Desta forma, formularam-se duas tabelas para inserir em cada evento calibrado, como pode ser visto nas tabelas 4 e 5 correspondente ao evento 24/07/2010. Neste trabalho foi realizada a simulação do canal principal, contudo não foi simulado erosão no canal. Os dados de entrada do canal foram:

Soildepth (profundidade) = 1,0 m

Chancoh (coesão) = 1000 kPa

Chanman (n' Manning) = 0,1

Chanside (forma do talude do canal) = 0 (ângulo de 90°)

Chanwidth (largura) = 1,0 m

Tabela 4: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo.

Uso	Ksat 1 ^(a)	THETAS 1 ^(a)	PSI ^(a)	THETAI 1 ^(b)	n ^(c)	Cover ^(a)	CH ^(a)	LAI ^(a)	D50 ^(a)	Coh ^(a)	Coah ^(c)	AS ^(a)
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,7	0,5	3,5	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,6	0,5	3,5	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Tabela 5: Dados de entrada das características físico-hídricas do solo para a camada 2 associados a variabilidade da classe de solo.

Classe	K _{sat} 2 ^(a)	THETAS 2 ^(a)	PSI 2 ^(a)	THETAI 2 ^(b)
Neossolo	0,0	0,57	0,0	0,40
Cambissolo	20,0	0,57	0,25	0,40
Argissolo	20,0	0,57	0,25	0,40

K_{sat}1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹); THETAS1= porosidade total do solo (cm³ cm⁻³); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm) e THETAI1= umidade antecedente ao evento (cm³ cm⁻³).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

Alguns parâmetros de entrada, como a K_{sat}, tiveram algumas observações importantes a respeito dos valores obtidos durante a análise. Primeiramente acreditava-se na variabilidade conforme o uso e manejo do solo, mas os valores obtidos em laboratório nos mostraram que não havia diferença significativa na K_{sat} conforme o uso e manejo. Assim, foram utilizados valores médios determinados em laboratório, onde para camada 1 a K_{sat} obtida foi de 100 mm h⁻¹ para todos usos e camada 2 valores de 20 mm h⁻¹ para as classes de Argissolo e Cambissolo, uma vez que os Neossolos não apresentam horizonte subsuperficial determinou-se condutividade próximas a zero mm h⁻¹. Ainda, nas propriedades físico-hídricas do solo, o cálculo do potencial matricial na frente de molhamento (PSI-1 e PSI-2) foi de acordo com a granulometria conforme o uso na camada 1 e classe de solo para camada 2. A porosidade total do solo para camada 2 foi determinada com a média das porosidades calculadas na camada 1. Em relação a propriedades da superfície a rugosidade aleatória do solo (RR), foi determinada em uma maior malha amostral, desta forma, foi possível confeccionar o mapa com a distribuição espacial dos valores obtidos. Contudo, o modelo LISEM permite um valor máximo para o RR, sendo que quatro pontos quando determinados em campo passou do valor 10, desta forma, para poder realizar a modelagem foi determinando o valor 10 para esses pontos amostrados.

5.3.3.3 Análise estatística

Os resultados do modelo foram divididos em três partes, primeiramente os valores de vazão máxima, volume de escoamento superficial e tempo de pico foram comparados com os valores medidos. Na segunda etapa foram comparados os valores instantâneos de vazão, mostrando o ajuste

da forma do hidrograma observado e calculado. Finalmente, os valores de infiltração do calculados foram comparados com os valores dos métodos descritos nos itens 5.3.1 e 5.3.2.

Para realizar a comparação entre os dados observados com os dados simulados, foram utilizadas algumas ferramentas estatísticas, como o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) (NASH; SUTCLIFFE, 1970) e da porcentagem BIAS (PBIAS). O COE pode variar de $-\infty$ a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste entre os dados simulados e observados. A porcentagem BIAS (PBIAS) avalia a tendência geral que os dados simulados podem superestimar ou subestimar os dados medidos. As equações 33 e 34 representam o COE e PBIAS, respectivamente.

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - \bar{E})^2} \quad (33)$$

$$PBIAS = \frac{Es - Em}{Em} * 100 \quad (34)$$

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

5.4 Análise do padrão de transferência de água e sedimentos durante eventos

O estudo do comportamento hidrossedimentológico da bacia hidrográfica pode ser analisado através das curvas que relacionam a concentração ou descarga de sedimentos com a vazão. A relação entre essas duas variáveis nos permite inferir no entendimento da transferência de sedimentos e água durante os eventos.

Nesse estudo foram utilizados dados do monitoramento hidrossedimentométrico, vazão (Q) e concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) discretizados em uma série temporal; os quais foram separados conforme sua resposta frente ao evento chuvoso. Com a separação dos eventos

chuva – vazão e chuva – sedimentos, foi aplicada uma metodologia qualitativa e outra quantitativa para avaliar o efeito histerese entre Q versus C_{ss} . Foram utilizados 23 eventos distribuídos nos anos de 2010 e 2011, esses eventos foram escolhidos conforme sua magnitude, época do ano e cobertura do solo.

5.4.1 Análise Qualitativa

A relação entre Q e C_{ss} graficadas caracterizam a curva histerese durante o evento chuvoso figura (29). A análise é realizada pelo sentido do laço formado, sendo três classes principais, horário, anti-horário e formato em oito (Figura 30). De acordo com Lawler et al. (2006), a identificação do sentido do laço é realizada com a identificação da C_{ss} ramo crescente (C_{ss} RC) e C_{ss} ramo decrescente (C_{ss} RD). Quando a C_{ss} RC é maior que a C_{ss} RD, o laço da curva da histerese é no sentido horário, isto é, o pico da concentração de sedimentos ocorre antes do pico da vazão. Uma das razões é devido a fonte de sedimentos estar próxima ao canal fluvial, contudo, com o passar do tempo essa fonte acaba se esgotando, diminuindo mesmo com a vazão aumentando.

Quando o laço apresenta sentido anti-horário, C_{ss} RC é menor que a C_{ss} RD e, desse modo, ocorre um pico de C_{ss} depois do pico da vazão. A curva anti-horária é analisada como a chegada de sedimentos de fontes mais distantes e também de processos com dinâmica mais lenta, mesmo com o aumento da vazão, como, por exemplo, o colapso de margens que ocorre quando ela se encontra suficientemente saturada (LEFRANÇOIS et al., 2007).

A classe que apresenta tanto o sentido horário como o anti-horário é em formato de oito, isto ocorre, pois os picos estão se aproximando, entretanto, é o pico da C_{ss} que é alcançado primeiro produzindo uma curva horária (WILLIAMS, 1989). De acordo com Lefrançois et al., (2007) essa classe é interpretada pela mobilização e transporte de sedimentos cuja disponibilidade não está restrita nem na subida e descida da curva.

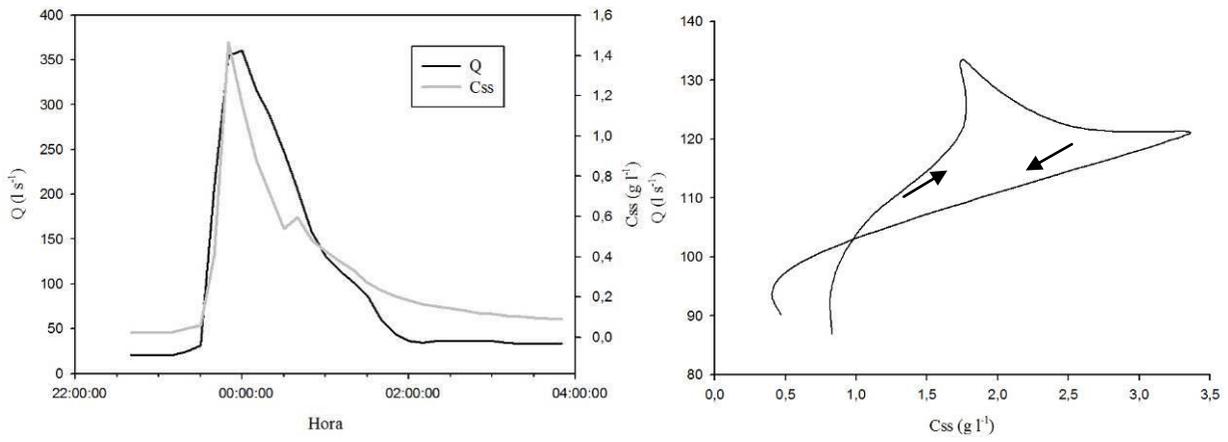


Figura 29: Exemplo de hidrograma (Q versus t) e sedimentograma (C_{ss} versus t) e a relação C_{ss} versus Q .

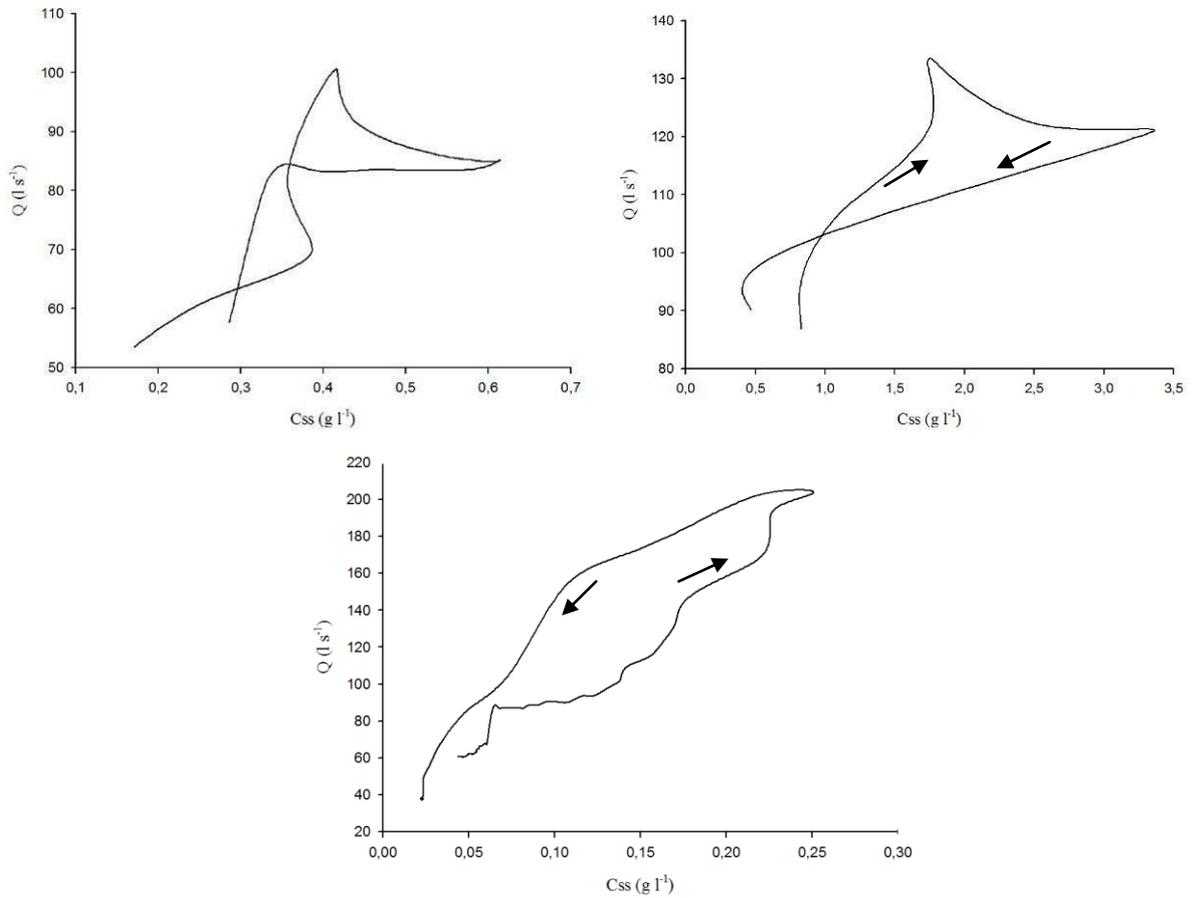


Figura 30: Ilustração dos principais laços da curva da histerese (baseado em Williams, 1989).

5.4.2 Análise Quantitativa

Em busca de complementar e a necessidade de quantificar as variáveis, foi determinando a quantificação da histerese através do índice de histerese de acordo com Lawler et al. (2006), o qual nos permite comparar diferentes eventos e bacias.

A metodologia é baseada na determinação do ramo crescente (Css RC) e ramo decrescente (Css RD). Primeiramente deve conhecer a vazão máxima (Q_{max}) e vazão mínima (Q_{min}) do evento, posteriormente determina-se a vazão central (Q_{cen}), conforme equação 35:

$$Q_{cen} = 0,5 * (Q_{max} - Q_{min}) + Q_{min} \quad (35)$$

Onde: Q_{max} representa a vazão máxima e Q_{min} representa a vazão mínima.

Com a Q_{cen} foi possível encontrar os ramos Css RC e Css RD, utilizando a análise do gráfico CSS *versus* Q (Figura 31), após foi determinado o sentido dos laços para os eventos utilizados.

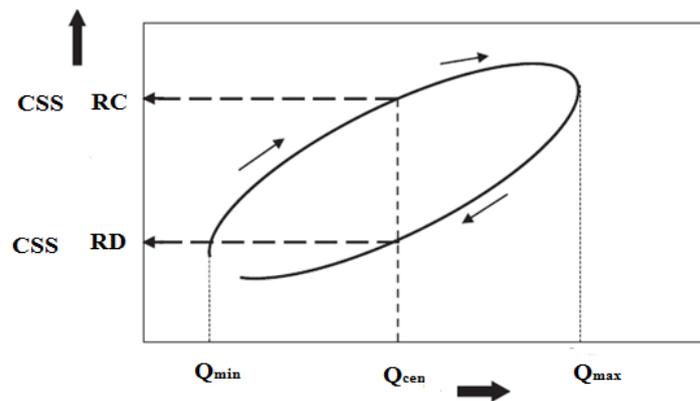


Figura 31: Laço da histerese com a identificação da vazão central (Q_{cen}) e ramo crescente (Css RC) e decrescente (Css RD) da concentração de sedimentos em suspensão. (Fonte: adaptado LAWLER, et al., 2006)

O IH pode ser calculado por duas equações, sendo definido pelo sentido do laço, ou seja, se o sentido da curva for horário o IH será calculado pela equação 36, com sinal positivo. Já o sentido do laço anti-horário fornece um valor de IH negativo, conforme equação 37:

$$IH = \left(\frac{C_{ssRC}}{C_{ssRD}} \right) - 1 \quad (36)$$

$$IH = \left(\frac{-1}{\left(\frac{C_{ssRC}}{C_{ssRD}} \right)} \right) + 1 \quad (37)$$

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Monitoramento hidrossedimentométrico

Os resultados do monitoramento hidrossedimentométrico apresentaram as respostas da avaliação das variáveis hidrológicas (descargas líquidas e sólidas), pelas quais buscamos descrever algumas características fundamentais desta bacia. O período focado abrangeu o intervalo de setembro de 2009 a agosto de 2011. Após a tabulação dos dados instantâneos, as séries foram organizadas em diferentes formas: dados diários, dados mensais e dados de eventos, assim para diferentes objetivos têm-se as informações organizadas da forma mais apropriada.

6.1.1 Precipitação

Na tabela 6 são apresentados os dados acumulados mensais de chuva para o período do monitoramento. De forma geral, todo o período monitorado apresentou valores de precipitação acima da média anual não havendo períodos de estiagem e contribuindo para os processos erosivos. Observa-se que em toda série mensal o mês de setembro e novembro de 2009 alcançaram valores extremamente altos comparando com os demais e com sua média histórica. Importante salientar que juntos esses dois meses representam 36,75% da precipitação ocorrida no ano de 2009, sendo esse período (setembro-novembro) de chuvas com maior erosividade (Tabela 6).

As precipitações ocorreram bem distribuídas ao longo do ano de 2010 gerando uma condição hidrológica favorável ao desenvolvimento das plantas. Contudo, o mês de janeiro houve uma alta precipitação (299,27 mm) com significativa repercussão nas perdas de água e sedimentos em suspensão, apresentados posteriormente. Nos primeiros dias do mês de janeiro do ano de 2010, o Sul do Brasil “sofreu” com a ocorrência de um grande evento hidrológico, ocasionando, a perda de casas, municípios destruídas, e lavouras devastadas ocasionadas pelas fortes enxurradas. De acordo com os meios de comunicação o estado do RS se encontrava sob o fenômeno El Niño (THEISEN et al., 2009). Nos meses de fevereiro e março a precipitação retornou a médias tradicionais para essa época. Em abril houve vários eventos chuvosos durante o mês, acumulando o

total de 182,03 mm, maior do que a média histórica (Tabela 6). Esse período é caracterizado com a semeadura das plantas de cobertura, desta forma, está no estágio inicial da cultura proporcionando menor proteção ao solo e isso pode refletir em maior perda de solo e produção de sedimentos.

Os meses de junho e julho de 2010 foram caracterizados por um grande número de eventos sequenciais. Observa-se que nesses dois meses os eventos foram dependes das condições antecedentes ao evento, isto é, da umidade do solo. Deste modo, a alta precipitação do mês de julho (254,90 mm), refletiu nas demais variáveis monitoradas. Contudo, nesse período os produtores que utilizam o sistema conservacionista do solo (cultivo mínimo) favorecem a redução da velocidade do escoamento superficial e ao impacto da gota da chuva pela presença da palha sobre o solo.

O mês de setembro foi o segundo mês com maior precipitação do ano (274,3 mm). Como observado no levantamento do uso e manejo do solo (item 5.2.4) ainda existem áreas significativas com o uso do plantio convencional, o que potencializa a produção de sedimentos, perda de insumo (carreados pelos sedimentos), contaminação das águas, entre outros. Salienta-se também a falta de mata ciliar em significativa parte dos córregos, que é responsável por grande parte dos problemas associados a perda de sedimentos e água na bacia.

No último trimestre do ano de 2010, o mês de outubro foi o que menor registrou volume de chuva, bem como menor volume em relação sua média histórica. Em novembro houve eventos de chuva de maior intensidade, sendo que nesse período o fumo está implementado, mas ainda com baixa cobertura sobre o solo e as chuvas com maior erosividade. No mês de dezembro o sul do Brasil entrou em um período de El Niña onde vários locais do Rio Grande do Sul (RS) sofreram com a estiagem e seca (CUNHA et al., 2011). Contudo, outras regiões não foram tão atingidas dentro do RS, como algumas partes do Planalto Rio Grandense. Observando a precipitação de Arvorezinha, esta foi maior que a média histórica para o mês de dezembro (Tabela 6).

O primeiro trimestre de 2011 foi marcado por altas precipitações, principalmente no mês de março, totalizando 629,13 mm de chuva para os três meses (Tabela 6). Também cabe ressaltar que no mês de março o fumo já está colhido, não havendo desta forma, cobertura no solo a não ser a resteva do fumo; o que pode aumentar a velocidade do escoamento e desagregação do solo.

No segundo trimestre de 2011 choveu 508,58 mm que, somados ao primeiro trimestre, geraram um total de 1137,7 mm representando 56,14 % da precipitação ocorrida no ano. Neste segundo trimestre o uso do solo em áreas de fumo é composto na grande maioria pelo cultivo da aveia como planta de cobertura. Sendo assim, as chuvas que ocorreram nos meses de abril e maio podem ter impacto direto nas perdas de água e sedimentos devido à fase de plantio e desenvolvimento inicial do cultivo da aveia, que ainda não apresenta boa cobertura e proteção ao

solo. Apenas no mês de junho a cultura da aveia apresenta-se com maior proteção para o solo (Figura 32) frente aos eventos hidrológicos, mesmo assim a cobertura ainda pode ser considerada pouco protetora, pois além da baixa cobertura as áreas precisariam de maior proteção contra as enxurradas e produção de sedimentos, principalmente frente aos eventos de maior magnitude.



Figura 32: Lavoura com cobertura de inverno utilizando aveia em junho de 2011.

O mês de julho de 2011 apresentou-se de forma semelhante ao ano de 2010 sendo considerado chuvoso e com sequência de eventos. Todavia, a maior parte da precipitação total do mês ocorreu em dois dias em num único evento, sendo este considerado um evento de alta magnitude. Mesmo sendo esses eventos de baixa frequência de ocorrência, são eles os maiores responsáveis pelos desastres socioambientais e econômicos. Por isso, é de grande importância o monitoramento das variáveis hidrológicas e sedimentológicas durante os eventos chuvosos. Observando os dados de precipitação chama-se a atenção para o alto volume de chuva no mês de agosto, diferentemente do ocorrido em 2010, quando este mês foi um dos menores em volume acumulado de chuva. Estes dois últimos meses do monitoramento deste trabalho representam juntos 30,4% da precipitação total do ano de 2011, consideravelmente significativos nos impactos gerados nesta bacia pela formação do escoamento superficial, produção e transferência de sedimentos. O

mês de agosto se caracteriza pelo início do preparo do solo para o cultivo do fumo. Desta forma, toda prática de manejo do solo pode ser refletida na rede drenagem e canal principal.

Na figura 33 é apresentada a distribuição temporal da chuva para o período monitorado.

Tabela 6: Valores médios mensais de precipitação para os anos 2009, 2010 e 2011 na bacia de Arvorezinha.

Mês	Precipitação (mm)				EI 30
	2009	2010	2011	Média histórica*	MJ mm ha ⁻¹ ano ⁻¹
Janeiro	157,7	299,3	205,2	153,1	659
Fevereiro	149,3	129,3	90,0	119,8	435
Março	28,62	95,9	328,3	126,5	477
Abril	23,0	182,0	217,2	121,8	447
Maiο	125,2	145,3	85,7	94,3	289
Junho	41,9	128,0	205,3	152,3	654
Julho	141,4	254,9	328,9	105,9	352
Agosto	286,4	48,4	283,7	145,1	602
Setembro	379,0	274,3	64,8	206,2	1094
Outubro	135,0	81,1	142,0	183,1	894
Novembro	356,0	188,1	29,2	80,7	222
Dezembro	178,0	140,5	36,0	116,8	416
Total	2001,5	1937,3	2016,2	1605,6	-

EI30: Erosividade da chuva calculada com dados de 40 anos, segundo Argenta, 2001.

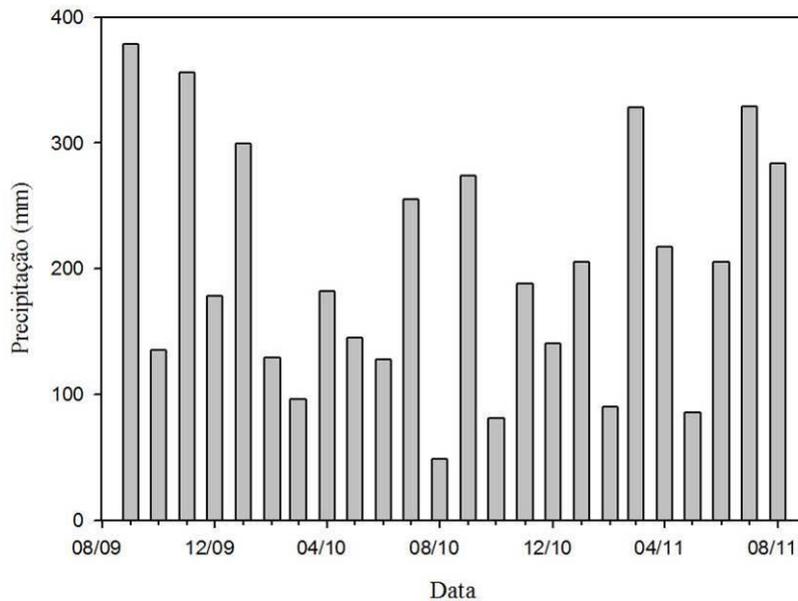


Figura 33: Hietograma dos valores médios mensais de setembro de 2009 a agosto de 2011, para a bacia de Arvorezinha.

6.1.2 Descarga líquida (Q)

Na tabela 7 estão dispostos os valores médios mensais para o monitoramento da descarga líquida (Q) mínima, média e máxima registradas durante setembro de 2009 a agosto de 2011. O período de setembro a novembro de 2009 foi caracterizada pela ocorrência de grandes eventos hidrológicos, como observado no mês de setembro que apresentou o maior valor médio máximo mensal registrado ($370,44 \text{ L s}^{-1}$) em toda série de dados. Todavia, os meses contemplados nesse estudo acerca do ano de 2009, apresentam alta precipitação acumulada e consequentemente altas descargas líquidas, em uma época que há pouca cobertura vegetal aumentando o escoamento superficial (Anexos 1 e 2).

O início do ano de 2010 foi caracterizado por um excepcional evento fluviométrico com pico no dia quatro de janeiro (Anexo 5). É importante salientar que esse foi um evento de grande magnitude com enorme contribuição para a erosão e o transporte de sedimentos na bacia. No final de janeiro e nos meses de fevereiro e março a vazão foi relativamente baixa resultado da baixa precipitação. O comportamento do segundo trimestre de 2010 apresentou-se com alguns eventos com significativa elevação na vazão, onde o mês de abril alcançou a maior vazão máxima diária

nesse trimestre, ou seja, $711,64 \text{ L s}^{-1}$ (Anexo 7) sendo que a vazão considerada de magnitude média para a bacia são eventos com vazão entre $300 - 800 \text{ l s}^{-1}$ (MINELLA, 2007).

O terceiro trimestre de 2010 foi marcado por altos volumes pluviométricos (Tabela 6), o que se refletiu em picos de vazão elevados, como no período entre 18 a 25 de julho e 21 a 23 de setembro. Em julho foi registrado valor máximo diário de $896,83 \text{ L s}^{-1}$, e em setembro a vazão máxima alcançou $1.367,92 \text{ L s}^{-1}$ entre os dias 21 a 23 de setembro (Anexo 9). Em contrapartida, no mês de agosto pela pouca quantidade de chuva, a vazão não foi elevada significativamente como pode ser observado pelos baixos valores apresentados na tabela 7.

O mês de outubro assim como mês de agosto não apresentou elevada variação no nível devido a menores precipitações num total de $81,13 \text{ mm}$, quando a média histórica registra $183,10 \text{ mm}$. Em novembro devido aos maiores volumes de chuva a vazão obteve dois picos máximos diários alcançando níveis considerados altos para a bacia. No dia 21/11/2010 a vazão máxima diária foi de $1.097,54 \text{ L s}^{-1}$ e no dia 22 ocorreu outro evento o qual teve contribuição do evento anterior, pois a vazão máxima foi de $1.335,77 \text{ L s}^{-1}$ (Anexo 11) favorecendo a saturação do solo. Ainda no mês de novembro observando os anexos 10 e 11, nota-se o valor diário máximo no dia 24/11/2010 da C_{ss}, $4.705,36 \text{ mg L}^{-1}$, considerado alto quando comparado ao padrão normal da bacia durante o ano (monitoramento). Contudo, a vazão a máxima não apresenta valor significativo de caracterização de um evento chuva-vazão para o padrão da bacia, indicando que pode ter ocorrido mobilização dos sedimentos das áreas de depósito e/ou contribuição de outras áreas fontes de sedimentos pela ocorrência de uma precipitação de aproximadamente 14 mm posterior aos eventos de maior magnitude ocorridos entre os dias 21 e 22 de novembro.

Analisando os meses de 2011 observa-se que o mês de janeiro apresentou alto volume precipitado que gerou uma vazão (Q) de pico no mês de $2.144,37 \text{ L s}^{-1}$. Já fevereiro apresentou vazão média do mês máxima de $252,54 \text{ L s}^{-1}$, a mais baixa no primeiro trimestre do ano em relação às máximas diárias. No final do mês de março, a vazão chegou a um pico de $4.703,68 \text{ L s}^{-1}$ em um dos eventos de alta magnitude. O monitoramento dos picos de vazão considerados extremos como este, é de grande importância, pois devido aos eventos catastróficos dos últimos anos, o monitoramento desses eventos ajuda a realizar previsões, quanto a essas alterações climáticas e humanas.

A vazão máxima no segundo trimestre ocorreu no dia 22 de abril, alcançando valor de 1.800 L s^{-1} devido a ocorrência de eventos de alta magnitude, gerando valores médios mensais relativamente altos quando comparados com demais meses (Tabela 7). O mês de maio foi marcado por menor volume de chuva e, desta forma, o pico máximo da vazão foi de $451,28 \text{ L s}^{-1}$ no evento

ocorrido em 11/05/2011, o qual foi reflexo de uma primeira descarga líquida e produção de sedimentos iniciados pelo evento anterior, ocorrido em 10/05/2011.

Nos meses de abril e junho podemos esperar grandes volumes de água e sedimentos sendo transportados e mobilizados para o exutório da bacia devido a precipitação total e uso do solo. O mês de julho apresentou-se novamente com sucessivos eventos, que contribuíram para as condições antecedentes ao evento ocorrido no dia 20/07/2011 considerado de alta magnitude, os quais intensificam o processo de desagregação do solo e posterior carreamento das partículas ao canal fluvial ou locais de deposição. Resultados encontrados por Sequinato (2007) corroboram com estes resultados onde eventos sucessivos favorecem a saturação do solo aumentando os valores de vazão e produção de sedimentos.

Em agosto ocorreu um evento de longa duração (08-10/08/2011) o qual teve contribuição das condições antecedentes, como pode ser observado no anexo 17, pois nos dias 08 e 09/08/11 foram alcançados valores diários máximos. A alta precipitação refletiu em uma das maiores vazões registradas no período monitorado de 2011, 3.251,65 L s⁻¹ para esses dois dias.

Tabela 7: Valores médios mensais da descarga líquida para o período do monitoramento na bacia de Arvorezinha.

Mês	Q (L s ⁻¹) 2009			Q (L s ⁻¹) 2010			Q (L s ⁻¹) 2011		
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
Janeiro	-	-	-	40,06	271,83	89,96	21,22	108,12	23,84
Fevereiro	-	-	-	11,68	23,40	14,04	22,94	56,96	28,67
Março	-	-	-	8,53	16,90	10,27	14,78	297,15	56,06
Abril	-	-	-	17,04	60,17	28,71	24,86	178,01	46,17
Mai	-	-	-	25,93	52,14	33,98	23,69	43,07	26,8
Junho	-	-	-	23,67	59,63	35,48	25,08	72,64	38,46
Julho	-	-	-	36,48	144,37	65,51	27,27	247,40	87,18
Agosto	-	-	-	22,14	28,08	23,14	38,04	250,00	77,24
Setembro	70,13	370,44	131,81	27,66	106,01	57,97	-	-	-
Outubro	22,27	66,03	27,94	16,61	18,75	17,42	-	-	-
Novembro	24,54	189,62	54,53	16,07	108,00	23,01	-	-	-
Dezembro	17,44	93,20	27,91	16,57	36,39	18,47	-	-	-

Min= valores mínimo, Max=valores máximos, Med= valores médios; todos representam a média dos valores diários.

Durante o período do monitoramento ocorreram aproximadamente 77 eventos chuvosos que foram analisados e retratados nesse estudo. Dentre esses houve eventos de baixa, média e alta magnitude. De acordo com Minella (2007) eventos com vazão na ordem de 300-800 L s⁻¹ são considerados de média magnitude, deste modo, acima de 800 L s⁻¹ podemos considerar de alta magnitude. Assim, foram monitorados 19 eventos de alta magnitude, ocorrendo 13 eventos no período de julho-novembro e 6 eventos no período de janeiro-abril. Importante salientar que em janeiro de 2010 a ocorrência de um evento, mas precisamente no dia 03 de janeiro foi considerado um evento extremo que causou grande repercussão socioeconômica e ambiental devido a altíssima produção de sedimentos. Em relação aos eventos de média magnitude foram registrados 17 eventos, sendo distribuídos 9 eventos no período julho-novembro e 7 eventos no período de janeiro a junho. Salienta-se que desses 9 eventos 3 ocorreram no mês de julho de 2010; e dentre os 7 eventos 3 ocorreram no mês de junho de 2010. Já os eventos de baixa magnitude ocorreram distribuídos ao longo do período do monitoramento, sendo um total de 41 eventos.

Na figura 34 é apresentada a série de dados médios diários da descarga líquida entre setembro de 2009 a agosto de 2011. Observam-se nesta figuras em torno de 7 picos dos valores médios mensais, reflexo das altas vazões ocorridas no período. Contudo, valores médios mensais podem “amortizar” dados importantes que poderão ser avaliados corretamente através do estudo por eventos monitorados. Avaliando os 77 eventos pode-se observar a existência de 19 eventos considerados de alta magnitude, diferentemente do número de picos encontrados avaliando a escala mensal. As vazões altas variaram de 886,4 L s⁻¹ a 5152,0 L s⁻¹.

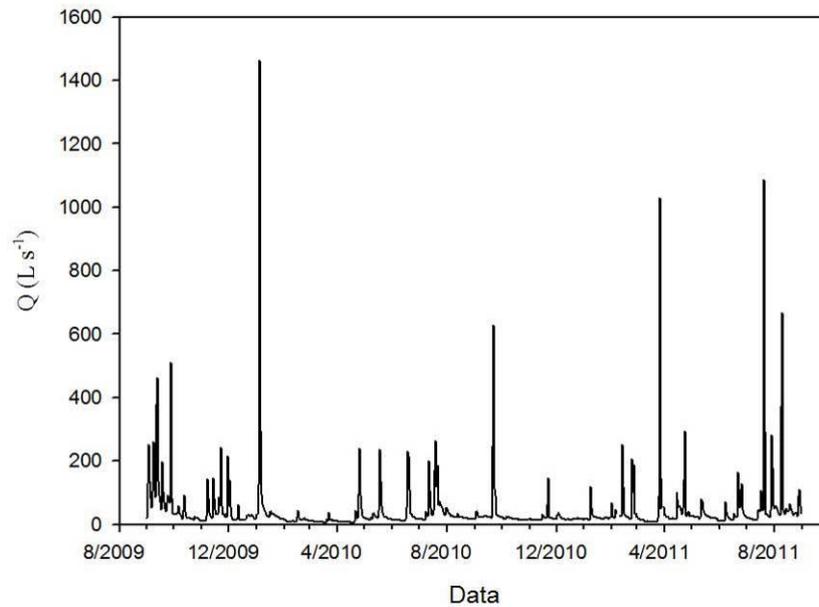


Figura 34: Valores médios diários da descarga líquida (Q) durante o período de monitoramento da bacia de Arvorezinha.

6.1.3 Concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss})

Na tabela 8 estão os valores médios mensais da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) mínima, média e máxima registrada durante setembro de 2009 a agosto de 2011.

No evento significativo que ocorreu no início do mês de janeiro a concentração de sedimentos atingiu o valor máximo de 4.523,84 mg L⁻¹ que é extremamente alto em comparação aos valores máximo observados em outros eventos na bacia. Além deste evento, houve também concentrações altas em outros momentos, entretanto as vazões não foram significativas reduzindo a importância na produção de sedimentos dos eventos. Os meses de fevereiro e março, as variáveis se comportaram de forma mais constantes e de baixo impacto na produção de sedimentos (Tabela 9), resultados da precipitação média da época e por haver boa cobertura pela cultura do fumo, a qual intercepta a chuva antes de chegar ao solo, especialmente no mês de fevereiro o qual é final do ciclo do fumo.

No segundo trimestre de 2010, os meses de maio e junho apresentaram inconsistência de dados, sendo apresentados os dados do mês de abril para esse trimestre.

Já para o próximo trimestre de 2010 meses de julho, agosto e setembro, os dados de C_{ss} foram elevados em virtude do aumento da vazão (Anexo 8) e por ser o período de preparo do solo,

onde o solo fica mais exposto aos eventos chuvosos, principalmente nos meses de agosto e setembro. O mês de julho apresentou a máxima diária para valores de C_{ss} , sendo registrado máxima de 2.282 mg L^{-1} seguido pelo mês de setembro que registrou máxima diária de $1.479,83 \text{ mg L}^{-1}$. O maior valor no mês de julho pode ser explicado pela série de eventos hidrológicos ocorridos em sequência o que favoreceu a saturação do solo e desta forma, maior predisposição a formação do escoamento superficial seguido da produção de sedimentos.

Valores médios de C_{ss} e Q significativos ocorrem principalmente nos meses de setembro e novembro, isto é explicado devido a uma combinação de fatores que são as chuvas mais erosivas desse período combinado com o momento de menor cobertura do solo devido a implantação da cultura do fumo. Deste modo, se verifica a importância que durante esse período (primavera) o solo se encontre com uma boa cobertura que pode ser alcançada através do cultivo mínimo realizado segundo os preceitos da técnica, além disso, a manutenção da mata ciliar é muito importante, juntos podem minimizar os efeitos da transferência de sedimentos para dentro do canal e reduzir a produção de sedimentos.

O mês de janeiro de 2011 houve falha no sensor de turbidez. O mês de fevereiro teve a menor precipitação do primeiro trimestre deste ano, aproximadamente, $91,52 \text{ mm}$, registrando alguns eventos isolados durante o mês, sem impacto significativo nos valores médios diários e mensais. O mês de março foi marcado por um alto volume de chuva acumulado no mês ($332,39 \text{ mm}$), comparando com o ano passado que teve apenas $95,90 \text{ mm}$ precipitado total mensal. Esse aumento de volume pode potencializar o processo erosivo, devido o solo estar praticamente descoberto nesse período (colheita do fumo finalizada), e pela alta precipitação como observado na tabela 9 pelo alto valor de produção de sedimentos mensal para o mês de março. Mais precisamente ocorreram eventos contínuos e de maior precipitação no final do mês.

No segundo trimestre de 2011, mais precisamente no dia 22 do mês de abril a C_{ss} atingiu valor máximo neste trimestre ($2.003,17 \text{ mg L}^{-1}$) responsável por um dos maiores valores médios mensais (Tabela 8). Este evento hidrológico ocorrido no dia 22 se prolongou até o dia seguinte, que teve o segundo maior valor de C_{ss} monitorado neste mês. No mês de maio, o menor em acumulado de chuva, os valores de C_{ss} (mínimo, médio e máximo) foram menores em função da menor quantidade de precipitação. Contudo, o mês de junho – assim como abril – foi marcado por grandes precipitações. O pico máximo de C_{ss} para o mês de junho não passou de 500 mg L^{-1} e, devido às chuvas mais frequentes, houve mais dias com valores elevados. Nota-se que mesmo com alto volume de chuva no mês de junho não houveram picos tão elevados de C_{ss} quando comparados ao mês de abril, que teve valores de chuva parecidos (Anexo 14). Entretanto, se avaliarmos o uso do

solo nesses dois meses percebe-se que a cobertura do solo está diferente, em junho as lavouras de aveia já se encontram cobrindo boa parte do solo o que diminui os riscos de erosão e escoamento superficial e em abril o solo se encontra praticamente descoberto.

Os dados de C_{ss} para os meses de julho e agosto de 2011 apresentaram eventos considerados de alta magnitude. Desta forma, observam-se valores máximos de C_{ss} elevados, como ocorrido no dia 20/07/2011 com máximo de 609,91 mg l⁻¹. Contudo, avaliando a C_{ss} isolada percebe-se que esse valor foi abaixo de outros eventos hidrológicos com menor descarga líquida e/ou volume precipitado, porém na tabela 8 os valores de produção de sedimentos mensais indicam a real contribuição do evento na problemática ambiental devido aos valores extremamente altos de sedimentos produzidos na bacia. Entretanto, o valor poderia ser tanto menor se outras práticas de conservação do solo e da água fossem implantadas pelos produtores, ou seja, a proteção de córregos com a plantação de mata ciliar, cultivo mínimo e /ou uso do plantio direto em demais áreas na bacia realizada de forma adequada, diminuição do desmatamento, faixa de retenção, etc.

Em agosto o pico máximo ocorreu no evento do dia 08 de agosto ultrapassando os 729,00 g L⁻¹. Esses valores podem ser considerados altos, geradores de preocupação ambiental devido a alta produção de sedimentos fornecida aos corpos hídricos como observados na tabela 8. Ainda, neste mês consta uma observação, o equipamento não registrou dados completos desde o dia 20 de agosto, este problema foi resolvido no dia 07 de setembro. Assim, uma das dificuldades do monitoramento automático é justamente quando o mesmo apresenta problemas, e os responsáveis se encontram longe, podendo levar alguns dias para o problema ser resolvido e/ou descoberto.

Tabela 8: Valores médios mensais da concentração de sedimentos em suspensão para o período do monitoramento na bacia de Arvorezinha.

Mês	C _{ss} (mg L ⁻¹) 2009			C _{ss} (mg L ⁻¹) 2010			C _{ss} (mg L ⁻¹) 2011		
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
Janeiro	-	-	-	36,23	439,23	77,40	-	-	-
Fevereiro	-	-	-	8,71	106,88	21,33	23,50	133,40	39,99
Março	-	-	-	29,58	138,01	38,28	20,13	174,20	34,60
Abril	-	-	-	35,73	379,22	73,92	24,29	165,30	44,43
Maió	-	-	-	37,02	152,84	57,55	20,96	74,09	27,19
Junho	-	-	-	34,67	114,90	39,66	22,54	81,18	35,95
Julho	-	-	-	42,23	413,38	98,85	22,90	93,25	38,63
Agosto	-	-	-	31,59	70,48	35,98	23,46	136,24	41,44
Setembro	-	-	171,00	37,43	337,93	75,93	-	-	-
Outubro	-	-	58,00	30,08	261,82	39,53	-	-	-
Novembro	-	-	55,00	37,87	1390,21	109,49	-	-	-

Dezembro	-	-	47,00	-	-	-	-	-	-
----------	---	---	-------	---	---	---	---	---	---

Min= valores mínimo, Max=valores máximos, Med= valores médios; todos representam a média dos valores diários.

Na figura 35 são apresentados os valores médios mensais da C_{ss} entre setembro de 2009 e agosto de 2011 o hidrograma geral do período de monitoramento. Os máximos médios mensais correspondem aos eventos de maior magnitude registrados em respostas as precipitações e vazões. Também, constam picos (valores máximos) em eventos onde valores de vazão não foram tão altos quanto a outros registrados. Isto porque, outros fatores podem provocar maior ou menor desagregação do solo pelo impacto d' gota da chuva ou pelo escoamento. Ou seja, uma dos fatores observados é a época de ocorrência dos eventos, podendo perceber o efeito do uso e manejo do solo nos valores máximos de C_{ss}. Observa-se claramente esse efeito no segundo maior pico registrado durante o monitoramento deste estudo, quando o evento ocorreu em 25/04/2010 com vazão máxima de 712,00 L s⁻¹. Em abril o solo na bacia está praticamente desprotegido e a ocorrência de eventos sucessivos intensifica a produção de sedimentos, o que explica, entre outros, o pico. Em novembro ocorreu o maior pico de C_{ss} monitorando, sendo 6.569,96 mg L⁻¹, ocorrendo em período em que o fumo não apresenta ainda cobertura vegetal devido seu estágio de desenvolvimento.

Ainda, o evento ocorrido em 03/01/2010 apresentou o terceiro maior pico registrado com valor de 4.523,84 mg L⁻¹, e no ano de 2011 o pico registrado foi de 2.003,17 mg L⁻¹ para o evento de 22/04/2011, novamente em abril e com as mesmas características observadas no pico de 2010.

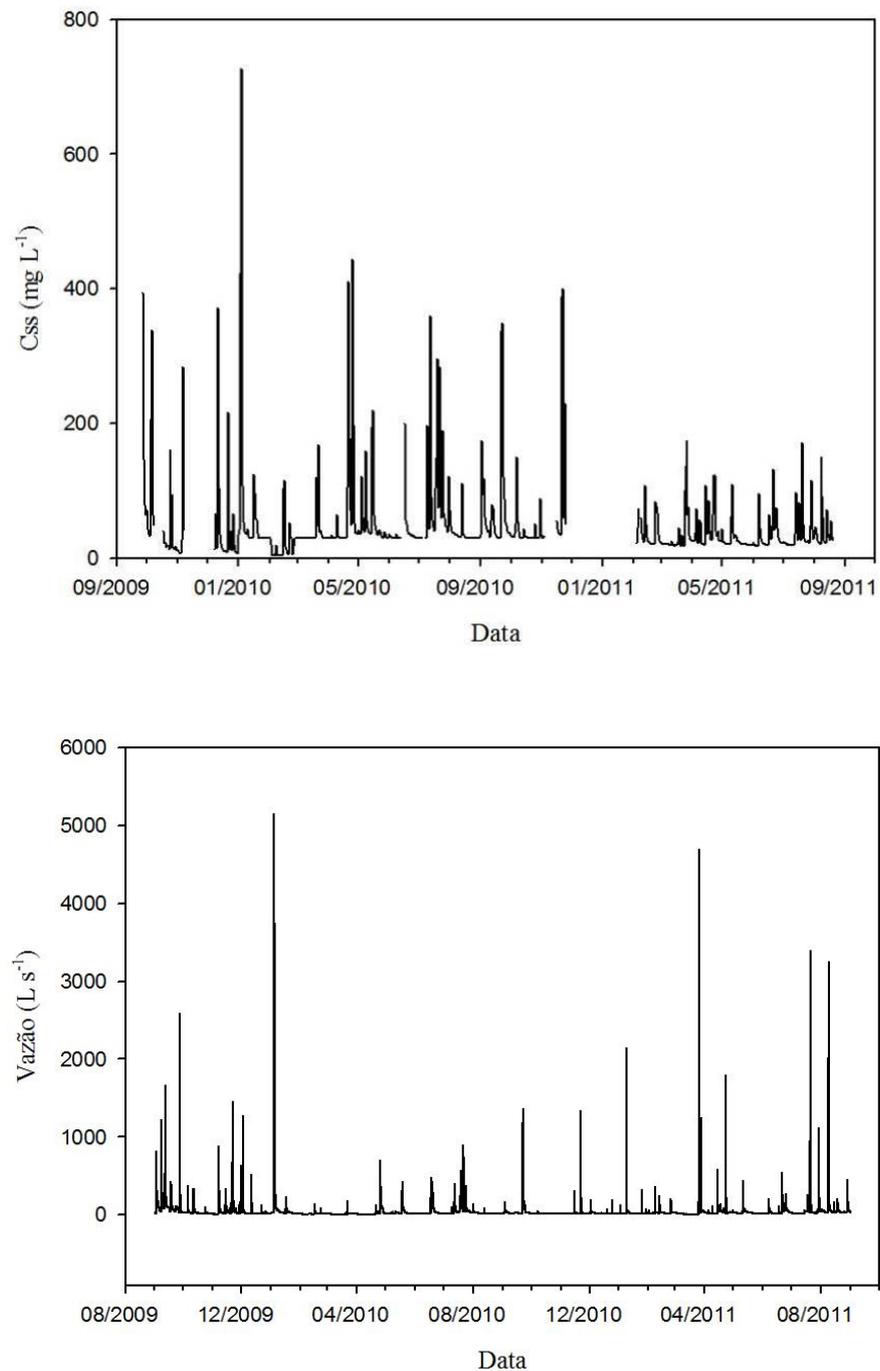


Figura 35: Valores médios diários da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) durante o período de monitoramento da bacia de Arvorezinha e o hidrograma geral entre setembro de 2009 e agosto de 2011.

Na tabela 9 encontram-se os valores em escala mensal para a produção de sedimentos (PS) decorrentes da área da bacia de Arvorezinha. Os valores médios diários foram utilizados para estimar a produção de sedimentos mensal baseados em médias de vazão e concentração de

sedimentos. Os dados apresentados mostram os altos valores estimados da produção de sedimentos, principalmente nos meses de setembro de 2009, janeiro de 2010, julho de 2010 e 2011, abril de 2010 e março de 2011. Esses meses foram caracterizados pela ocorrência de grandes eventos e conseqüentemente por respostas hidrológicas significativas, como a PS. Desta maneira, confirmando que mesmo sua frequência sendo baixa, eventos de alta magnitude são os responsáveis pela alta produção de sedimentos e mobilização dos mesmos em uma bacia hidrográfica. Além disso, importante observar que mesmo havendo uma área significativa do uso das práticas de conservação do solo e da água (Cultivo Mínimo), esta não está sendo capaz de reter as enxurradas, a produção de sedimentos e sua mobilização durante os eventos de grande magnitude. De acordo com Minella et al., (2011) os valores de produção de sedimentos na bacia de Arvorezinha no período de 2002-2004 foi de $150 \text{ t km}^2 \text{ ano}^{-1}$, contudo, em 2008 com o uso de práticas de conservação do solo essa produção de sedimentos diminuiu, chegando a valores de $80 \text{ t km}^2 \text{ ano}^{-1}$. Entretanto, a tabela 9 mostra o aumento desses valores, como indicado no ano de 2010 que ultrapassou as 200 toneladas de sedimentos na área da bacia, com a contribuição relevante de apenas um evento.

Tabela 9: Produção de sedimentos (toneladas) mensal para o período monitorado na bacia experimental de Arvorezinha.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2009 ⁽¹⁾	x	x	x	x	x	x	x	x	<u>15,28</u>	3,94	0,98	2,97	23,17
2010	<u>102,72</u>	1,12	1,81	<u>14,18</u>	4,58	4,34	<u>29,07</u>	2,44	<u>31,33</u>	1,93	8,95	-	202,47
2011	-	2,80	<u>18,35</u>	8,42	2,45	5,60	<u>23,74</u>	12,62 ⁽¹⁾	x	x	x	x	73,98

⁽¹⁾ O período apresentou falhas no sensor de turbidez.

6.1.4 Análise na escala de eventos

Neste trabalho os dados foram processados em diferentes escalas para a análise e interpretação dos dados, sendo obtidos dados mensais (Tabela 7 e 8), dados diários (Anexos 1-17) e escala de eventos (Tabela 10 e 11). Isto porque existem diferentes objetivos quanto aos estudos que envolvem as variáveis hidrossedimentológicas que necessitam diferentes discretizações do tempo, como por exemplo, a estimativa do balanço hídrico diário, a qual é suficiente a escala diária dos dados, ou análise do impacto de um evento pluviométrico em particular, necessitando uma melhor discretização das variáveis deste processo. Bonumá et al., (2010) avaliando a dispersão dos dados

simulados e observados da produção de sedimentos em uma pequena bacia rural constatou um bom ajuste dos dados na escala mensal dos dados, já para os dados diários o ajuste foi considerado insatisfatório, mostrando assim um desempenho inferior para os dados diários. Os resultados obtidos pela interpretação dos eventos chuva-vazão-sedimentos são importantes para a compreensão dos processos de formação do escoamento superficial na bacia. Ao analisar a escala de eventos, importantes informações referentes ao comportamento hidrológico da bacia são obtidas, as quais em escala mensal são amortizadas pelos dados de menor representatividade que ocorrem na grande maioria do ano.

A produção de sedimentos (PS) é uma variável sensível às escalas, ou seja, na tabela 9 são apresentados os dados na forma mensal, já na tabela 12 estão os dados de PS para a escala dos eventos monitorados. Analisando ambas as tabelas percebe-se em que nos meses que ocorreram eventos de alta e extrema magnitude estes foram responsáveis pela produção de sedimentos mensal. Também, observa-se que quando tratamos os dados de forma de dados médios podemos estar subestimando os dados de PS, como ocorreu para o evento do dia 03/01/2010, onde o evento obteve um PS na ordem de 150 toneladas e o mês de janeiro apresentou PS na ordem de 100 toneladas.

Desta forma, o monitoramento na escala de eventos permite avaliar os danos e magnitudes com que eles ocorrem, sendo possível estipular medidas eficazes para diminuir seus impactos sob o sistema, como as cheias e estiagens.

O período de monitoramento incorporou 77 eventos de diferentes magnitudes e estádios das culturas na bacia hidrográfica, tornando esse conjunto representativo para a descrição dos processos de formação do escoamento superficial e da infiltração (Tabela 10 e 11). Os volumes precipitados para os eventos selecionados variaram de 6 a 187 mm, sendo o valor médio igual a 41 mm. Os eventos monitorados apresentaram ampla faixa de tempo de duração, sendo alguns com longa duração, entre 30,16 h até 66,16 h, e outros apresentam curta duração ocorrendo entre 2,83 até 4,83 h, com alta pluviosidade gerando maiores intensidades de precipitação. Os valores estimados de escoamento superficial variaram entre um mínimo de 0,1 a um máximo de 79 mm, com valor médio de 6 mm.

Esses resultados geraram coeficientes de escoamento variando de 0 a 54%, com valor médio de 8%. Esses dados demonstram uma ampla faixa de variabilidade, governada basicamente pelas características da precipitação e das condições de umidade antecedentes do solo. Beskow et al., (2009), analisaram o impacto da umidade antecedente em 18 eventos simultâneos de chuva e vazão através da modelagem hidrológica, e verificaram a influência da mesma nos seus resultados, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. As características fisiográficas da

bacia, tais como pequena área de drenagem, relevo acidentado, baixa profundidade dos solos e uso agrícola intensivo contribuem também para a pequena capacidade de amortização das ondas de cheia.

A transferência do escoamento é muito eficiente em detrimento ao processo de infiltração, como indicando pelos valores do coeficiente de escoamento superficial (C). Nas tabelas 10 e 11 os maiores valores de C ocorreram em eventos de grande intensidade (RODRIGUES, 2011; PEREIRA, 2010), contudo fica claro que alguns eventos tiveram seu coeficiente com valores significativos em detrimento da época de ocorrência (maior ou menor cobertura vegetal) e pelas condições de umidade antecedente ao evento, como observado no evento 31. Segundo Defersha e Melesse (2012) em estudo realizado em uma bacia hidrográfica no Mara no Kenya, com diferentes usos do solo, obteve para um mesmo evento chuvoso significativa diferença nos valores de C, onde o solo descoberto alcançou valor máximo de 0,80; 0,75 para vegetação rasteira e 0,67 para lavoura com cultivo do milho.

A concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) variou entre os eventos monitorados de 115,05 a 6569,96 mg L⁻¹ com valor médio de 1057,49 mg L⁻¹. Minella (2007) encontrou valores máximos durante o período de abril de 2002 a março de 2006 na bacia de Arvorezinha menores do que os registrados nesse estudo, ou seja, o C_{ss} registrados nesse período não ultrapassaram os 2362,0 mg L⁻¹, evento ocorrido em 15/05/2002. No ano de 2002, a bacia de Arvorezinha era caracterizada por 100% de sua área de lavoura ser cultivada no sistema tradicional, e com demais agravantes como uso intenso do solo, falta de mata ciliar e relevo acidentado. Atualmente o manejo mais adequado do solo através do cultivo mínimo, vem sendo utilizado como forma de diminuir a velocidade do escoamento e processo erosivo.

Assim, com os eventos monitorados observa-se que em eventos de baixa e média magnitude o uso de plantas de cobertura vem conseguindo atenuar os problemas, entretanto, durante o período monitorado ocorreu aproximadamente três eventos que podemos considerar extremos, sendo eles: 03/01/2010; 25/03/2011 e 20/07/2011 e nesses o impacto ao sistema foram altíssimos, com toneladas de sedimentos sendo retirados da bacia e carregados para os corpos hídricos. Resultados que corroboram com Defersha e Melesse (2012) que também indicaram a partir dos seus resultados do monitoramento que os eventos extremos tiveram a maior contribuição na produção de sedimentos no local de estudo. Ou seja, resultados dos processos erosivos, a maior parte da produção de sedimentos anual pode vir apenas de um único evento, e os demais apresentarem um menor “papel” na PS.

Tabela 10: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos monitorados na bacia de Arvorezinha.

Evento	Data	Duração H	P ⁽¹⁾ mm	I ₃₀ ⁽²⁾ mm h ⁻¹	Q _{base} ⁽³⁾ m ³	Q _{sup} ⁽⁴⁾ mm	C ⁽⁵⁾ %	Q _{max} ⁽⁶⁾ L s ⁻¹	C _{SSmax} ⁽⁷⁾ mg L ⁻¹
1	07.09.2009	44,00	53,75	21,88	26721,49	7,03	13	1232,17	-
2	11.09.2009	66,16	68,09	56,90	45117,37	31,11	46	1669,85	-
3	27.09.2009	3,83	83,92	24,80	19548,75	19,16	23	2585,35	-
4	07.11.2009	23,33	46,00	-	10899,01	4,12	9	886,84	-
5	20.11.2009	11,50	25,00	-	3884,79	1,78	7	677,14	-
6	22.11.2009	18,83	46,00	-	12485,35	6,21	14	1456,80	-
7	02.12.2009	2,33	43,00	-	6175,25	4,41	10	1278,09	-
8	03.01.2010	4,66	34,97	53,15	1118,82	1,20	3	729,00	392,81
9	03.01.2010	45,83	187,30	32,44	61493,59	79,00	42	5152,00	4523,84
10	16.01.2010	10,83	24,81	13,86	1823,26	0,70	3	239,00	1976,78
11	16.02.2010	11,83	42,22	7,87	2025,34	0,40	1	140,00	765,12
12	21.02.2010	10,00	25,52	24,32	914,99	0,20	1	95,00	734,97
13	22.03.2010	10,83	36,73	29,33	1094,29	1,10	3	183,00	2393,79
14	21.04.2010	5,66	68,87	50,37	720,15	0,42	1	134,00	3276,84
15	25.04.2010	31,16	93,02	36,80	26052,84	6,20	7	712,00	4668,88
16	17.05.2010	16,33	43,73	4,85	6251,08	1,80	4	187,00	-
17	18.05.2010	18,66	28,81	8,53	16012,64	1,90	7	427,00	-
18	16.06.2010	6,33	38,17	42,47	1550,85	0,50	1	231,00	-
19	18.06.2010	14,16	36,91	11,56	8828,02	1,30	3	392,00	-
20	18.06.2010	17,33	26,13	16,94	13106,09	1,50	6	482,00	-
21	19.06.2010	22,16	17,61	13,53	14896,94	1,53	9	355,00	-
22	09.07.2010	8,66	38,42	17,52	1769,14	0,20	0,4	109,00	861,72
23	12.07.2010	13,00	57,09	10,50	8013,45	2,80	5	406,00	1192,97
24	17.07.2010	22,50	49,46	3,35	12139,97	1,00	2	245,00	538,96
25	19.07.2010	26,00	32,69	11,28	19652,24	4,80	15	569,00	1133,51
26	24.07.2010	6,66	17,36	26,94	2007,41	1,00	6	375,00	1490,25
27	31.07.2010	4,00	24,33	10,87	1350,08	0,20	1	145,00	542,28
28	12.08.2010	7,66	18,95	10,61	896,99	0,30	2	100,00	614,08
29	02.09.2010	10,50	51,70	10,62	2098,75	0,60	1	179,00	838,53
30	21.09.2010	14,66	79,10	30,43	11032,34	6,60	8	589,00	1479,82
31	21.09.2010	20,66	68,48	17,76	34251,84	15,50	23	1368,00	1174,48
32	07.10.2010	6,83	27,06	4,87	647,58	0,20	1	59,00	1538,25
33	15.11.2010	8,00	39,70	18,20	708,55	1,00	2	317,00	-
34	21.11.2010	27,66	65,87	8,51	4582,79	31,80	48	1336,00	3476,27
35	22.11.2010	7,00	32,57	5,11	1296,52	5,00	15	1098,00	6569,96
36	02.12.2010	3,83	32,05	16,13	808,87	0,20	1	198,00	-
37	19.12.2010	4,83	27,39	20,38	499,19	0,10	1	76,00	-
38	24.12.2010	5,66	22,67	29,88	540,06	0,50	2	196,00	-

⁽¹⁾P: precipitação total; ⁽²⁾I₃₀: intensidade máxima da chuva em 30 minutos; ⁽³⁾Q_{base}: escoamento de base; ⁽⁴⁾Q_{sup}: escoamento superficial; ⁽⁵⁾C: Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁶⁾Q_{max}: vazão máxima; ⁽⁷⁾C_{SSmax}: concentração de sedimentos em suspensão máxima.

Tabela 11: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos monitorados na bacia de Arvorezinha.

Evento	Data	Duração	P ⁽¹⁾	I ₃₀ ⁽²⁾	Q _{base} ⁽³⁾	Q _{sup} ⁽⁴⁾	C ⁽⁵⁾	Q _{max} ⁽⁶⁾	C _{SS,max} ⁽⁷⁾
		H	mm	mm h ⁻¹	m ³	mm	%	L s ⁻¹	mg L ⁻¹
39	02.01.2011	6,50	24,67	23,26	505,09	0,27	1	139,42	-
40	08.01.2011	5,83	74,50	48,01	3790,77	5,99	8	2144,37	-
41	24.01.2011	3,00	26,36	52,72	315,22	0,27	1	322,03	-
42	29.01.2011	3,16	22,93	24,63	270,39	0,10	0	83,60	-
43	01.02.2011	8,00	18,32	34,55	849,22	0,20	1	66,43	-
44	05.02.2011	2,83	8,76	2,91	215,54	0,07	1	46,80	344,14
45	12.02.2011	30,16	18,50	1,46	7718,49	2,03	11	245,22	256,7
46	24.03.2011	9,16	35,03	28,57	668,75	0,37	1	170,08	560,43
47	25.03.2011	11,66	16,61	19,17	970,22	0,36	2	69,45	299,86
48	25.03.2011	23,83	167,45	38,34	12300,77	68,93	41	4703,68	1049,43
49	27.03.2011	7,16	52,49	21,34	1115,45	0,25	0,5	122,13	276,48
50	28.03.2011	14,83	13,00	10,67	3759,70	5,95	46	1245,51	493,68
51	05.04.2011	6,33	13,12	30,14	669,25	0,08	1	70,97	628,57
52	08.04.2011	8,33	14,41	37,07	695,62	0,36	3	122,13	909,21
53	14.04.2011	28,83	60,10	43,40	12667,16	0,86	1	586,01	1125,03
54	17.04.2011	15,16	19,31	15,04	3632,96	0,72	4	143,37	534,3
55	21.04.2011	15,00	15,56	17,50	2311,28	0,46	3	95,26	240,42
56	22.04.2011	9,83	40,85	39,39	2337,79	6,66	16	1790,68	2003,17
57	23.04.2011	18,66	41,58	39,39	7867,53	14,30	34	1630,28	1154,66
58	30.04.2011	7,00	15,96	21,07	694,87	0,19	1	67,93	162,04
59	10.05.2011	13,16	33,98	4,95	1355,05	0,28	1	54,90	211,59
60	11.05.2011	10,00	14,86	31,38	2989,89	1,12	8	451,28	1099,73
61	07.06.2011	9,33	50,25	15,87	2283,59	0,69	1	205,23	357,97
62	07.06.2011	17,16	15,16	3,13	3524,62	0,46	3	114,72	115,05
63	17.06.2011	13,83	33,42	10,71	1423,83	0,90	3	120,26	227,53
64	21.06.2011	31,66	39,09	15,28	14043,08	2,84	7	497,89	407,09
65	23.06.2011	14,00	16,78	2,91	4407,58	0,33	2	155,49	198,99
66	24.06.2011	25,66	15,86	7,82	11207,00	1,71	11	280,09	237,18
67	14.07.2011	5,83	11,98	6,53	654,99	0,05	0	42,93	237,18
68	14.07.2011	9,83	6,35	6,53	1505,22	0,23	4	70,97	186,53
69	17.07.2011	31,33	38,23	5,06	12170,64	2,18	6	262,43	221,13
70	20.07.2011	38,83	127,03	18,36	35653,60	69,14	54	3367,08	609,51
71	28.07.2011	18,66	14,14	8,48	2834,41	0,28	2	72,50	208,43
72	29.07.2011	41,50	55,70	13,13	24786,05	11,86	21	1118,86	457,25
73	08.08.2011	19,16	64,16	9,48	17981,57	9,03	14	1940,85	678,59
74	08.08.2011	50,50	66,82	19,17	33356,02	23,51	35	3251,65	729,26
75	14.08.2011	11,66	30,67	30,64	1722,90	0,30	1	178,63	439,22
76	18.08.2011	11,16	22,12	6,40	2679,00	0,81	4	205,23	259,98
77	28.08.2011	36,91	53,81	13,13	15218,17	6,78	13	463,55	-

⁽¹⁾ P: precipitação total; ⁽²⁾ I_{30} : intensidade máxima da chuva em 30 minutos; ⁽³⁾ Q_{base} : escoamento de base; ⁽⁴⁾ Q_{sup} : escoamento superficial; ⁽⁵⁾ C: Coeficiente de escoamento superficial; ⁽⁶⁾ Q_{max} : vazão máxima; ⁽⁷⁾ $C_{ss,max}$: concentração de sedimentos em suspensão máxima.

Na figura 36 é apresentando o evento de maior magnitude monitorado no período deste trabalho, o qual obteve maior pico de vazão que ocorreu posteriormente ao pico da concentração de sedimentos, sendo este um dos maiores registrados (Tabela 10). A antecipação do pico da concentração de sedimentos em relação à vazão é um indicativo de que as fontes de sedimentos estão perto e prontamente disponíveis ao canal fluvial, deste modo, se não houver contribuição de outras fontes de sedimentos, ocorre sua recessão ou picos em menores valores de C_{ss} (Figura 36).

Este evento ocorreu horas após um evento de média magnitude ($729,0 \text{ L s}^{-1}$) e com intensidade máxima (I_{30}) de $53,15 \text{ mm h}^{-1}$ umas das maiores intensidades registradas, fatores que contribuiram para os impactos socioeconômicos e ambientais em decorrência das fortes enxurradas e alta produção de sedimentos (Tabela 12).

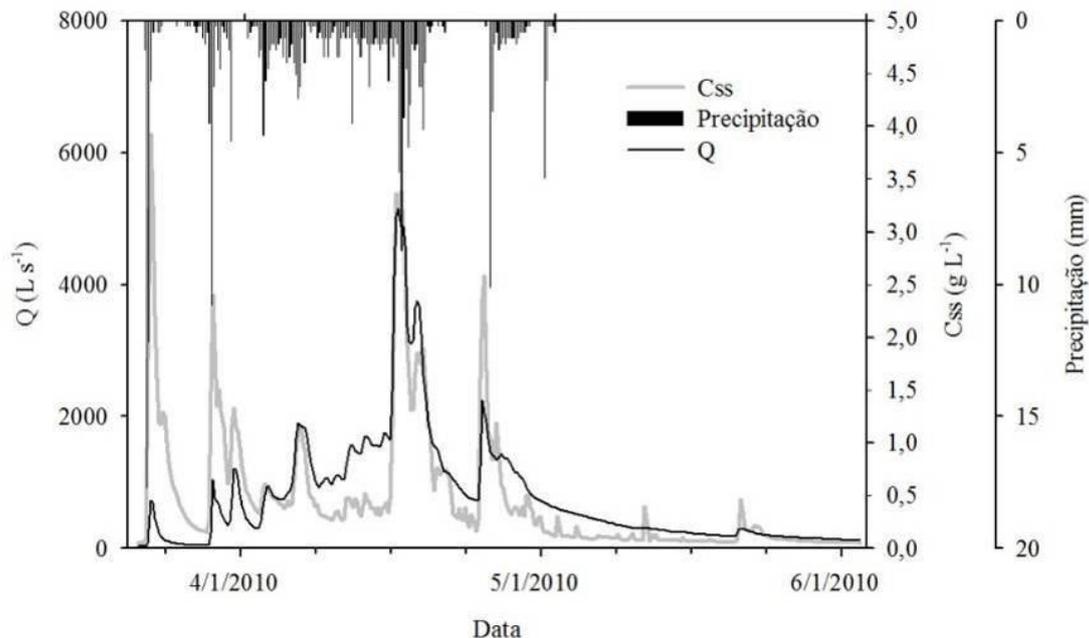


Figura 36: Hietograma, hidrograma e sedimentograma para o evento ocorrido em 03/01/10 na bacia de Arvorezinha.

Na figura 37 o evento 24/07/2010 é um exemplo de eventos que ocorrem após sucessivos eventos chuvosos, com baixo volume de chuva ($17,36 \text{ mm}$), mas com relativa intensidade de

precipitação $26,94 \text{ mm h}^{-1}$, esses eventos têm impacto na formação do escoamento superficial e até mesmo contribuindo para a produção de sedimentos como indicado na tabela 12. Os eventos que ocorrem anteriormente ao dia 24/07/2010 foram entre os dias 9 - 19 de julho, caracterizados por alto volume de chuva, mas baixa intensidade (Tabela 10). Este cenário indica claramente a contribuição dos eventos na umidade do solo (saturação), pois a elevação da vazão tem como processos principais envolvidos a formação dos escoamentos hortoniano e das áreas saturadas que respondem conforme a umidade do solo.

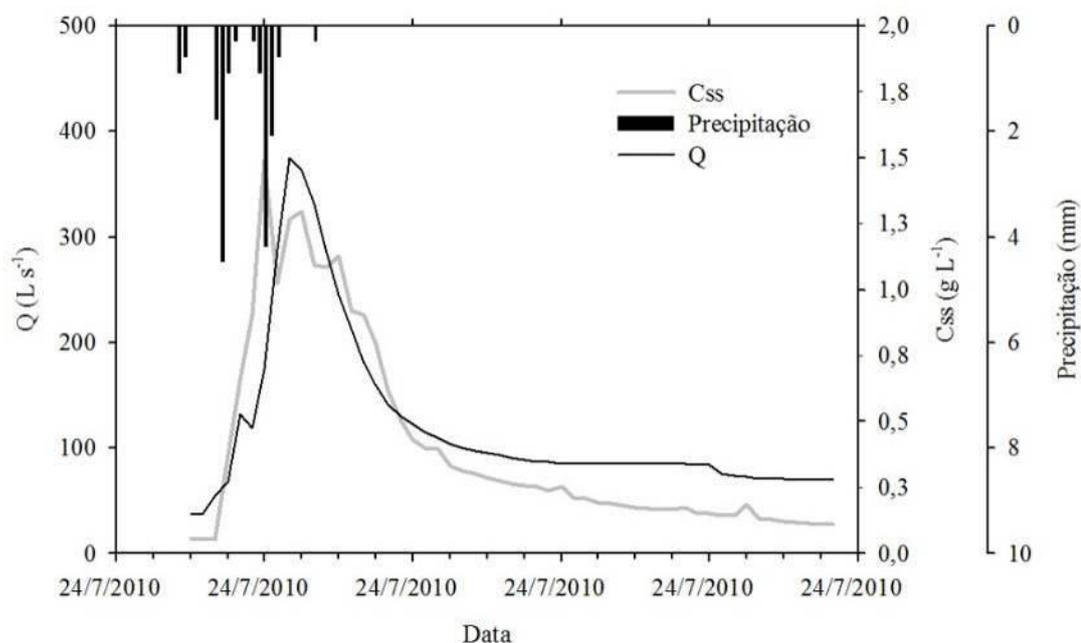


Figura 37: Hietograma, hidrograma e sedimentograma para o evento ocorrido em 24/07/10 na bacia de Arvorezinha.

Ainda, a figura 38 representa um evento que também ocorreu após outro evento, contudo, neste foram cerca de 7 horas de intervalo entre a ocorrência dos eventos, diferente da figura 37 que foram vários eventos em 10 dias de intervalo entre o primeiro e o ocorrido no dia 24/07/2010. O evento ocorreu no dia 11/05/2011 em um período de pouca chuva, mas que foi considerado de média magnitude ($451,28 \text{ L s}^{-1}$) em decorrência da intensidade da chuva e pelo período de menor proteção ao solo. Além disso, a C_{ss} foi aproximadamente de 1100 mg L^{-1} , provavelmente em virtude da maior desagregação do solo por estar mais exposto e reflexo do evento anterior, uma vez que no evento do dia 10/05/2011 a C_{ss} foi de $211,59 \text{ mg L}^{-1}$.

Sequinatto (2007) avaliando a produção de sedimentos em uma pequena bacia rural caracterizada pelo cultivo do fumo, relevo acidentado e solos frágeis, encontrou resultados que corroboram com este trabalho. A autora através do monitoramento de eventos chuvosos pode constatar o efeito da umidade inicial do solo através da observação de dois eventos consecutivos, primeiramente o solo se encontrava em baixa umidade ocasionando o escoamento de 6 mm de uma precipitação total de 50 mm; e no segundo evento que ocorreu horas após termino da chuva do primeiro o solo se encontrava úmido e desta forma, ocasionando um maior escoamento superficial (60 mm dos 65 mm precipitado), bem como maior produção de sedimentos.

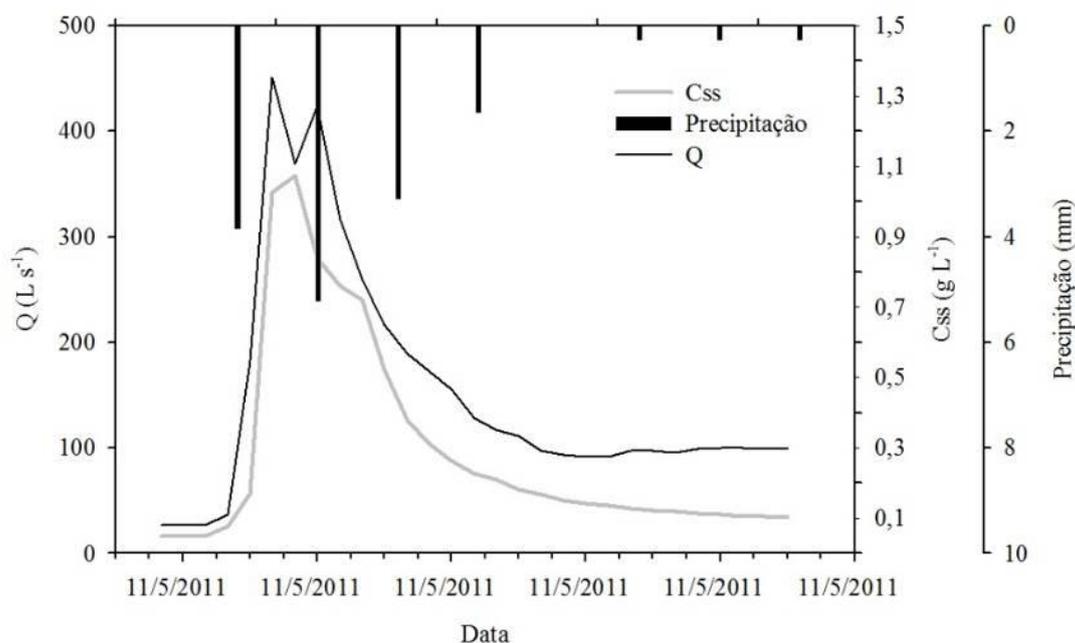


Figura 38: Hietograma, hidrograma e sedimentograma para o evento ocorrido em 11/05/2011 na bacia de Arvorezinha.

No dia 20/07/2011 ocorreu um evento de grande magnitude responsável por elevadas vazões e pela alta produção de sedimentos. Na figura 39 é ilustrado como as variáveis se comportaram frente ao evento chuvoso longo e de alto volume de chuva, cerca de 130 mm em quase 39 horas. Todavia, observa-se que o valor máximo de C_{ss} registrado foi de $609,51 \text{ mg } L^{-1}$, alto frente ao comportamento normal do ano em Arvorezinha, mas baixo se considerarmos a magnitude do evento. Porém, esse evento foi duradouro e com vários momentos de vazões extremamente altos que podem ter contribuído para a alta produção de sedimentos nesse evento, ou seja, 25,07

toneladas. Ainda, na figura 40 é ilustrado o evento do dia 20/07/2011 na seção de monitoramento em dois momentos, um antes de o evento ocorrer e outro durante. O mês de julho, como observado nos dois anos do monitoramento, é caracterizado por alto volume acumulado de chuva devido a um número maior de eventos.

Aliado a isso a produção de sedimentos também se apresenta como uma das maiores médias mensais no período de setembro de 2009 a agosto de 2011 (Tabela 9). Moro (2011) também encontrou valores altos de produção de sedimentos em eventos ocorridos em julho como o evento em 01/07/2004 com PS total de 13,44 t, ano caracterizado pelo início da instalação das práticas de conservação do solo e água na bacia.

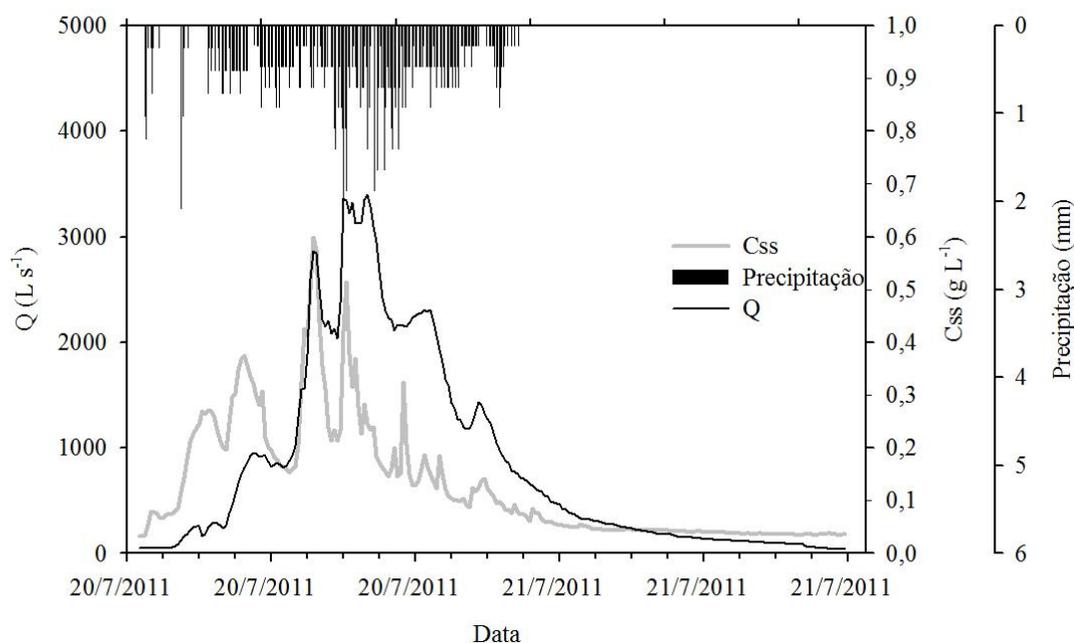


Figura 39: Hietograma, hidrograma e sedimentograma para o evento ocorrido em 20/07/2011 na bacia de Arvorezinha.



Figura 40: Momento antes do evento hidrológico e durante o evento 20/07/2011.

Tabela 12: Produção de sedimentos (toneladas) para os eventos monitorados.

Evento	Data	Duração	PS
		h	ton
1	03.01.10	57,60	156,00
2	16.01.10	10,50	1,35
3	21.02.10	12,83	0,30
4	22.03.10	10,50	1,35
5	21.04.10	26,16	2,35
6	19.07.10	33,83	10,01
7	24.07.10	9,16	2,28
8	12.08.10	14,66	0,40
9	07.10.10	7,16	0,20
10	02.09.10	14,50	1,08
11	21.11.10	7,16	4,86
12	22.11.10	18,66	7,46
13	24.03.11	17,16	0,32
14	25.03.11	24,83	29,35
15	22.04.11	10,83	8,79
16	30.04.11	10,66	0,09
17	11.05.11	8,00	1,35
18	17.06.11	13,50	0,34
19	21.06.11	26,83	2,34
20	17.07.11	31,33	1,28
21	20.07.11	39,16	25,07
22	08.08.11	16,00	6,63
23	18.08.11	11,16	0,43

PS: produção de sedimentos.

6.2 Modelagem Hidrológica

Neste item constam as três metodologias utilizadas para a estimativa da infiltração de água no solo e consequente formação do escoamento superficial na escala de bacia hidrográfica durante eventos. Foram aplicados modelos matemáticos com abordagens diferentes, para analisar a resposta de ambos nos processos hidrológicos. Primeiramente é apresentada uma metodologia simples, que utiliza os resultados medidos dos eventos para derivar um único modelo (curva) que expressa a infiltração aparente para as precipitações possíveis. Esta metodologia proposta por Rose (2004) foi aplicada partindo dos hietogramas e hidrogramas medidos. Desta forma, é possível obter um modelo para a bacia, o qual de forma simples fornece a infiltração de água no solo para determinada precipitação.

O segundo modelo é muito conhecido e aplicado por todo mundo, sendo de fácil aplicabilidade devido a simplicidade e o envolvimento de um único parâmetro. Conhecido como método da curva-número (USDA-NRCS, 2007) é um modelo de base empírica que utiliza um único parâmetro que incorpora os efeitos do uso e manejo do solo, o CN.

O terceiro modelo utilizado foi o LISEM (DE ROO et al., 1996), desenvolvido para simular os processos erosivos. Este modelo é de base física e espacialmente distribuída, considerado complexo pelo grande conjunto de dados necessários para utilizá-los. Além disso, por se modelo de base física incorpora vários processos como a infiltração e formação do escoamento superficial durante eventos de chuva através de suas equações matemáticas. Utilizou-se então o módulo de infiltração deste modelo para expressar o resultado desta variável na escala de bacia e compará-lo com os outros dois modelos. Deste modo, os resultados da modelagem hidrológica realizada através de três modelos distintos foram utilizados para analisar a viabilidade de cada ferramenta e para descrever o comportamento hidrológico da bacia.

6.2.1 Modelo de infiltração total aparente

O escoamento total de um rio é compreendido com o somatório dos escoamentos de base ou subterrâneo, escoamento superficial e subsuperficial. Na separação dos escoamentos, temos que o escoamento subsuperficial é somado junto ao superficial, uma vez que ele tem menor contribuição na somatória total. Entretanto, o processo de separação dos escoamentos pode conter erros e

prejudicar a interpretação dos dados. Neste trabalho a separação dos escoamentos pelo método da análise gráfica gerou dúvidas quanto ao ponto que representa o fim do escoamento superficial, principalmente nos hidrogramas com maior complexidade devido à presença de mais picos pertencentes a um evento, os quais não puderam ser separados em mais eventos. O uso de filtros recursivos apresenta-se como um método eficiente na separação dos hidrogramas de cheia, sendo um método alternativo para diminuir as dúvidas quanto a separação dos escoamentos. Esta técnica consiste em um processo de separação estatística utilizando um filtro numérico de separação de alta frequência, permitindo somente a passagem dos sinais de baixa frequência, que são associados à componente escoamento de base do escoamento total (FERNANDES et al., 2010). Comparando a separação dos escoamentos entre os filtros digitais com os métodos manuais, os primeiros mostraram-se vantajosos, visto que é um método objetivo, aplicação rápida e menos trabalhosa (FAVERA et al., 2006).

O modelo de infiltração para escala de bacia hidrográfica proposto por Rose (2004) foi aplicado aos dados obtidos na bacia hidrográfica em estudo. Para tanto, a equação 5 foi utilizada para a estimativa da infiltração total aparente (I) para cada um dos eventos medidos, e este valor foi comparado com a precipitação do evento. Na tabela 13 estão apresentados os valores da precipitação e escoamento superficial de cada evento chuva-vazão, bem como os valores obtidos de I para cada evento. Na figura 41 estão graficados os pares de dados de precipitação e de infiltração para todos os eventos monitorados.

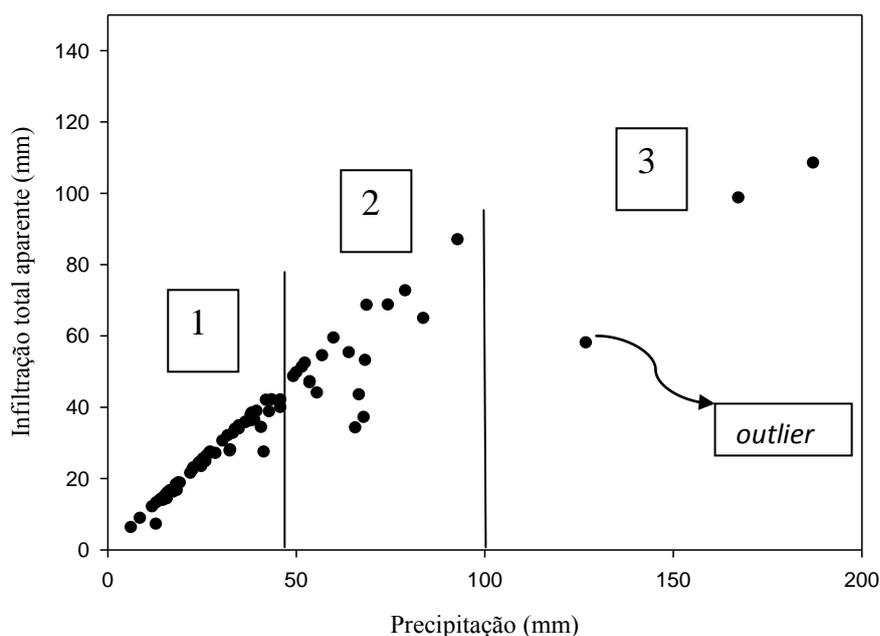


Figura 41: Gráfico da infiltração total aparente (I) versus a precipitação total (P) para os eventos monitorados nos anos

hidrológicos na Bacia de Arvorezinha.

Percebem-se as três regiões (Figura 41) distintas na distribuição dos pontos no gráfico. A parte inferior apresenta precipitações variando de 5 a 40 mm, onde os pontos seguem uma tendência linear com declividade 1:1 - neste caso as precipitações são baixas e praticamente todo o volume precipitado infiltra. A segunda região é intermediária e de transição, com precipitações variando de 40 a 100 mm, quando há uma maior dispersão dos pontos e a inflexão na tendência da reta. Nesta região o escoamento superficial é significativo, e fortemente dependente das características de uso e manejo, bem como dos volumes das precipitações. Na terceira região, com precipitações além de 100 mm, ocorre a formação de um patamar, onde mesmo com o aumento da precipitação não ocorre aumento significativo na infiltração da bacia. Desta forma, como já citado o patamar representa a capacidade máxima de infiltração média da bacia em estudo, sendo o reflexo das condicionantes ao fluxo de água, ou seja, características do relevo, solos e vegetação. Observando ainda o gráfico nota-se um ponto afastado da curva no ponto onde a precipitação foi de 127 mm, podendo ser um *outlier*.

Em função de terem sido monitorados grandes eventos, este patamar foi aproximadamente alcançado neste estudo. Obviamente um número maior de eventos extremos definiria melhor a existência deste patamar, mas isso dependeria de um período maior de monitoramento. Teoricamente, este valor máximo ocorre quando todas as áreas formadoras de escoamento (áreas de afluência variáveis e as áreas sob o regime de escoamento hortoniano) estão saturadas. O valor obtido para I_m foi de 120 mm. A partir desse valor se aplica a equação 6, que permite estimar a infiltração média para a bacia hidrográfica, a partir de diferentes valores de precipitação (equação 36).

$$I = 120[1 - \exp(\frac{-P}{120})] \quad (36)$$

Considerando todos os resultados da infiltração total aparente dos eventos, obteve-se valor mínimo de 6 mm, máximo de 108 mm e valor médio de 35 mm. Considerando valores hipotéticos de precipitação, e usando a equação derivada (Equação 36), teríamos 88% de infiltração para uma precipitação de 30 mm, 76% de infiltração para uma precipitação de 70 mm, 64% de infiltração para uma precipitação de 120 mm, e 58% de infiltração para uma precipitação de 150 mm.

Um dos grandes desafios da hidrologia e da física do solo que envolve processos com variação espaço-temporal está na representatividade da escala de trabalho, pois, os parâmetros obtidos em ensaios conduzidos em áreas de poucos cm^2 não representam os mesmos processos para áreas de m^2 ou km^2 . Nesse sentido, os dados deste trabalho foram comparados com dados de infiltração em outras escalas. Para isso, foram utilizados resultados de 48 pontos de ensaios de infiltração (DALBIANCO et al., 2010) com anéis concêntricos que cobriram a variabilidade espacial desta bacia. O valor médio da capacidade de infiltração encontrado foi de $94,9 \text{ mm h}^{-1}$. Além desses, foram utilizados valores de condutividade hidráulica saturada de 480 pontos superficiais amostrados, abrangendo as várias regiões da bacia, cujo valor médio encontrado foi de 289 mm h^{-1} (DALBIANCO, 2009). Esses resultados indicam uma grande variabilidade espacial, dependente do método de análise, mesmo quando utilizado uma densa malha de pontos.

Essa comparação entre valores de diferentes determinações para a estimativa de água no solo demonstra claramente que a metodologia deve ser adequada à escala de análise. Os valores de escoamento superficial nesta bacia são altos, bem como os valores obtidos pelos métodos convencionais de condutividade hidráulica e da capacidade de infiltração, obtidos pelo método dos anéis concêntricos, desta forma, poderíamos ter conclusões equivocadas ao analisar apenas as metodologias convencionais. Na abordagem de bacia, segundo o modelo proposto, incorporamos os efeitos das áreas de afluência variável, que governam a variabilidade espacial do processo de infiltração e, conseqüentemente, da formação do escoamento superficial. Além disso, o método integra todos os efeitos do uso, manejo, topografia, tipos de solos, mesmo que não quantificados. É importante compreender a relação entre as escalas de análise, em relação à descrição dos processos de infiltração, pois questões que envolvem a transferência de informações entre escalas hidrológicas são de grande interesse para a modelagem dos processos hidrológicos, erosivos e de qualidade da água.

Outra característica importante do modelo apresentado é a sua simplicidade. Devido aos custos operacionais de aquisição e levantamento de dados, é desejável escolher modelos eficientes com a maior simplicidade possível. Em relação à estimativa da infiltração, esse aspecto é fundamental, já que o levantamento de dados de infiltração em áreas de grande extensão e de grande complexidade exige um número significativo de amostragens, experimentos a campo e análises de laboratório. O método apresentado para escala de bacia envolve basicamente a infraestrutura de monitoramento da precipitação e vazão. Importante salientar que o método é complementar aos métodos tradicionais de estimativa de infiltração, contribuindo principalmente para a regionalização da informação para áreas maiores e mais complexas.

Tabela 13: Valores da precipitação, escoamento superficial e infiltração aparente para os eventos monitorados na bacia de Arvorezinha.

Evento	Data	Duração H	P ⁽¹⁾	Esc. Sup. ⁽²⁾	I ⁽³⁾
				----- mm-----	
1	07.09.2009	44,00	53,75	7,03	46,72
2	11.09.2009	66,16	68,09	31,11	36,98
3	27.09.2009	3,83	83,92	19,16	64,76
4	07.11.2009	23,33	46,00	4,12	41,88
5	20.11.2009	11,50	25,00	1,78	23,22
6	22.11.2009	18,83	46,00	6,21	39,79
7	02.12.2009	2,33	43,00	4,41	38,59
8	03.01.2010	4,50	34,97	1,20	33,77
9	03.01.2010	45,83	187,30	79,00	108,3
10	16.01.2010	10,50	24,81	0,70	24,11
11	16.02.2010	11,50	42,22	0,40	41,82
12	21.02.2010	10,00	25,52	0,20	25,32
13	22.03.2010	10,50	36,73	1,10	35,63
14	21.04.2010	5,66	68,87	0,42	68,45
15	25.04.2010	31,16	93,02	6,20	86,82
16	17.05.2010	16,33	43,73	1,80	41,93
17	18.05.2010	18,66	28,81	1,90	26,91
18	16.06.2010	6,33	38,17	0,50	37,67
19	18.06.2010	14,16	36,91	1,30	35,61
20	18.06.2010	17,33	26,13	1,50	24,63
21	19.06.2010	22,16	17,61	1,53	16,08
22	09.07.2010	8,66	38,42	0,20	38,22
23	12.07.2010	13,00	57,09	2,80	54,29
24	17.07.2010	22,50	49,46	1,00	48,46
25	19.07.2010	26,00	32,69	4,80	27,89
26	24.07.2010	6,66	17,36	1,00	16,36
27	31.07.2010	4,00	24,33	0,20	24,13
28	12.08.2010	7,66	18,95	0,30	18,65
29	02.09.2010	10,50	51,70	0,60	51,10
30	21.09.2010	14,66	79,10	6,60	72,50
31	21.09.2010	20,66	68,48	15,50	52,98
32	07.10.2010	6,83	27,06	0,20	26,86
33	15.11.2010	8,00	39,70	1,00	38,70
34	21.11.2010	27,66	65,87	31,80	34,07
35	22.11.2010	7,00	32,57	5,00	27,57
36	02.12.2010	3,83	32,05	0,20	31,85
37	19.12.2010	4,83	27,39	0,10	27,29
38	24.12.2010	5,66	22,67	0,50	22,17
39	02.01.2011	6,50	24,67	0,27	24,40
40	08.01.2011	5,83	74,5	5,99	68,51
41	24.01.2011	3,00	26,36	0,27	26,09

42	29.01.2011	3,16	22,93	0,10	22,83
43	01.02.2011	8,00	18,32	0,20	18,12
44	05.02.2011	2,83	8,76	0,07	8,69
45	12.02.2011	30,16	18,5	2,03	16,47
46	24.03.2011	9,16	35,03	0,37	34,66
47	25.03.2011	11,66	16,61	0,36	16,25
48	25.03.2011	23,83	167,45	68,93	98,52
49	27.03.2011	7,16	52,49	0,25	52,24
50	28.03.2011	14,83	13	5,95	7,05
51	05.04.2011	6,33	13,12	0,08	13,04
52	08.04.2011	8,33	14,41	0,36	14,05
53	14.04.2011	28,83	60,1	0,86	59,24
54	17.04.2011	15,16	19,31	0,72	18,59
55	21.04.2011	15,00	15,56	0,46	15,10
56	22.04.2011	9,83	40,85	6,66	34,19
57	23.04.2011	18,66	41,58	14,30	27,28
58	30.04.2011	7,00	15,96	0,19	15,77
59	10.05.2011	13,16	33,98	0,28	33,70
60	11.05.2011	10,00	14,86	1,12	13,74
61	07.06.2011	9,33	50,25	0,69	49,56
62	07.06.2011	17,16	15,16	0,46	14,70
63	17.06.2011	13,83	33,42	0,90	32,52
64	21.06.2011	31,66	39,09	2,84	36,25
65	23.06.2011	14,00	16,78	0,33	16,45
66	24.06.2011	25,66	15,86	1,71	14,15
67	14.07.2011	5,83	11,98	0,05	11,93
68	14.07.2011	9,83	6,35	0,23	6,12
69	17.07.2011	31,33	38,23	2,18	36,05
70	20.07.2011	38,83	127,03	69,14	57,89
71	28.07.2011	18,66	14,14	0,28	13,86
72	29.07.2011	41,50	55,7	11,86	43,84
73	08.08.2011	19,16	64,16	9,03	55,13
74	08.08.2011	50,50	66,82	23,51	43,31
75	14.08.2011	11,66	30,67	0,30	30,37
76	18.08.2011	11,16	22,12	0,81	21,31
77	28.08.2011	36,92	53,81	6,78	47,03

⁽¹⁾ P: precipitação total; ⁽²⁾ Q_{sup} : escoamento superficial; ⁽³⁾ I: infiltração total aparente de água no solo.

6.2.2 Método da Curva Número (CN)

Outra metodologia avaliada neste trabalho foi o método da Curva Número (USDA-NRCS, 2007). Este método é amplamente utilizado em estudos que envolvem a estimativa do escoamento superficial (PRUSKI et al., 2001; BESKON, et al., 2009) e manejo e conservação do solo (ENDALE, et al., 2011). A disponibilidade de dados na bacia hidrográfica experimental em estudo permitiu avaliar a eficiência deste modelo em representar a variabilidade temporal do escoamento superficial e da infiltração. Isso foi feito pela calibração do parâmetro CN que governa a estimativa destas duas variáveis, bem como a determinação do CN tabelado, método tradicional da metodologia da Curva Número. Dados de longo prazo são essenciais para melhorar a previsão de modelos preditivos que possam ter sido desenvolvidos a partir de dados limitados que não levam em consideração a possível variabilidade temporal, e gestão do uso da terra (ENDALE, et al., 2011).

O processo de calibração foi realizado pela comparação entre o volume total de escoamento superficial determinado a partir dos dados medidos e o escoamento superficial calculado pelas equações 7 e 8, variando manualmente os valores de CN até o melhor ajuste para cada evento. A variabilidade do valor de CN ajustado para a bacia experimental de Arvorezinha apresentou variação que pode ser explicada pelo somatório da inconstância intra-anual do clima e do uso do solo. O valor mínimo de CN foi de 47, o máximo de 88 e o valor médio de 69, com coeficiente de variação igual a 12,9% (Tabela 14).

No processo de calibração do CN, ocorreram ainda eventos que não apresentam a formação de escoamento superficial, uma vez que o valor das abstrações iniciais (Ia) foram superiores ao da precipitação total. Outro fator importante é o uso constante de 20% para caracterizar o Ia, devido a variabilidade da cobertura vegetal e do manejo do solo, é provável que o Ia seja variável também. Contudo, como não foi possível obter dados medidos a campo, optou-se usar o valor padrão proposto pelo método. Tassi et al., (2006), em um estudo de obtenção de CN em bacias urbanas, também retratam a incerteza da utilização de 20% da máxima infiltração de água no solo, uma vez que a utilização deste valor pode gerar subestimativas em áreas arborizadas, ou superestimativas em áreas com maior urbanização. Endale et al., (2011) avaliando o método do CN num amplo período de tempo 1972 a 1998, obtiveram um valor médio de 0,04 para o Ia, bem diferente do valor padrão 0,2, desta forma, os autores relatam a necessidade de alterar o valor padrão para 0,05.

Tendo sido o valor de CN calibrado para cada evento, determinou-se o parâmetro S, cujo valor mínimo encontrado foi 34 mm, máximo de 286 mm e médio 113 mm (Tabela 14). Comparando com os valores obtidos pelo método da infiltração total aparente (ROSE, 2004), os resultados do método da curva número superestimaram os valores de infiltração em 3,3 vezes o valor médio estimado.

Na tabela 15 encontra-se o resumo dos valores de CN ajustados, onde é possível observar que houve uma variabilidade pequena dentro de cada período, e entre eles. Ao total foram 77 eventos, sendo 35 na época 1 e 42 na época 2. As magnitudes dos valores de CN corresponderam com o uso de cada período, já que quanto maior for o valor de CN maior a probabilidade de ocorrer o escoamento superficial, desta forma, CN e S são inversamente proporcionais, assim, quanto maior o CN, menor é a infiltração. Tassi et al., (2006) encontraram valores semelhantes em relação ao desvio padrão para a calibração do parâmetro CN numa bacia urbana. Os autores afirmam que mesmo tendo uma variação ampla nos valores de CN, é preciso considerar que na maioria das vezes apenas valores de CN acima de 50 indicam escoamento superficial.

Além disso, o método prevê ainda três condições de umidade antecedente ao evento (AMC), Condição de Umidade do Solo I, II e III; assim foi determinado para cada evento calibrado (valor CN) o AMC. Sendo que AMC I: representa a umidade do solo seco devido precipitação total do evento inferior a 15 mm nos 5 dias anteriores; AMC II: saturação média na época de cheias, onde as chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 15 - 40 mm; e AMC III: representa a condição próxima a saturação, pois as chuvas dos últimos 5 dias ultrapassam os 40 mm.

Tabela 14: Valores da precipitação, escoamento superficial, capacidade máxima de armazenamento e do parâmetro CN para os eventos monitorados na bacia de Arvorezinha.

Época	Data	Duração h	AMC ⁽¹⁾	P ⁽²⁾	Q _{sup} ⁽³⁾		S ⁽⁴⁾	CN ⁽⁵⁾	
					-----mm-----			Calibrado	Tabelado
1	07.09.09	44	I	53,75	7,03	108,85	70	58,07	
1	11.09.09	66,16	III	68,09	31,11	48,38	84	89,13	
1	27.09.09	3,66	I	83,92	19,16	114,12	69	58,07	
1	07.11.09	23,33	I	46	4,12	108,86	70	59,15	
1	20.11.09	11,5	I	25	1,78	67,52	79	59,15	
1	22.11.09	18,83	II	46	6,21	93,95	73	77,49	
1	02.12.09	2,33	I	43	4,41	98,78	72	59,15	
1	09.07.10	8,66	I	38,42	0,2	162,39	61	59,15	
1	12.07.10	13	II	57,09	2,8	33,87	60	77,49	
1	17.07.10	22,5	II	49,46	1	35,3	59	77,49	
1	19.07.10	26	III	32,69	4,8	63,5	80	89,07	

1	24.07.10	6,66	II	17,36	1	142,88	-	77,49
1	31.07.10	4	I	24,33	0,2	98,77	72	59,15
1	12.08.10	7,66	I	18,95	0,3	71,64	78	58,07
1	02.09.10	10,5	I	51,7	0,6	84,66	56	58,07
1	21.09.10	14,66	I	79,1	6,6	199,57	56	58,07
1	21.09.10	20,66	III	68,48	15,5	103,74	71	89,13
1	07.10.10	6,83	I	27,06	0,2	108,85	70	59,15
1	15.11.10	8	I	39,7	1	136,76	65	59,15
1	21.11.10	27,66	I	65,87	31,8	44,82	85	59,15
1	22.11.10	7	III	32,57	5	63,5	80	89,07
1	02.12.10	3,83	I	32,05	0,2	130,84	66	59,15
1	19.12.10	4,83	I	27,39	0,1	119,52	68	59,15
1	24.12.10	5,66	II	22,67	0,5	80,21	76	77,49
1	14.07.11	5,83	I	11,98	0,05	108,85	-	59,15
1	14.07.11	9,83	I	6,35	0,23	48,38	-	59,15
1	17.07.11	31,33	II	38,23	2,18	108,85	70	77,49
1	20.07.11	38,83	III	127,03	69,14	71,64	78	89,07
1	28.07.11	18,66	I	14,14	0,28	98,77	-	59,15
1	29.07.11	41,5	I	55,7	11,86	89,24	74	59,15
1	08.08.11	19,16	I	64,16	9,03	125,1	67	58,07
1	08.08.11	50,5	III	66,82	23,51	67,51	67	89,13
1	14.08.11	11,66	I	30,67	0,3	119,52	68	58,07
1	18.08.11	11,16	II	22,12	0,81	71,64	78	76,65
1	28.08.11	36,91	I	53,81	0,81	114,12	69	58,07
2	03.01.10	4,5	I	34,97	1,2	114,12	69	59,15
2	03.01.10	45,83	II	187,3	79	155,67	62	77,49
2	16.01.10	10,5	I	24,81	0,7	84,66	75	59,15
2	16.02.10	11,5	I	42,22	0,4	169,33	60	59,15
2	21.02.10	10	III	25,52	0,2	103,74	71	59,15
2	22.03.10	10,5	I	36,73	1,1	119,52	68	58,07
2	21.04.10	5,66	I	68,87	0,42	286,42	47	58,07
2	25.04.10	31,16	III	93,02	6,2	254	50	89,13
2	17.05.10	16,33	I	43,73	1,8	169,33	65	58,07
2	18.05.10	18,66	III	28,81	1,9	80,21	76	89,13
2	16.06.10	6,33	I	38,17	0,5	149,17	63	59,15
2	18.06.10	14,16	II	36,91	1,3	119,52	68	77,49
2	18.06.10	17,33	III	26,13	1,5	75,87	77	89,13
2	19.06.10	22,16	III	17,61	1,53	162,39	-	89,13
2	02.01.11	6,5	I	24,67	0,27	98,77	72	59,15
2	08.01.11	5,83	I	74,5	5,99	191,64	57	59,15
2	24.01.11	3	I	26,36	0,27	103,74	71	59,15
2	29.01.11	3,16	II	22,93	0,1	98,77	72	77,49
2	01.02.11	8	II	18,32	0,2	114,11	-	77,49
2	05.02.11	2,83	II	8,76	0,07	34,66	88	77,49
2	12.02.11	30,16	II	18,5	2,03	183,93	-	77,49

2	24.03.11	9,16	I	35,03	0,37	136,76	65	58,07
2	25.03.11	11,66	II	16,61	0,36	114,11	-	76,65
2	25.03.11	23,83	III	167,45	68,93	142,88	64	89,13
2	27.03.11	7,16	III	52,49	0,25	225,24	53	89,13
2	28.03.11	14,83	III	13	5,95	234,46	-	89,13
2	05.04.11	6,33	I	13,12	0,08	75,87	-	58,07
2	08.04.11	8,33	II	14,41	0,36	98,77	-	76,65
2	14.04.11	28,83	I	60,1	0,86	225,24	53	58,07
2	17.04.11	15,16	III	19,31	0,72	142,88	-	89,13
2	21.04.11	15	II	15,56	0,46	114,11	-	76,65
2	22.04.11	9,83	III	40,85	6,66	75,87	77	89,13
2	23.04.11	18,66	III	41,58	14,3	41,34	86	89,13
2	30.04.11	7	I	15,96	0,19	103,74	-	58,07
2	10.05.11	13,16	I	33,98	0,28	136,76	65	58,07
2	11.05.11	10	II	14,86	1,12	136,76	-	58,07
2	07.06.11	9,33	I	50,25	0,69	191,61	57	77,49
2	07.06.11	17,16	III	15,16	0,46	108,85	-	89,07
2	17.06.11	13,83	I	33,42	0,9	114,11	69	59,15
2	21.06.11	31,66	II	39,09	2,84	103,74	71	77,49
2	23.06.11	14	III	16,78	0,33	114,11	-	89,07
2	24.06.11	25,66	III	15,86	1,71	155,67	-	89,07

⁽¹⁾ AMC: condição de umidade antecedente; ⁽²⁾ P: precipitação total; ⁽³⁾ Q_{sup}: escoamento superficial; ⁽⁴⁾ S: potencial máximo de infiltração de água no solo; ⁽⁵⁾ CN: parâmetro curva – número calibrado.

Tabela 15: Valores do parâmetro ajustado na bacia de Arvorezinha para as duas épocas.

Época	Nº de eventos	Média	Moda	DesvPad	Mínimo	Máximo
(1) Julho a Dezembro	35	70,67	70	7,55	56	85
(2) Janeiro a Junho	42	66,48	65	9,89	47	88

DesvPad: desvio padrão

Outra análise realizada com o método da Curva Número foi a estimativa do valor de CN apenas com as informações do uso e manejo do solo e suas respectivas áreas utilizando os valores tabelados de CN (VEN TE CHOW, 1964). Com isso, foi determinado um valor único de CN para os períodos que tenham semelhanças no uso do solo (Tabela 14). Primeiramente foi preciso separar os eventos considerando o uso e manejo do solo adotado, assim foi utilizado o período com os meses que contenham cultivo (fumo ou aveia) e um segundo período com solo descoberto e/ou lavrado. Desta forma, para as áreas com cultivo para cada uso e manejo do solo os valores de CN

tabelado usados foram: (i) 40,3 % de mata nativa com CN de 70; (ii) 4,7% de pastagem com CN de 81; (iii) 13,5% de lavoura sob sistema convencional com CN de 88; (iv) 31,24% de lavoura sob cultivo mínimo com CN de 78; e (v) 10,26% de outros usos (sede, estradas, riachos e banhados) com CN de 90. As três classes de solos da bacia de Arvorezinha enquadraram-se no grupo hidrológico de solo tipo C, uma vez que são considerados solos com baixa taxa de infiltração e que apresentam um estrato impeditivo ao fluxo de água. A partir de uma média ponderada pela área dos valores de CN, foi encontrado o valor de CN igual a 77,49. Esse valor está para a condição II, desta forma, foi preciso corrigir os valores para as condições I e III, deste modo, o valor de CN para a condição I foi de 59,15 e condição III 89,07. O período sem cultivo e/ou solo lavrado teve para cada uso e manejo do solo os valores de CN tabelado usados foram: (i) 40,3 % de mata nativa com CN de 70; (ii) 4,7% de pastagem com CN de 81; (iii) 13,5% de lavoura sob sistema convencional com CN de 91; (iv) 31,24% de lavoura sob cultivo mínimo com CN de 74; e (v) 10,26% de outros usos (sede, estradas, riachos e banhados) com CN de 90. A partir de uma média ponderada pela área dos valores de CN, foi encontrado o valor de CN igual a 76,65. Esse valor está para a condição II, desta forma, foi preciso corrigir os valores para as condições I e III, deste modo, o valor de CN para a condição I foi de 58,07 e condição III 89,13.

Analisando os valores dos CN calibrados e tabelados para cada evento podemos perceber que 28 eventos tiveram seus valores superestimados, 31 eventos tiveram seus valores subestimados e 18 eventos não apresentaram escoamento superficial pelo método da calibração. Estas diferenças do parâmetro CN indicam que a utilização do modelo da Curva Número (USDA-NRCS, 2007) desenvolvidos para áreas homogêneas e que são aplicados em áreas heterogêneas, tal como em bacias hidrográficas, necessita da etapa de calibração.

6.2.3 Limburg Soil Erosion Model - LISEM

Neste item apenas retrataremos os resultados do modelo LISEM analisando o processo de infiltração de água no solo, em comparação a outras modelagens realizadas neste estudo. Desta forma, no item 6.3.2 será abordada de forma mais completa o procedimento da calibração do modelo.

A infiltração de água no solo considerada de grande variabilidade espacial foi simulada pelo modelo LISEM que interpreta os processos por soluções matemáticas. O LISEM utiliza o modelo

Green e Ampt para estimar a infiltração, oferecendo duas opções, simulação de uma camada, e simulação para duas camadas de solo. Neste estudo foi realizada a simulação para duas camadas, em vista da diferença entre as propriedades do solo na camada superficial e subsuperficial, encontradas na bacia de Arvorezinha. Contudo, o modelo não incorpora as áreas de afluência variável ou saturadas na formação do escoamento superficial, sendo estas muitas vezes as de maior importância na formação de tal processo, desta maneira, na simulação realizada pelo LISEM a formação do escoamento superficial é devido ao escoamento hortoniano.

Na tabela 16 são apresentados os valores de precipitação, escoamento superficial e a infiltração de água no solo, em um conjunto de 10 eventos, obtidos no LISEM e também aqueles obtidos pelas outras metodologias. O modelo LISEM e a metodologia proposta por Rose apresentaram boa aproximação entre seus valores de infiltração. Todavia, o modelo de Rose é extremamente simples e prático para estimar a infiltração, já a modelagem hidrológica do LISEM é complexa e robusta, uma vez que os modelos de base física e distribuída possuem estas características. Em relação aos valores obtidos na calibração do modelo CN, este superestimou 7 dos 10 eventos a infiltração, subestimou 1 evento e para os eventos 3 e 7 o CN não simulou a formação do escoamento superficial ao comparamos os três (Tabela 16). Utilizando o método CN para estimar o escoamento superficial em sistema plantio direto em 126 eventos, observou-se que o método superestimou os valores, sendo que a adoção de práticas de conservação do solo e água implica em aumentar a infiltração e reduzir o escoamento superficial (ENDALE, et al., 2011).

Segundo Nachabe et al., (1997), a escolha dos modelos deve priorizar a praticidade, sendo que a estimativa da infiltração de água no solo em diferentes escalas é importante na gestão de recursos hídricos e agricultura. Assim, destaca-se o método utilizado a partir da análise de hidrogramas e hietogramas que se apresentou com eficiência ao ser comparado com a modelagem hidrológica de maior complexidade.

Na tabela 16 são apresentados também os valores de interceptação vegetal, simulados pelo modelo LISEM. Os valores são importantes, para tentarmos compreender o processo da geração do escoamento superficial, uma vez que fatores como a interceptação vegetal e armazenamento de água nas micro depressões do solo influenciam na infiltração de água no solo. A variabilidade dos valores das interceptações de 0,71 no evento 11/05/2011 e 1,95 no evento 03/01/2010 possuem relação com a área foliar em cada evento, observados pelos valores de interceptação e pelo uso do solo em cada evento. Em estudo da erosão do solo sob cultivo do fumo no estado do Paraná, a cultura do fumo no mês de janeiro foi responsável por 70% da cobertura do solo, sendo um período de iniciação da colheita, igualmente ao ciclo realizado em Arvorezinha (ANTONELI; BEDNARZ,

2010). O mês de maio é caracterizado na bacia de Arvorezinha pelo início da semeadura da aveia, ou seja, baixíssima cobertura sob o solo, assim levando alguns meses desde o fim da colheita do fumo até alcançar maiores percentagens cobertura sob o solo. Estes resultados confirmam que a variabilidade do uso do solo durante o ano exige que o valor do parâmetro Ia seja diferente do utilizando pelo método tradicional do método CN, onde é utilizado o valor de 20% para as perdas iniciais.

Tabela 16: Valores de precipitação, escoamento superficial, infiltração de água no solo para os três métodos de estimativa da infiltração, e valores da interceptação pelo modelo LISEM.

Evento	Data	Duração h	P ⁽¹⁾	Q _{sup} ⁽²⁾ -----mm-----	Intercep. ⁽³⁾	Infiltração (mm)		
						LISEM	ROSE	CN
1	03.01.10	45,83	187,30	79,00	1,95	132,32	108,3	114,12
2	22.03.10	10,50	36,73	1,10	1,08	33,95	35,63	119,52
3	24.07.10	6,66	17,36	1,00	0,77	15,46	16,36	142,88*
4	12.08.10	7,66	18,95	0,30	0,81	17,45	18,65	71,64
5	07.10.10	6,83	27,06	0,20	1,11	25,3	26,86	108,85
6	22.04.11	9,83	40,85	6,66	1,16	31,78	34,19	75,87
7	11.05.11	10,00	14,86	1,12	0,71	12,68	13,74	136,76*
8	17.06.11	13,50	33,42	0,90	1,05	28,69	32,52	114,11
9	20.07.11	38,83	127,03	69,14	1,37	46,71	57,89	71,64
10	08.08.11	19,16	64,16	9,03	1,28	55,55	55,13	125,1

⁽¹⁾P: precipitação total; ⁽²⁾Q_{sup}: escoamento superficial; ⁽³⁾Intercep.: interceptação vegetal; LISEM: Limburg Soil Erosion Model; ROSE: metodologia de estimativa da infiltração; CN: método curva-número; *Esses eventos não apresentaram formação do escoamento superficial pelo método CN, mesmo assim foi estimado seu valor S (capacidade máxima infiltração de água no solo).

6.3 Comportamento e modelagem hidrossedimentométrica

O comportamento da transferência de sedimentos e água na bacia foi realizado sob análise do efeito histerese que ocorre entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão. A histerese entre essas duas variáveis possibilita a interpretação dos processos de infiltração, escoamento e da dinâmica dos sedimentos na bacia. Entretanto, muitas vezes os modelos não são capazes de simular essa defasagem, desta forma, a avaliação de um amplo conjunto de eventos é necessária para melhor compressão dos processos. O LISEM muitas vezes gera valores

extremamente altos de produção de sedimentos e indicativo de áreas de erosão e deposição não condizentes com as observações a campo (MORO et al., 2009; MORO, 2011).

A calibração do modelo LISEM foi realizada com um conjunto de 10 eventos hidrológicos ocorridos entre os anos de 2010 e 2011 realizados na bacia vertente e canal fluvial. Para este trabalho foi realizada a calibração das variáveis hidrológicas relacionadas com a formação escoamento superficial não havendo tempo necessário para o ajuste dos processos erosivos adequadamente. Este fato não implica que o modelo é limitado para isso, simplesmente o estudo não foi realizado devido a necessidade de aprofundamento nos procedimentos de campo e de modelagem para representar o processo erosivos que possuem alta complexidade. Esse estudo será conduzido como continuidade dos resultados aqui apresentados. Mesmo assim, decidiu-se apresentar os resultados do comportamento entre a Q e a C_{ss} durante os eventos a fim de caracterizar o processo que gera maior dificuldade de simulação, que a histerese entre essas variáveis.

6.3.1 Histerese entre a vazão e concentração de sedimentos em suspensão

A avaliação da análise de transferência de água e sedimentos na bacia experimental de Arvorezinha constou de 23 eventos sob o aspecto qualitativo (laço da histerese) e quantitativo (índice de histerese) da histerese. O uso de modelos matemáticos na predição da erosão e deposição de sedimentos é influenciado pela ocorrência da histerese, mesmo modelos robustos como o LISEM não conseguem representar a defasagem que ocorre na maioria das vezes entre o pico da vazão (Q) e o pico da concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}). Desta maneira, o LISEM considera que os picos ocorrem simultaneamente para todos os eventos calibrados, sendo que na verdade essa sincronia no tempo é o que menos ocorre na realidade. Uma das grandes consequências é a superestimativa da produção de sedimentos devido a coincidência dos valores máximos de C_{ss} e Q no tempo.

Dentre o conjunto de eventos houve relativamente a predominância da curva no sentido horário (Figuras 42 a 42.3), sendo que eventos tiveram este comportamento, como pode se observar na tabela 15. Contudo, houve 9 eventos com o sentido anti-horário que estão dispostos nas figuras entre 43 a 43.4, e apenas 2 no formato em 8 conforme figura 44.

As curvas no sentido horário são caracterizadas com o pico da concentração de sedimentos antecedendo o pico da vazão pela exaustão dos sedimentos ao canal fluvial. A curva da histerese é

influenciada pelo tamanho e forma da bacia hidrográfica sendo que em bacias menores e mais alongadas há maior tendência do pico da C_{ss} anteceder o pico da vazão (LELI, 2010). De acordo com Williams (1989) a fonte dos sedimentos se encontra perto do canal fluvial ocorrendo uma primeira “lavagem” na bacia devido a precipitação, levando ao pico a curva do C_{ss}, e posteriormente ao recesso do sedimentograma devido ao seu esgotamento. Portanto, o fornecimento e mobilização dos sedimentos são limitados aos locais perto do canal. Na bacia de Arvorezinha as estradas têm forte impacto na produção de sedimentos, sendo elas umas das responsáveis pelo rápido fornecimento de sedimentos aos canais. Na determinação das fontes de sedimentos Minella (2007) encontrou que 29,0% do sedimento produzido na bacia são provenientes das estradas. Somados a isso, as características da morfologia da bacia como o relevo acidentado e vertentes curtas, contribuem no escoamento superficial aumentado a sua velocidade, bem como a proximidade dos sedimentos das lavouras e estradas até o canal. Muitos produtores ainda realizam a construção de canais escoadouros para a retirada do escoamento das áreas de cultivo provenientes das estradas e lavouras (resultado da construção dos camalhões), estes canais se tornam caminhos preferências aumentando a rápida transferência de sedimentos para o canal.

Rodrigues (2011) avaliou o sentido e índice de histerese para uma pequena bacia hidrográfica florestada na região metropolitana do RS e observou a predominância entre 6 dos 7 eventos analisados para a curva no sentido horário. De acordo com Seeger et al., (2004) a principal diferença entre a curva no sentido horário e anti-horário é que no primeiro caso a curva é gerada pela alta umidade do solo, mas espacialmente limitada já o sentido anti-horário é gerado quando o solo está próximo a saturação em toda área da bacia consequentemente as áreas de contribuição de sedimentos são estendidas.

Quando o sentido da curva é anti-horário caso que ocorreu em 9 eventos, este ocorre devido a contribuição de sedimentos por mais áreas na bacia hidrográfica. Neste caso o pico da C_{ss} ocorre depois do pico da vazão, isto acontece devido a incorporação de áreas que não estão constantemente conectadas a rede canais como as áreas de deposição de sedimentos não consolidada de eventos antigos, deste modo, estas áreas irão se conectar aos canais de drenagem quando o escoamento for gerado por toda bacia hidrográfica (SEEGER et al., 2004). Todavia isso ocorre quando há umidade do solo extremamente alta, ocorrendo os escoamentos das áreas saturadas e o hortoniano.

Observando a tabela 17, percebemos que a maioria dos eventos anti-horários pode ser explicada pelo maior volume precipitado e pela condição de umidade antecedente ao evento devido às eventos anteriores que favoreceram o aumento da umidade do solo. O evento 12 ocorreu logo em seguida ao evento anterior, ou seja, ao evento 11 o qual contribuiu para a umidade do solo, pois

durante o evento 11 o acumulado de chuva foi de 65,87 mm, e boa parte do solo se encontrava descoberta favorecendo a formação do escoamento superficial e a contribuição de mais áreas para a produção de sedimentos. Além disso, existem outros mecanismos que podem atuar na dinâmica de transferência da água e sedimentos, antecipando o pico da vazão. De acordo com Williams (1989) o transporte de sedimentos ocorre na mesma velocidade do fluxo normal do rio, contudo a velocidade da água ocorre na mesma proporção que a onda de cheia, a qual é maior que o fluxo normal do rio. Desta forma, o pico da vazão é atingido primeiramente. Contudo, o evento ocorrido em 03/01/2010 indica o pico da C_{ss} ocorrendo anteriormente ao pico da vazão, mesmo que ao calcular os ramos crescentes e decrescentes estes indiquem que o sentido seria anti-horário. Isto pode ser explicado pela complexidade do evento conforme análise do hidrograma, sedimentograma e laço da histerese apresentados na figura 42.

Os dois eventos com a curva em forma de oito (Figura 44) são caracterizados por apresentar características da curva horária e anti-horária, isto ocorre devido a simultaneidade em que a Q e o C_{ss} ocorrem, entretanto, o pico da C_{ss} antecede o da vazão (WILLIAMS, 1989). Contudo, no presente estudo verificou-se que apenas um dos eventos apresentou o pico da C_{ss} antecedendo o pico da vazão proporcionando a curva no sentido horário (evento 8). O evento 17 em formato de 8 pode ter o sentido anti-horário explicado pela umidade antecedente, pois conforme a tabela 11 houve um evento de 33,98 mm horas antes deste evento, diferentemente do evento 8 que foi um evento isolado no período. Lopes et al., (2006); Minella et al., (2011) também encontraram resultados corroborando com este estudo para a figura em oito, ou seja, o pico do sedimentos ocorreu depois da vazão indicando que novas fontes de sedimentos foram contribuindo para o fornecimento de sedimentos.

Os valores do índice de histerese - IH estão dispostos na tabela 17, e como descritos na metodologia quando a curva foi no sentido horário gerava valores positivos e curva com sentido anti-horário valores negativos. O IH variou e entre -6,39 a 3,22 com média de -0,33. Os eventos com IH negativos apresentam o C_{ss} RC com valores menores aos valores do C_{ss} RD indicando que nesses eventos ocorreu maior mobilização de sedimentos para o canal fluvial após o pico da vazão. Neste estudo observou que a maioria dos eventos que ocorreram em sequência diminuiu o IH, conforme a tabela 17, corroborando com Lawler et al., (2006) o qual explica o fato pelo aumento a umidade do solo que determina novas fontes de contribuição de sedimentos para a bacia. Contudo, outros eventos como os ocorridos no dia 24/03 e 25/03/2011 o IH aumentou, resultado também encontrado por Rodrigues (2011) para uma pequena bacia florestada com eventos em sequência. Entre os 23 eventos 6 ocorrem em sequência e destes 2 eventos, mais precisamente, os eventos 13 e

14; e os eventos 18 e 19, apresentaram valores crescentes de IH provavelmente devido a exaustão do aporte de sedimentos, justificado pelo sentido da curva horária da histerese, fazendo com que os valores do Css RD diminuíssem e assim o valor de IH aumentasse.

Tabela 17: Variáveis hidrossedimentológicas, índice de histerese e laço da histerese para a bacia experimental de Arvorezinha.

Evento	Data	Duração	P ⁽¹⁾	Q _{max} ⁽²⁾	Q _{min} ⁽³⁾	Q _{cen} ⁽⁴⁾	Css RC ⁽⁵⁾	Css RD ⁽⁶⁾	IH ⁽⁷⁾	Histerese
1	03.01.10	44,60	187,30	5151,83	34,77	2593,30	1,325	1,867	-0,41	AH
2	16.01.10	10,50	24,80	239,28	25,70	132,49	1,134	0,373	2,04	H
3	21.02.10	12,83	25,52	95,35	13,39	54,37	0,085	0,627	-6,39	AH
4	22.03.10	10,50	36,73	183,14	34,44	108,79	0,400	0,496	-0,24	AH
5	21.04.10	26,16	68,87	133,56	86,87	110,22	1,950	1,246	0,57	H
6	19.07.10	33,83	32,68	569,29	86,87	328,08	0,773	0,324	1,39	H
7	24.07.10	9,16	17,36	374,63	118,41	246,52	1,193	1,127	0,06	H
8	12.08.10	14,66	18,95	100,44	52,15	76,29	0,369	0,322	0,15	8
9	07.10.10	7,16	27,06	59,13	27,67	43,40	0,222	0,211	0,05	H
10	02.09.10	14,50	20,49	178,64	50,79	114,72	0,212	0,580	-1,73	AH
11	21.11.10	7,16	65,87	1097,54	25,55	561,54	0,120	0,121	-0,01	AH
12	22.11.10	18,66	32,57	1335,77	25,55	680,66	0,269	1,786	-5,63	AH
13	24.03.11	17,16	35,03	170,08	9,52	89,80	0,205	0,483	-1,36	AH
14	25.03.11	24,83	167,45	4703,68	21,50	2362,59	0,393	0,238	0,65	H
15	22.04.11	10,83	40,85	1800,89	67,94	934,41	0,949	0,558	0,70	H
16	30.04.11	10,66	15,96	67,94	24,51	46,23	0,045	0,121	-1,70	AH
17	11.05.11	8,00	14,86	451,29	26,60	238,95	0,349	0,625	-0,79	8
18	17.06.11	13,50	33,40	122,13	25,55	73,84	0,180	0,162	0,11	H
19	21.06.11	26,83	39,09	549,47	25,55	287,51	0,188	0,139	0,36	H
20	17.07.11	31,33	38,23	262,44	39,20	150,82	0,205	0,049	3,22	H
21	20.07.11	39,16	127,03	3399,42	37,98	1718,70	0,420	0,133	2,15	H
22	08.08.11	16,00	64,16	2014,95	386,07	1200,51	0,482	0,401	0,20	H
23	18.08.11	11,16	22,12	205,23	36,77	121,00	0,084	0,161	-0,91	AH

⁽¹⁾ P= precipitação total, ⁽²⁾ Q_{max}= vazão máxima, ⁽³⁾ Q_{min}= vazão mínima, ⁽⁴⁾ Q_{cen}= vazão central, ⁽⁵⁾ Css RC= ramo crescente, ⁽⁶⁾ Css RD= ramo decrescente, ⁽⁷⁾ IH= índice de histerese, AH= anti-horário e H= horário.

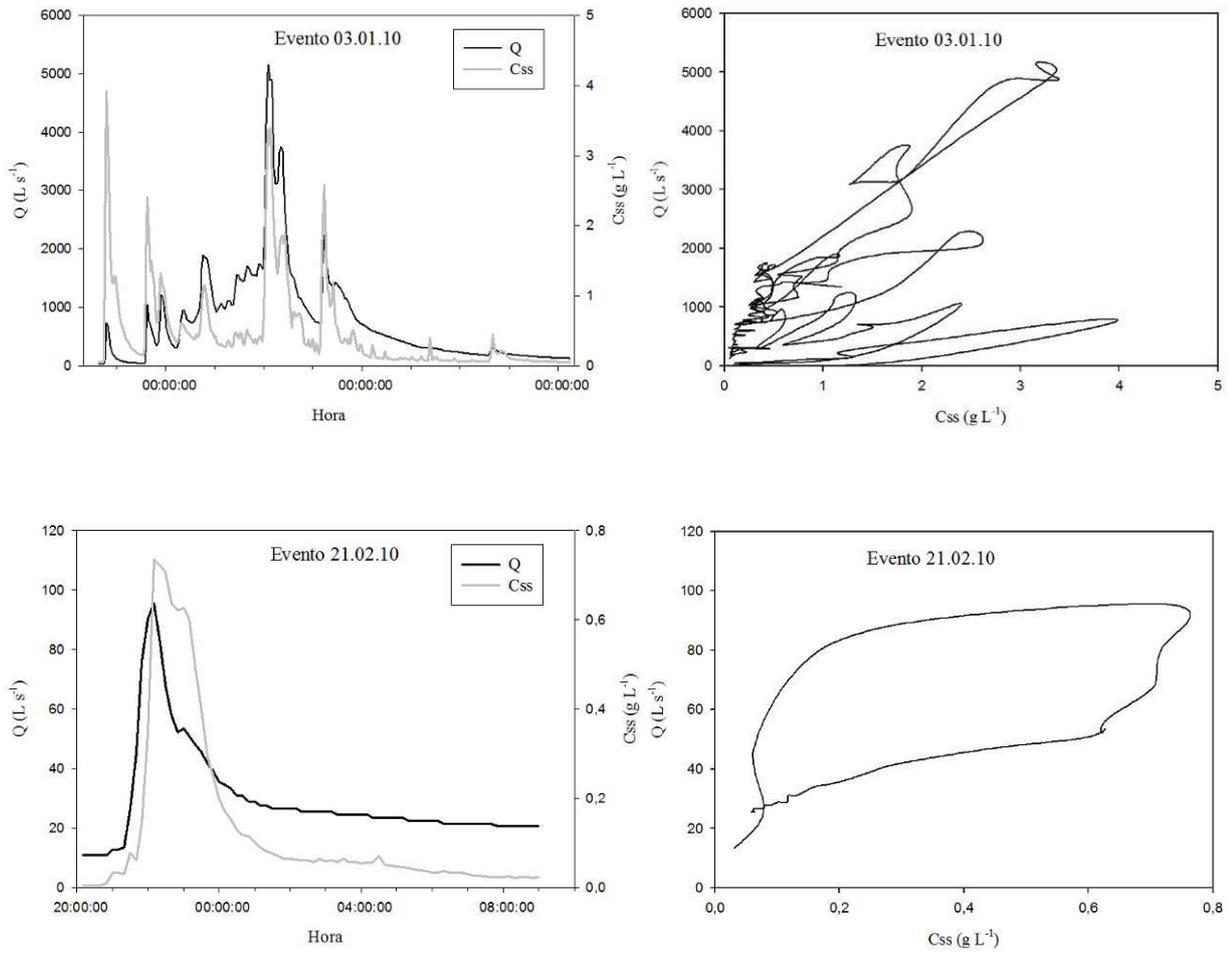


Figura 42: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário.

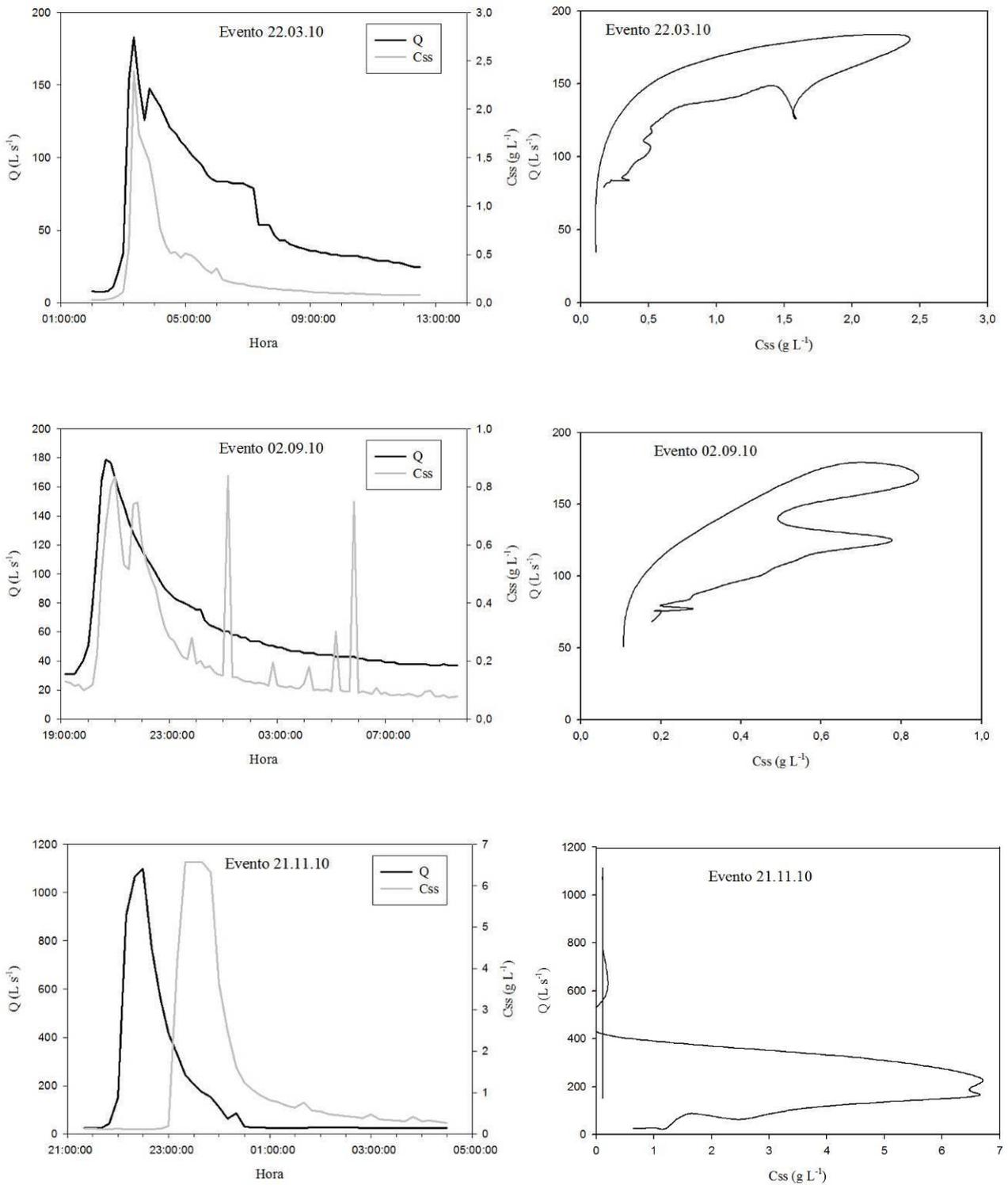


Figura 42.1: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário.

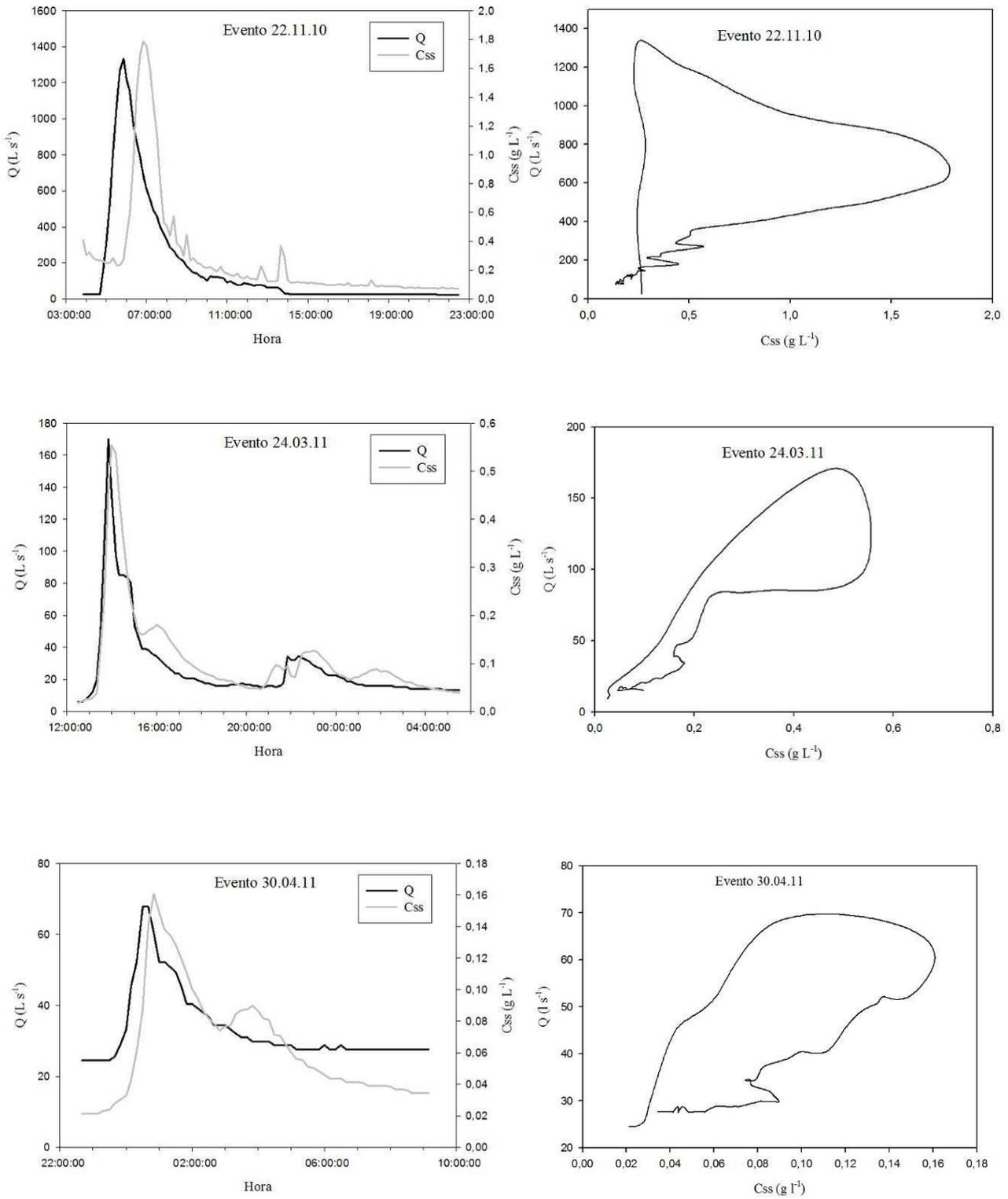


Figura 42.2: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário.

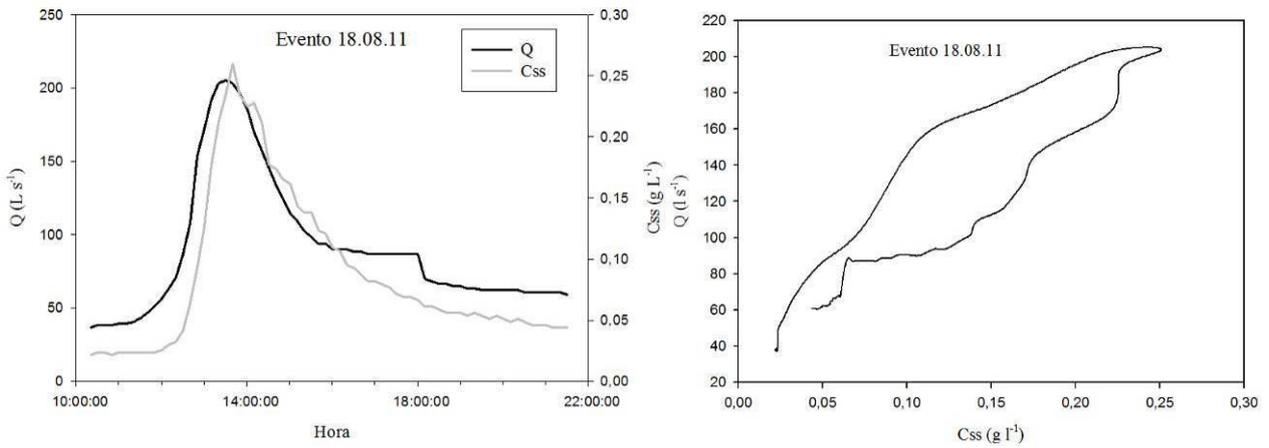


Figura 42.3: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e a curva de histerese no sentido anti-horário.

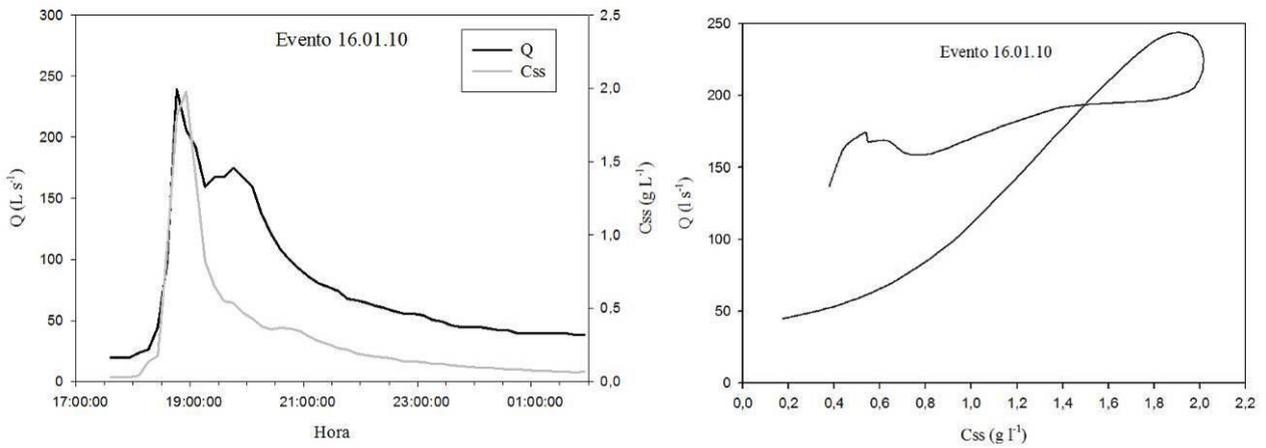


Figura 43: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e curva da histerese no sentido horário.

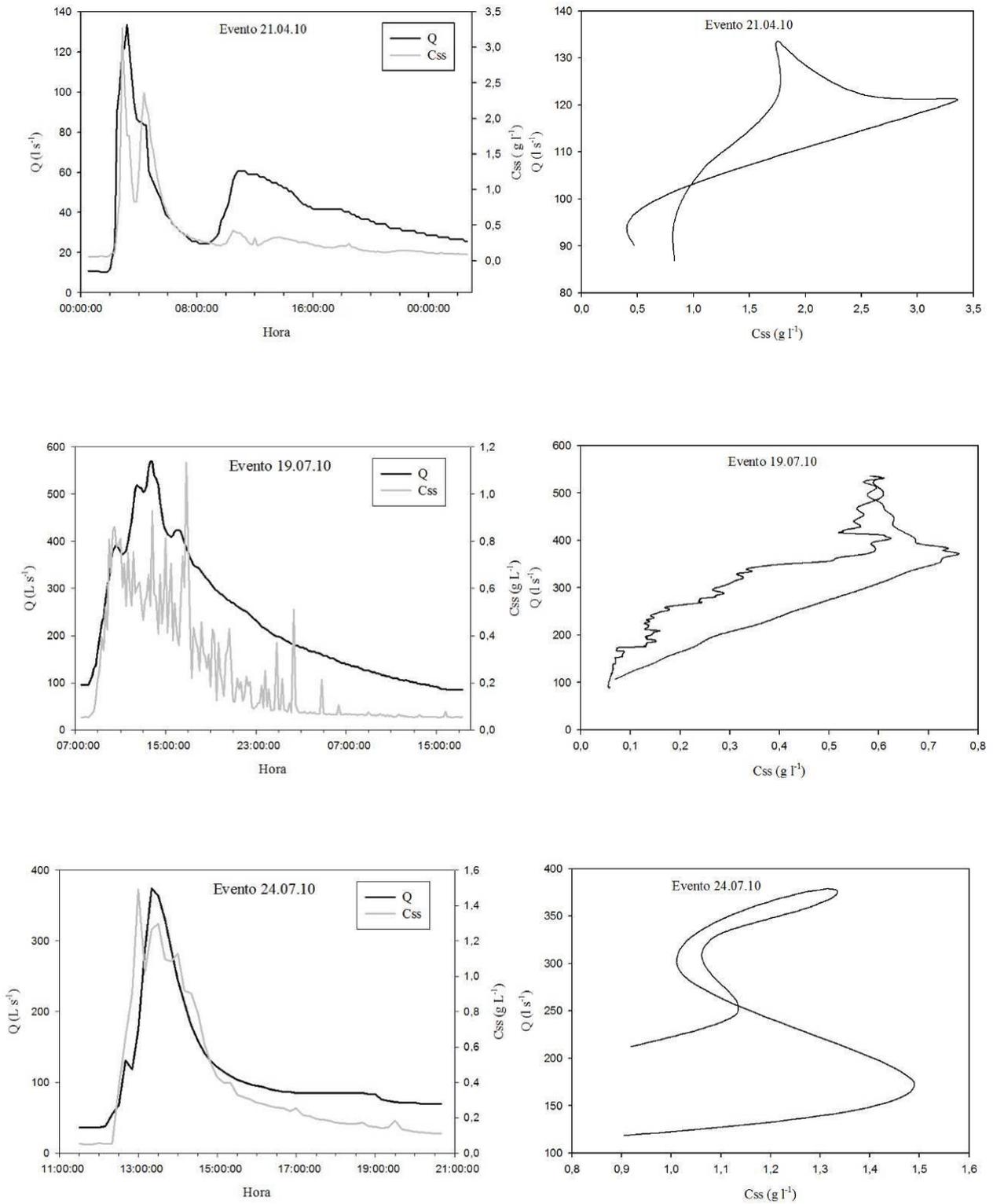


Figura 43.1: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e curva da histerese no sentido horário.

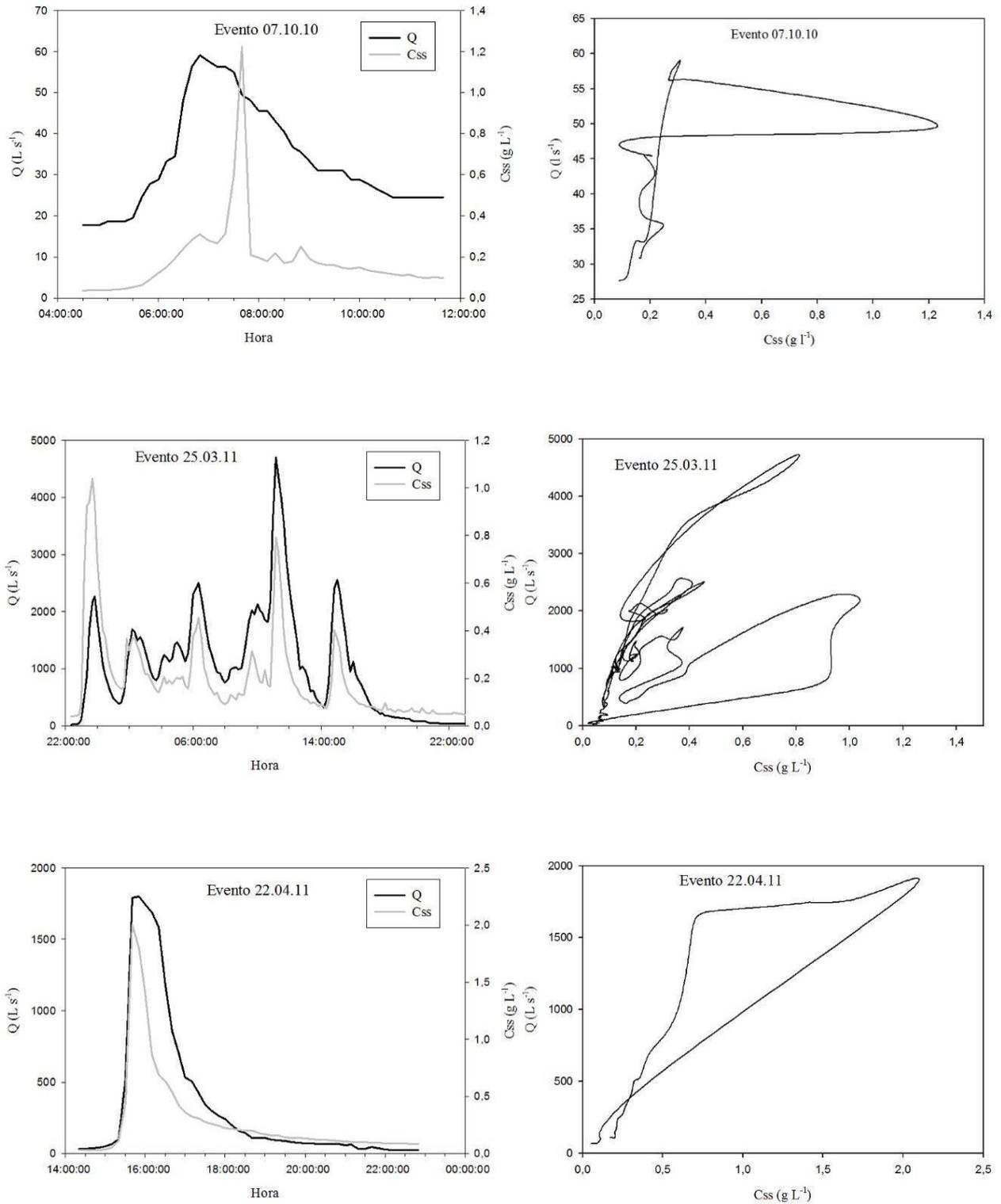


Figura 43.2: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e curva da histerese no sentido horário.

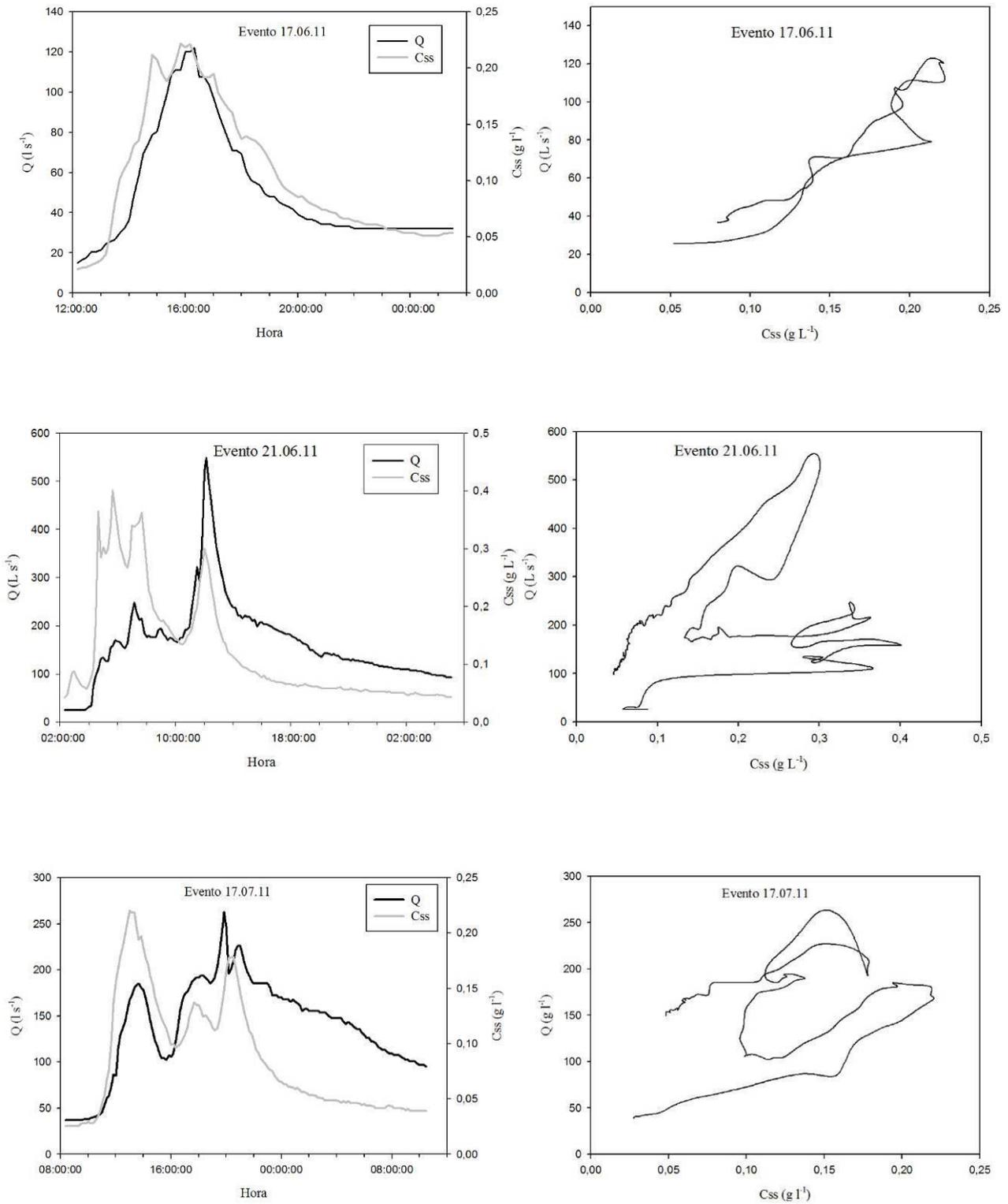


Figura 43.3: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e curva da histerese no sentido horário.

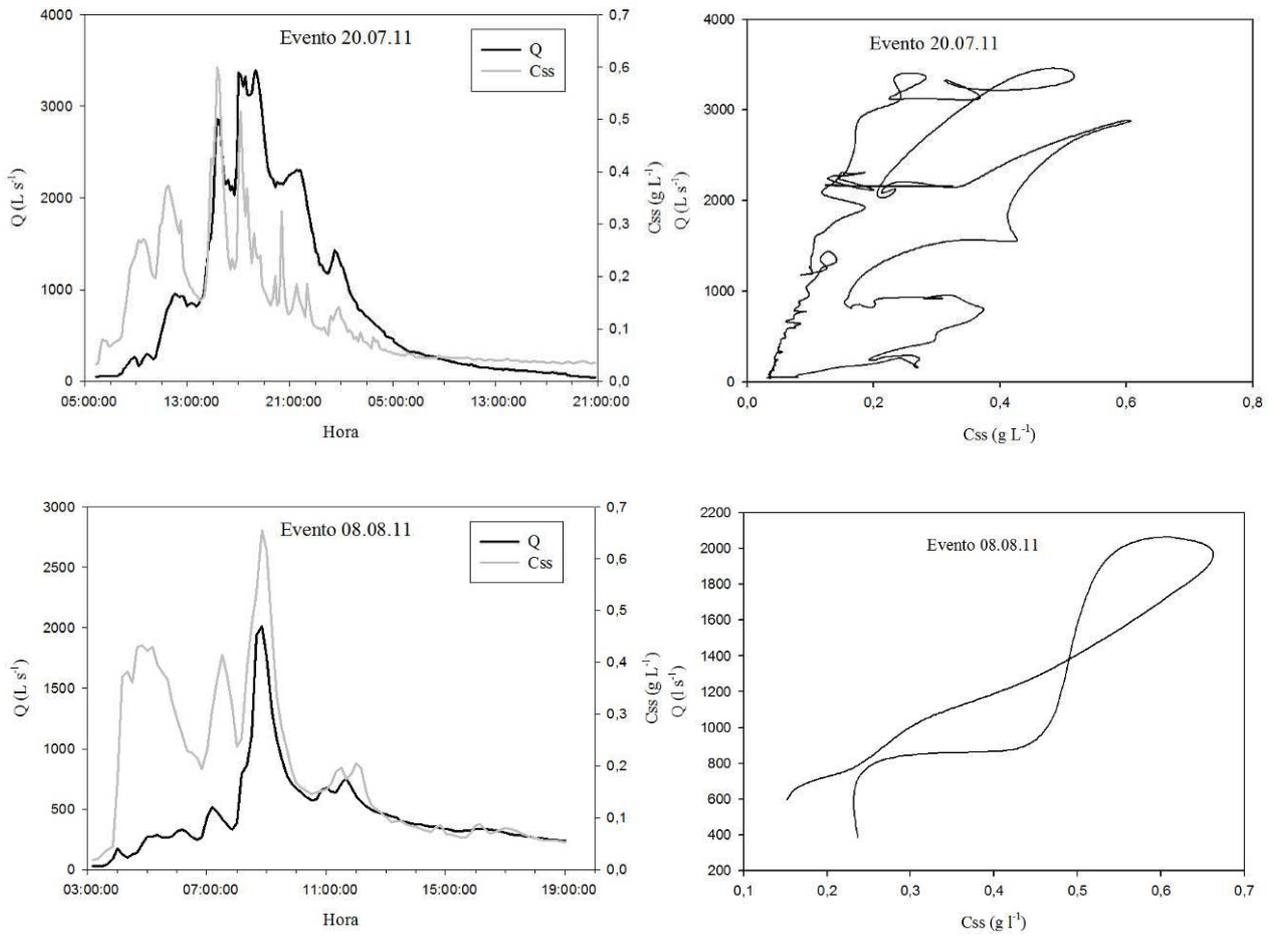


Figura 43.4: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas e curva da histerese no sentido horário.

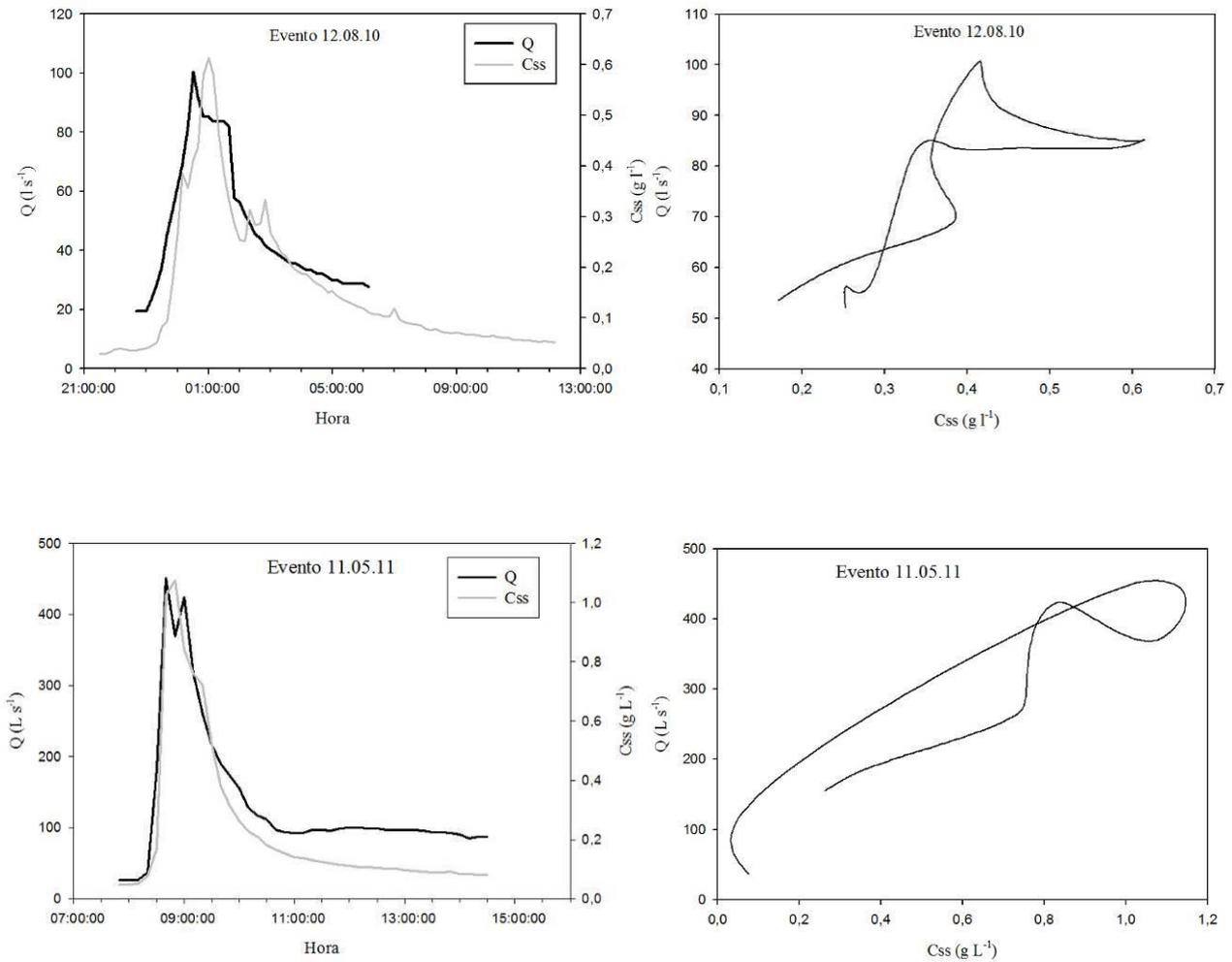


Figura 44: Eventos com os hidrogramas, sedimentogramas com a curva de histerese no formato em 8.

6.3.2 Resultados da simulação do escoamento superficial com modelo LISEM

O processo da calibração foi realizado a partir de algumas definições já citadas no item 5.5.3, o qual retratou algumas modificações necessárias quanto aos parâmetros que compunha a tabela utilizada no PCRaster. Além disso, a escolha do tamanho de célula (pixel) e intervalo de tempo das simulações foram determinados de acordo com outros estudos e adequações que condizem com as características da bacia. Inicialmente o pixel utilizado foi de 5 x 5m, contudo verificou-se que este tamanho de célula estava com alta discretização, sendo necessário optar por outro tamanho. Em uso do modelo LISEM, Moro (2011); Rodrigues (2011) também encontraram o mesmo problema quanto a resolução do pixel, desta forma, ambas utilizaram tamanho de 20 x 20m. Neste trabalho optou-se por pixel de 30 x 30m, que foi considerado adequado para o tamanho da

bacia, além disso, foi utilizado o critério de Courant para a obtenção do Δx (tamanho do *pixel*) Moro (2011) testou outros tamanhos como 50 x 50m e 100 x 100m e pode concluir que para esses tamanhos maiores as informações foram mais grosseiras.

A tabela 18 indica os valores dos parâmetros de entrada do modelo para o evento 03/01/2010, relacionados com o solo, vegetação e superfície. Neste estudo optou-se pelo modelo de infiltração de água no solo Green e Ampt com simulação para duas camadas de solo, deste modo, temos duas tabelas para cada evento. A tabela 19 apresenta os dados de entrada que foram utilizados para todos os eventos em relação aos parâmetros físico-hídricos do solo utilizados na camada 2. As demais tabelas referentes aos outros 9 eventos calibrados encontram-se nos anexos 18 ao 26. A variação nos parâmetros foi basicamente nos parâmetros relacionados com a vegetação.

Tabela 18: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 03.01.10.

Uso	Ksat 1 ^(a)	THETAS 1 ^(a)	PS 1 ^(a)	THETAI 1 ^(b)	n ^(c)	Cover ^(a)	CH ^(a)	LAI ^(a)	D50 ^(a)	Coh ^(a)	Coah ^(c)	AS ^(a)
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,70	1,5	3,24	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,45	1,5	3,76	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Tabela 19: Dados de entrada das características físico-hídricas do solo para a camada 2 associados a variabilidade da classe de solo.

Solo	Ksat 2 ^(a)	THETAS 2 ^(a)	PS 2 ^(a)	Theta 2 ^(b)
Neossolo	0,0	0,57	0,0	0,40
Cambissolo	20,0	0,57	0,25	0,40
Argissolo	20,0	0,57	0,25	0,40

Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm) e THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

Na tabela 20 são apresentados os valores finais dos parâmetros que foram calibrados no modelo LISEM. A condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) para as duas camadas, umidade inicial do solo (θ) para as duas camadas e o coeficiente de Manning para o canal e superfície foram os parâmetros calibrados. A umidade inicial do solo foi obtida por valores estimados, desta forma, seus valores na calibração foram ajustados até o melhor ajuste do hidrograma. De acordo com De Roo e Jetten (1999), em análise de sensibilidade utilizando o modelo LISEM puderam concluir que a umidade antecedente ao evento foi o parâmetro de maior sensibilidade, sendo que uma adição de 10% na umidade do solo poderia diminuir a capacidade de infiltração de água no solo. Gomes et al., (2008) no processo de calibração do LISEM em uma pequena bacia rural constatou que a umidade do inicial do solo foi o parâmetro de maior sensibilidade.

Contudo, observa-se que a K_{sat} para a camada 1 foi o parâmetro de maior modificação ao final da calibração, com redução no seu valor para todos os eventos utilizados, alcançando uma redução máxima de 20 vezes do valor inicial nos eventos 12/08/2011 e 20/07/2011 para o uso do solo com fumo cultivado mínimo e tradicional. Em relação a camada 2, onde a variabilidade é devido a classe de solo, observa-se que para os Neossolos houve aumento do valor da K_{sat} ao final da calibração, variando de 0 - 5,5 mm h⁻¹. Este aumento necessário na calibração pode ser explicado por alguns trabalhos que retratam que a rocha e/ou material rochoso que caracterizam os Neossolos possuem mesmo que de forma baixa fluxo de água no solo, como observado por Jomaa et al., (2012). Os Cambissolos e Argissolos apresentaram redução variando seus valores de 20 – 2,1 mm h⁻¹. Outra observação no parâmetro K_{sat} é a relação entre o uso e manejo do solo com a modificação dos valores para ajustar o observado com o calculado pelo LISEM. Assim, se percebe que os sistemas pastagem e mata nativa variaram seus valores de K_{sat} muito pouco em relação aos valores do cultivo de fumo tradicional e do cultivo mínimo camada 1 (Tabela 20). Isto pode ser explicado pela maior estabilidade dos usos mata nativa e pastagem, em relação às lavouras que ano após ano removem o solo, alterando assim a estrutura do solo, fluxo de água do solo e teores de matéria orgânica no solo (LONGO et al., 1999; PULROLNIK et al., 2009).

O resultado mais importante que encontramos na fase de ajuste é que os valores na segunda camada afetam com maior sensibilidade os resultados do modelo. Mesmo com valores altos de K_{sat} na primeira camada, são os valores da segunda camada que definem o melhor ajuste. Este resultado coincide com uma importante hipótese para esta bacia de que o escoamento subsuperficial é que comanda os processos hidrológicos e erosivos da mesma. Outro resultado importante foi a necessidade de aplicar um fator de correção no “n” de Manning para ajustar a velocidade da onda

de cheia. Os valores são de aproximadamente 6 vezes maior no canal e duas vezes maior nas vertentes. Apenas com esta correção foi possível ajustar os hidrogramas calculados com os observados.

Na tabela 21 estão apresentados os valores observados no exutório da bacia e os valores calculados pelas simulações, bem como o resultado da análise estatística aplicada nestes valores. Os valores ajustados nas simulações foram o volume escoando, vazão de pico, tempo de ocorrência do pico e coeficiente de escoamento. Observando os dados medidos e calculados pelo modelo podemos avaliar o bom desempenho do LISEM, que foram confirmados pelo coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE) e percentagem de Bias (PBias). Uma avaliação dos dados mostra que o volume escoado foi superestimado em 7 eventos, a vazão de pico 2 eventos superestimados, tempo de pico 7 eventos e o coeficiente de escoamento superficial 6 eventos superestimados. Ainda, neste conjunto de dados chama-se a atenção para alguns eventos que tiveram praticamente seu valor de vazão de pico e tempo de ocorrência de pico praticamente igual ao observado, como os eventos 7 e 10.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (COE), foi aplicado para avaliar a eficiência da calibração quanto às vazões; a porcentagem de Bias foi aplicada nas demais variáveis ajustadas conforme tabela 21. O COE representa a qualidade do processo de calibração, onde o valor 1 é o valor ideal, o intervalo 0 - 1,0 são valores considerados geralmente como aceitáveis e valores $\leq 0,0$ são considerados inaceitáveis (MORIASI et al., 2007). Baseado em Moriasi et al., (2007) o desempenho do modelo para os valores de vazões pode ser considerado “muito bom” para 7 dos 10 eventos, suportados pelos valores de COE $> 0,75$, sendo que o evento 22/04/2010 encontrou um ajuste quase perfeito 0,95.

O menor valor de COE foi para a simulação do evento 22/03/2010, sendo 0,67 semelhante ao segundo pior valor que foi 0,68 para o evento 03/01/2010. O evento ocorrido em 17/06/2010 apresentou COE de 0,7, desta forma, os três eventos que tiveram desempenho inferior a 0,75 são classificados com “bom” ($0,65 < \text{COE} \leq 0,75$) (MORIASI, et al., 2007).

Moro, (2011) aplicando o modelo LISEM em 10 eventos na bacia de Arvorezinha no período compreendido entre agosto de 2002 a janeiro de 2007, não obteve valores tão bem ajustados quanto neste trabalho. A autora encontrou valores de COE acima de 0,75 (considerado muito bom) em 5 eventos, sendo que um dos eventos apresentou valor negativo considerado insatisfatório. Os demais eventos apresentaram COE variando de 0,3 a 0,6. Rodrigues (2011) avaliando o desempenho do modelo LISEM em uma pequena bacia florestal, não obteve um bom ajuste dos

valores medidos e simulados, pois os coeficientes de eficiência (COE) para avaliação das vazões apresentaram-se todos com valores negativos em um conjunto de 6 eventos.

Neste trabalho buscou-se utilizar valores de melhor representatividade da bacia, uma vez um melhor conjunto de dados a partir das medições realizadas a campo foram obtidos. Podemos citar o mapa novo de solos, obtenção do parâmetro de rugosidade aleatória do solo e a determinação da condutividade hidráulica saturada em duas camadas. Desta forma, avaliando o desempenho do modelo LISEM para as simulações realizadas por Moro (2011) com as simulações deste trabalho, nota-se o melhor desempenho do modelo com as mudanças de alguns parâmetros e com a simulação para duas camadas para a infiltração de água no solo.

A percentagem de Bias ou erro (%) é apresentada na tabela 21. Também baseado em Moriasi et al., (2007) foi realizada a análise dos dados ajustados. Em relação aos valores do volume escoado, 5 eventos foram considerados “muito bom” ($< \pm 10\%$), 2 eventos foram considerados “bom” ($\pm 10\% \leq PBias < \pm 15\%$), e os eventos 5, 8 e 10 foram considerados “insatisfatórios” ($\geq \pm 25\%$). A vazão de pico foi a variável que melhor ajuste teve, dos 10 eventos todos foram considerados “muito bom”. O tempo de pico também apresentou bom ajuste entre os dados observados e simulados, pois 8 eventos foram “muito bom”, 1 evento “bom” e apenas 1 evento apresentou ajuste não “satisfatório”. O coeficiente de escoamento foi a variável que apresentou o menor desempenho nas simulações pela PBias, assim 2 eventos apresentaram ajuste “muito bom”, 5 eventos “bom”, 1 evento “satisfatório” ($\pm 15\% \leq PBias < \pm 25\%$), e 1 evento “insatisfatório”.

Nas figuras 44 a 44.9 estão apresentados os gráficos com o hidrograma observado e calculado e a dispersão dos dados para as vazões (gráficos 1:1). O modelo LISEM é capaz de simular o escoamento superficial, deste modo, para comparar os valores observados com os calculados na simulação, bem como os gráficos reproduzidos foi realizada a separação dos escoamentos. Assim, os gráficos ilustrados nas figuras representam os escoamentos superficiais. A forma dos hidrogramas simulados conseguiu representar adequadamente os hidrogramas observados, mesmo os eventos considerados mais complexos, como 03/01/2010 e 20/07/2010. Contudo, observa-se que os hidrogramas simulados apresentam limitação em representar adequadamente a ocorrência de picos menores que ocorreram durante os eventos. Todavia, a recessão do hidrograma simulado teve sua forma mais parecida com a recessão do hidrograma observado, pois ambos representam o mesmo escoamento. Moro (2011) utilizando o modelo LISEM na bacia de Arvorezinha, encontrou hidrogramas de formato abruato, isto é, a recessão do hidrograma caracterizada pelo escoamento de base não foi representado pelas simulações realizadas. Ainda, uma possível explicação para o formato do hidrograma neste estudo, onde se

verificou um grande amortecimento do mesmo na recessão, pode ser devido ao valor utilizado do n 'Manning nas simulações do canal. Uma vez, que são valores de n 'Manning significativamente maiores dos geralmente utilizados na propagação em canais, conforme os valores indicados por Hornberger et al., (1998).

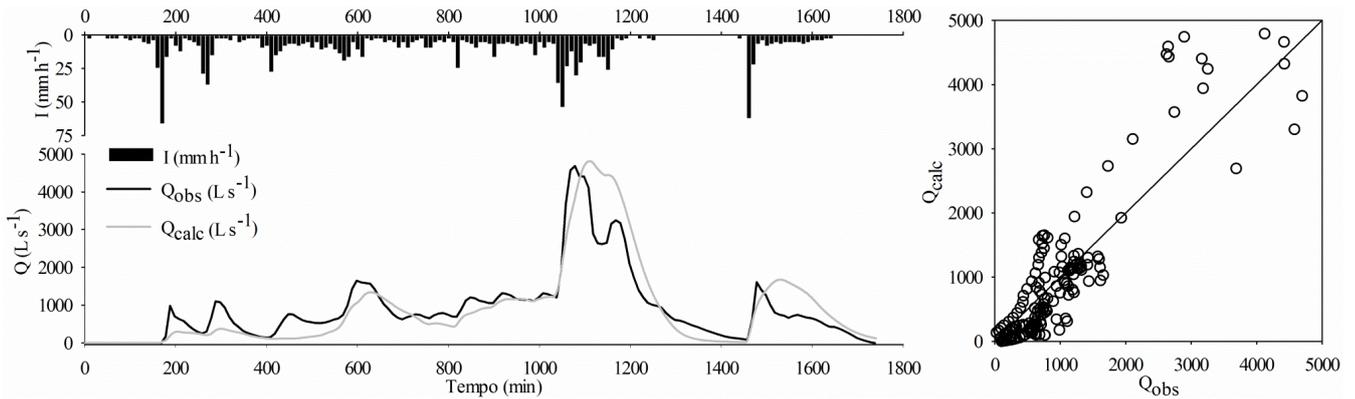


Figura 44: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 03/01/2010.

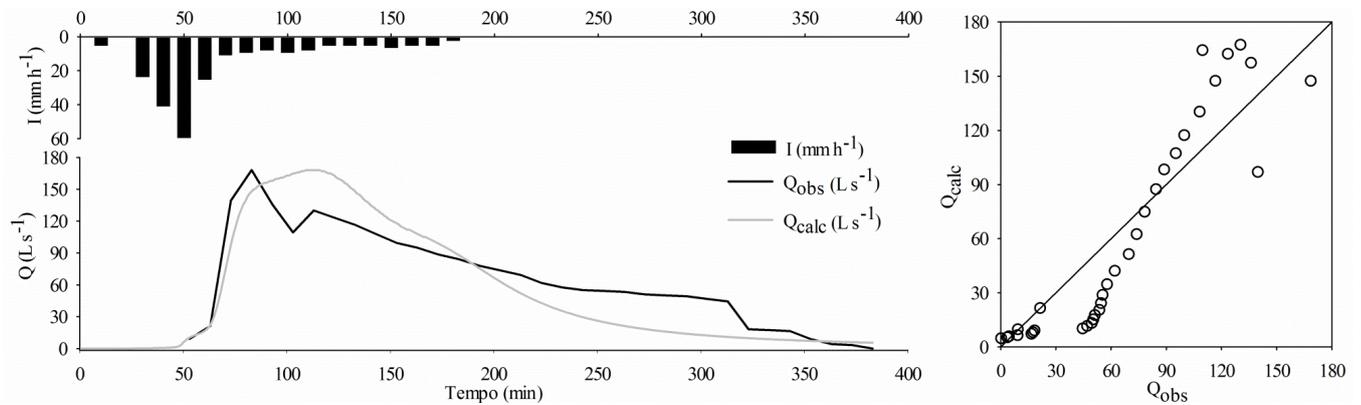


Figura 44.1: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 22/03/2010.

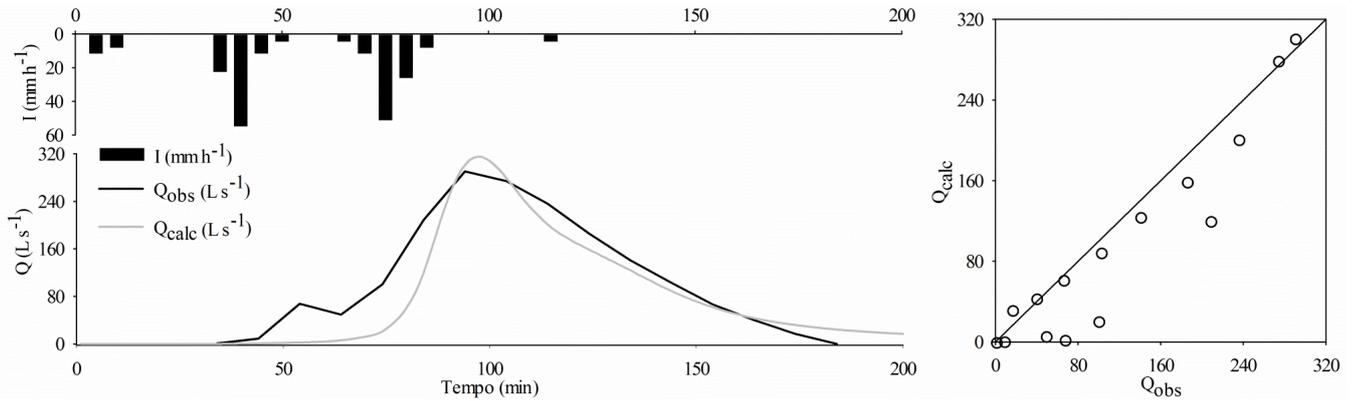


Figura 44.2: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 24/07/2010.

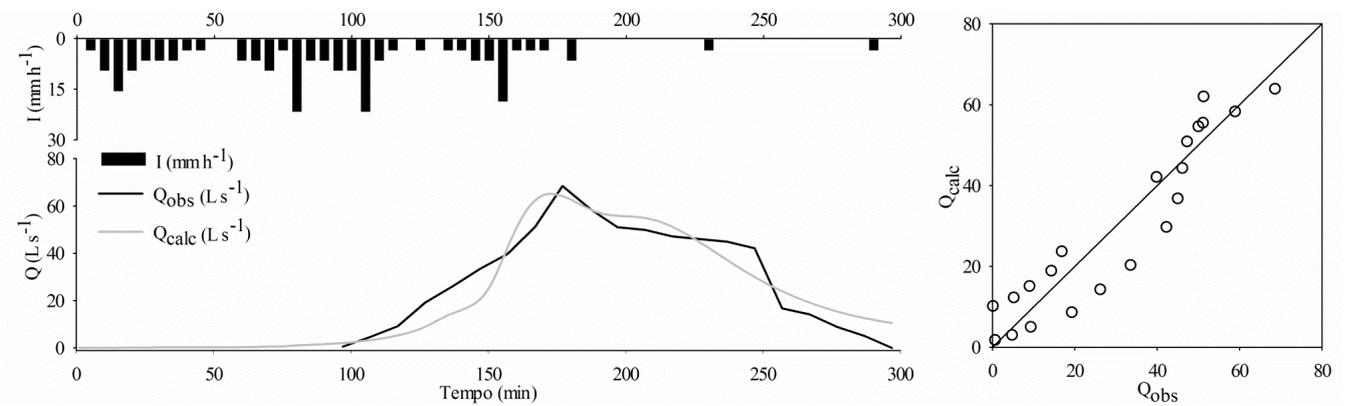


Figura 44.3: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 12/08/2010.

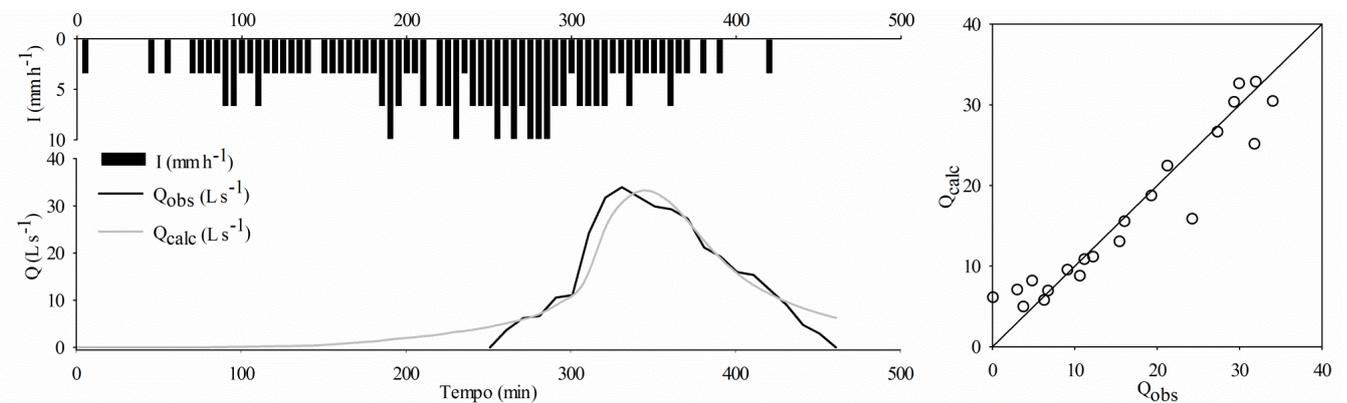


Figura 44.4: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 07/10/2010.

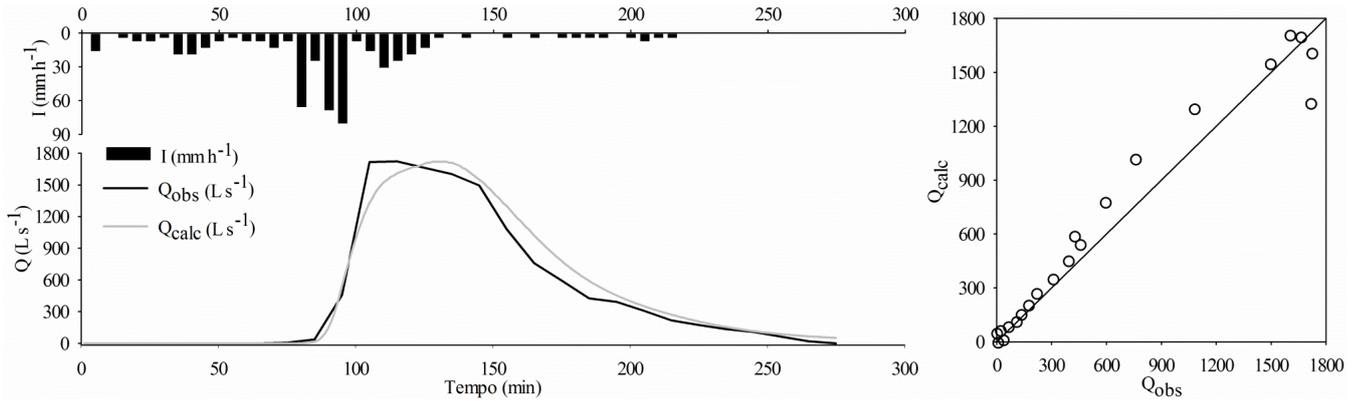


Figura 44.5: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 22/04/2011.

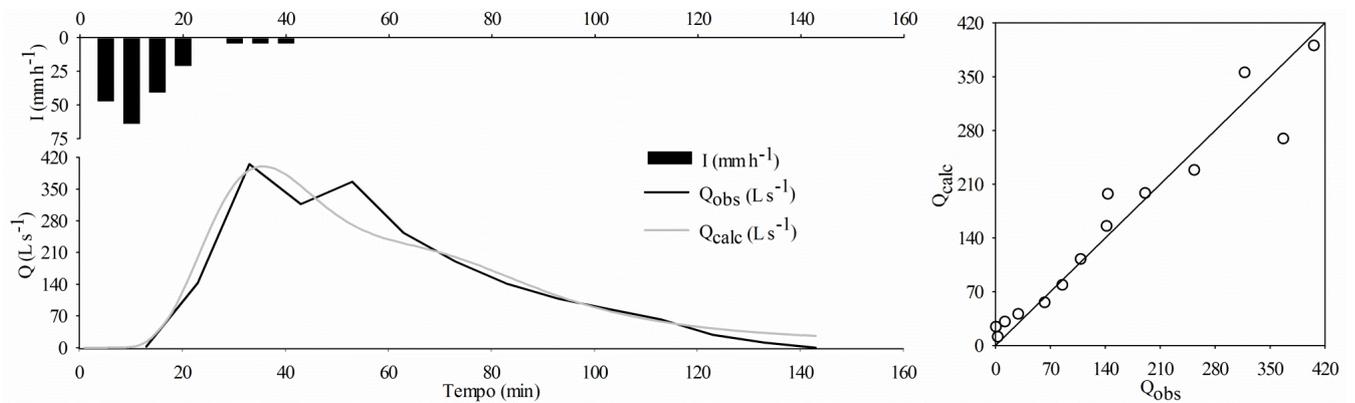


Figura 44.6: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 11/05/2011.

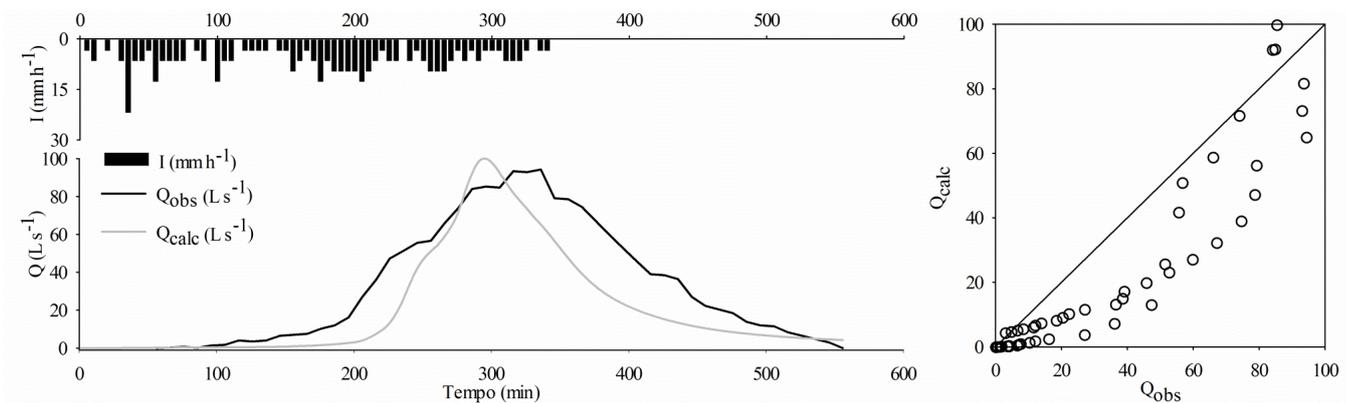


Figura 44.7: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 17/06/2011.

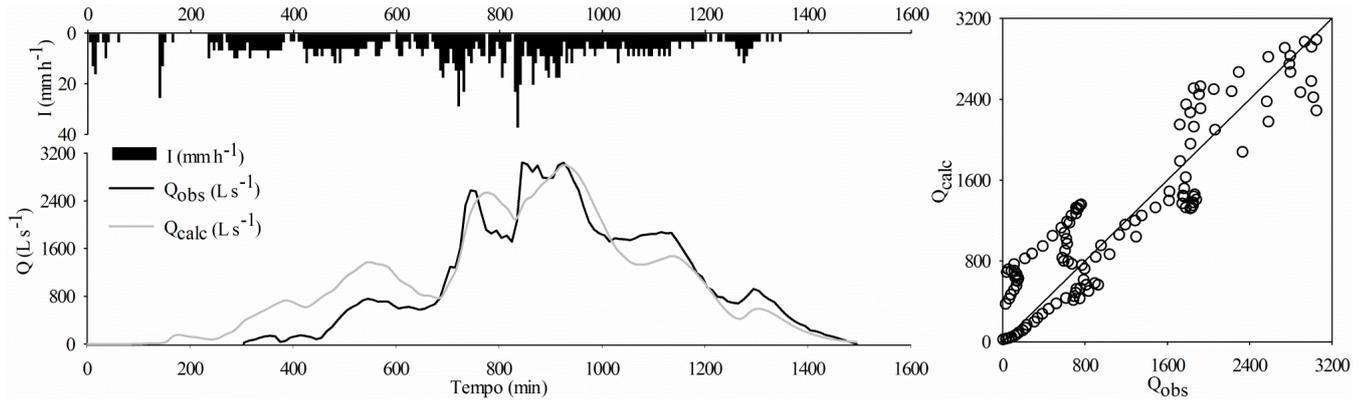


Figura 44.8: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 20/07/2011.

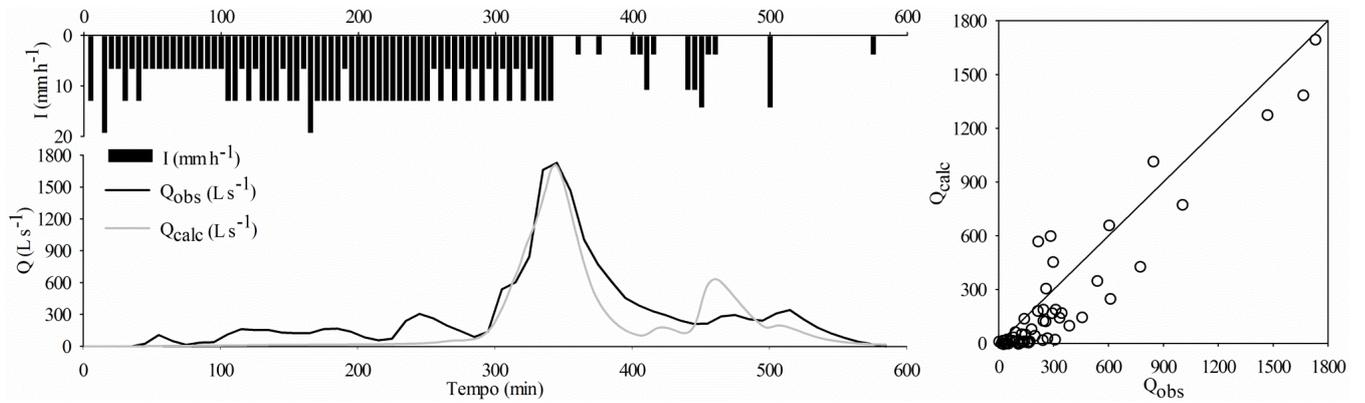


Figura 44.9: Hidrograma observado e calculado, hietograma, e gráfico 1:1 dos valores observados e calculados para o evento 08/08/2011.

Tabela 20: Valores finais dos parâmetros utilizados na calibração.

Evento	Data	K _{sat} 1					θ1					K _{sat} 2			θ2			n canal	n superfície
		MN	P	CM	CT	Açude	MN	P	CM	CT	Açude	Neo	Camb	Arg	Neo	Camb	Arg		
1	03.01.10	10,0	10,0	60,0	60,0	100,0	0,47	0,45	0,45	0,46	0,46	0,5	2,1	2,1	0,46	0,46	0,46	*6	*2
2	22.03.10	20,0	20,0	34,0	34,0	20,0	0,48	0,48	0,48	0,48	0,58	1,0	5,0	5,0	0,48	0,48	0,48	*6	*2
3	24.07.10	20,0	20,0	30,0	30,0	20,0	0,5	0,5	0,45	0,45	0,58	5,5	20,0	20,0	0,57	0,57	0,57	*6	*2
4	12.08.10	20,0	20,0	5,0	5,0	20,0	0,53	0,55	0,53	0,53	0,58	1,0	4,0	4,0	0,57	0,57	0,57	*6	*2
5	07.10.10	30,0	20,0	10,0	10,0	30,0	0,52	0,51	0,52	0,52	0,58	3,2	5,0	5,0	0,57	0,57	0,57	*6	*2
6	22.04.11	20,0	20,0	30,0	30,0	20,0	0,51	0,52	0,50	0,50	0,56	5,0	20,0	20,0	0,57	0,5	0,50	*6	*2
7	11.05.11	20,0	20,0	30,0	30,0	20,0	0,51	0,52	0,50	0,50	0,56	6,4	20,0	20,0	0,57	0,5	0,50	*6	*2
8	17.06.11	10,0	20,0	15,0	15,0	20,0	0,59	0,56	0,58	0,56	0,56	3,2	10,0	10,0	0,57	0,57	0,57	*6	*2
9	20.07.11	10,0	10,0	5,0	5,0	20,0	0,59	0,56	0,58	0,56	0,56	0,1	2,0	2,5	0,57	0,57	0,57	*6	*2
10	08.08.11	10,0	10,0	60,0	60,0	100,0	0,47	0,45	0,45	0,46	0,56	0,5	2,1	2,1	0,56	0,56	0,56	*6	*2

MN= Mata Nariva, P= Pastagem, CM= Cultivo mínimo, CT= Cultivo tradicional, K_{sat} 1= condutividade hidráulica do solo satura para camada 1, θ1= umidade inicial para= camada 1, K_{sat} 2= condutividade hidráulica do solo satura para camada 2, θ2= umidade inicial para camada 2, n canal, coeficiente de Manning para o canal, n superfície= coeficiente de Manning para a superfície.

Tabela 21: Características das variáveis hidrológicas observadas e calculadas para os 10 eventos calibrados.

Evento	Data	Volume escoado (m ³)		Q pico (l s ⁻¹)		T pico (min)		I (mm)	C (%)		COE Vazão	PBias (%)			
		Observado	Calculado	Observado	Calculado	Observado	Calculado		Calculado	Observado		Calculado	Vol Es.	Q pico	T pico
1	03.01.10	94015,80	92518,09	4687,43	4894,18	1078	1112	132,32	42,18	43,16	0,68	1,59	-4,41	-3,15	2,32
2	22.03.10	1275,27	1305,70	168,21	168,27	83	113	33,95	2,92	3,08	0,67	-2,39	-0,04	-36,14	5,48
3	24.07.10	1143,68	995,39	290,37	314,94	94	97	15,46	5,54	4,96	0,83	12,97	-8,46	-3,19	-10,40
4	12.08.10	380,74	434,30	68,46	65,11	177	173	17,45	1,69	1,98	0,87	-14,07	4,89	2,26	17,27
5	07.10.10	204,31	260,26	33,96	33,26	331	345	25,30	0,63	0,83	0,92	-27,38	2,06	-4,23	30,81
6	22.04.11	7923,00	8531,97	1722,64	1723,77	115	131	31,78	16,30	18,07	0,95	-7,69	-0,07	-13,91	10,87
7	11.05.11	1336,87	1440,21	405,19	399,98	33	36	12,68	7,56	8,38	0,93	-7,73	1,29	-9,09	10,85
8	17.06.11	1066,94	752,96	94,29	100,10	316	295	28,69	2,68	2,10	0,70	29,43	-6,16	6,65	-21,72
9	20.07.11	82279,49	89378,26	3043,92	3001,47	845	928	46,71	54,43	60,87	0,83	-8,63	1,39	-9,82	11,83
10	08.08.11	10740,66	7404,85	1728,84	1706,01	345	344	55,55	14,07	9,90	0,81	31,06	1,32	0,29	-29,63

Vol. Esc.= volume escoado; Q pico= vazão de pico; T pico= tempo de pico; I= infiltração de água no solo; C= Coeficiente de escoamento superficial COE= coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; PBias= percentagem de Bias.

7. CONCLUSÕES

O monitoramento hidrossedimentométrico realizado no período de setembro de 2009 a agosto de 2011 permitiu obter um amplo conjunto de eventos de diferentes magnitudes. Analisando esse conjunto de eventos observamos a importância do monitoramento de grandes eventos, os quais foram responsáveis pelas maiores descargas líquidas e sólidas. O uso apenas da análise mensal de produção de sedimentos subestimou os valores, sendo que em escala de eventos foi possível verificar a real produção de sedimentos. As diferentes escalas dos dados em diários, mensais e eventos permitiram avaliar as variáveis hidrológicas e a transferência de sedimentos e água para o canal fluvial. Foram os grandes eventos os maiores responsáveis pela produção de sedimentos no período monitorado. Além disso, é questionável a eficácia do sistema cultivo mínimo de como vem sendo utilizado na bacia hidrográfica. Observou-se que em grandes eventos o efeito climático é superior aos efeitos do uso e manejo do solo, contudo, percebe-se que a falta de mata ciliar, faixa de retenção e outras práticas conservacionistas poderiam atenuar a elevada produção e mobilização dos sedimentos e de poluentes que chegam até os rios.

A modelagem hidrológica foi realizada com três diferentes metodologias as quais foram compostas por modelos empíricos e de base física. Utilizando a metodologia de Rose (2004), com análise de hidrogramas e hietogramas, foi possível obter a infiltração total aparente para cada evento chuva-vazão e posteriormente a capacidade máxima de infiltração de água no solo. Desta forma, um modelo matemático simples foi obtido, onde a partir de precipitações desejadas o modelador terá a infiltração média para a bacia em estudo. O uso do modelo com um único parâmetro que represente os efeitos do uso e manejo do solo, método Curva Número, neste estudo superestimam a infiltração máxima de água no solo durante eventos. Isto porque, o valor adotado para as perdas iniciais pode não ter sido o adequado para a bacia, em virtude da variabilidade da vegetação durante o ano e modificação da rugosidade do solo variável conforme o sistema de uso e manejo do solo. Um terceiro modelo foi aplicado para comparar os resultados das variáveis hidrológicas, infiltração e escoamento superficial, a partir da maior complexidade e espacialização das informações. O modelo LISEM obteve resultados aproximados com a metodologia de Rose (2004), indicando assim a aplicabilidade de um modelo simples e que é baseado no sistema de monitoramento hidrossedimentométrico.

A análise de transferência de sedimentos e água para o canal fluvial foi avaliada neste estudo pela relação entre a vazão e concentração de sedimentos pelo efeito histerese. O conjunto de

23 eventos apresentou comportamento relativo de predominância ao sentido horário, onde a fonte de sedimentos está perto do canal. Além disso, características fisiográficas da bacia como o relevo acidentado tem forte contribuição para a disponibilização dos sedimentos até o canal, somados com os sedimentos advindos das estradas, e por canais desenvolvidos pelos produtores para escoar a água da chuva. Todavia observou-se o efeito da precipitação e umidade antecedente na transferência de sedimentos e água principalmente quando as fontes de sedimentos se encontram distantes do canal.

O modelo LISEM obteve um bom desempenho na modelagem dos processos de formação do escoamento superficial, através de um bom ajuste entre os valores observados e calculados, confirmados pelo coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (COE) e percentagem de Bias (PBias). Isto se deve ao conjunto de dados fornecidos ao modelo, que objetivou a maior quantidade de parâmetros medidos a campo condizentes a realidade da bacia de Arvorezinha. Ainda, a inserção da segunda camada no processo de infiltração de água no solo proporcionou o melhor ajuste, uma vez que na bacia de Arvorezinha se verifica que a camada subsuperficial é a condicionante dos processos hidrológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFUBRA: Associação dos Fumicultores do Brasil, **Dados sobre a fumicultura no Brasil e Perfil dos produtores**. Disponível em <<http://www.afubra.com.br>>. Acesso em 18 dez. 2011.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E.L. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga-Paraná, **Revista do Setor de Ciência Agrárias e Ambientais**, v.5, n.2, p.301-318, 2009.

ANTONELI, V.; BEDNARZ, J.A. Erosão de solos sob o cultivo do tabaco (*NICOTINA TABACUN*) em uma pequena propriedade rural no município de Irati Paraná, **Revista on line Caminhos da Geografia**, Uberlândia-MG, v.11, n. 36, p. 150-167, 2010.

ASTON, A. R. Rainfall interception by eight small trees. **Journal of Hydrology**, v. 42, p. 383-396, 1979.

ARGENTA, D.P.B.; PANTE, A.R.; MERTEN, G.H.; FLORIANO, R.F. 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.

BESKOW, S.; MELLO, C.R. DE; COELHO, G.; SILVA, A. M. DA; VIOLA, M. R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.169-178, 2009.

BEVEN, K.J.; KIRBY, M.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences-Bulletin-des Sciences Hydrologiques**, p. 43-69, 1979.

BONUMÁ, N.B. et al., Balanço hídrico e sua relação com a modelagem da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural, IX Encontro de Engenharia de Sedimentos, **Anais...** Brasília-DF, 2010.

BUBENZER, G.D.; MEYER, L.D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, 8: 73-75, 1965.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**, 2^oed. revisada e ampliada, Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2008, 599 p.

CHAPLOT, V.; POESEN, J. Sediment, soil organic carbon and runoff delivery at various spatial scales, **Catena**, v. 88, p. 46-56, 2012.

CHOW, V.T. "**Handbook of Applied Hydrology**", McGraw-Hill, New York, 1964.

CIC: Câmara da Indústria, Comércio e Serviços do Vale do Taquari, **Relatório 2010**. Disponível em <http://www.valedotaquari.org.br/cic/eleicoes_2010/05_conteudo.pdf> Acesso em 05 jan. 2012.

CUNHA, G. R. da, et al., El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações, **Revista Plantio Direto**, edição 121, 2011.

DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural**. 2009, 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

DALBIANCO, L.; et al., Relações lineares entre a velocidade de infiltração básica e outras propriedades físico hídricas do solo em uma bacia hidrográfica rural. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33., 2010, Uberlândia-MG, 2010. **Anais...CD-ROM**.

DEFERSHA, M.B.; MELESSE, A.M. Field-scale investigation of the effect of land use on sediment yield and runoff using runoff plot data and models in the Mara River basin, Kenya, **Catena**, v. 89, p. 54-64, 2012.

DE ROO, A. P. J.; OFFERMANS, R. J. E.; CREMERS, N. H. D. T. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins: II. Sensitivity analysis, validation and application. **Hydrological Processes**, v. 10, 1119-1126, 1996.

DE ROO, A.P.J. & JETTEN, V.G. Calibrating and validating the litem model for two data sets from the Netherlands and South Africa, **Catena**, v. 37, p. 477-493, 1999.

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

DUNNE, T. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 65, p. 25-48, 1983.

EMATER, **Relatório do acompanhamento da safra 2011-2012**, Disponível em <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. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

ENDALE, D.M.; SCHOMBERG, H. S.; FISHER, D. S.; JENKINS, M. B. No-till and Curve Numbers – a closer look, **Proceedings of 2011 Georgia Water Resources Conference**, April 11–13, 2011, at The University of Georgia.

FAVERA, C.H.D.; PAIVA, R.C.D.de; PAIVA, E.M.C.D. de; Separação do escoamento de base de séries históricas de vazão da bacia hidrográfica Cidade dos Meninos através da utilização de filtros digitais, XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, **Anais eletrônicos...**,IJUI/RS, 2006. Disponível em: <http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2006/CRICTE%202006/trabalhos/729225-egsa-31-08-13452.pdf>, Acesso em 07 mar. 2012.

FERNANDES, A.; NOLASCO, M.; MORTATTI, J. M. B; Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: Bacia do Rio SOROCABA - SP. **Revista Geociências (São Paulo)**, v. 29, n.1, p.49-57, 2010.

FIORIN, T.T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008,116p., (Tese de Doutorado).

GIRARDI, R.V. et al., Avaliação do Efeito de Escala em Características de Chuva e Vazão em Sub-Bacias Embutidas da Bacia do Potiribu – RS, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n. 2, p. 49-64, abri/jun 2011.

GOMES, N.M. et al., Aplicabilidade do LISEM (LIMBURG SOIL EROSION), **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2483-2492, 2008.

GOVERS, G. Empirical relationships on the transporting capacity of overland flow. **IAHS**, publication 189, p. 45-63. 1990.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.da; BOTELHO, R.G.M.; **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3.ed - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, 340p.

GUTH, P.L. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas de culturas oleaginosas**, 2010, 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

HAAN, C.T.; BARFIELD, B.J.; HAYES, J.C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments**. Academic Press, 1993. 588 p.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1981. 733 p.

HORNBERGER, G. M.; et al., **Elements of Physical Hydrology**. Johns Hopkins University Press, 1998. 302 p.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**,v. 114, p. 395-400, 1972.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Dados econômicos**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 05 jan. 2012.

JETTEN, V. **LISEM user manual, version 2.x**. Utrecht Centre for Environment and Landscape Dynamics, Utrecht University, The Netherlands, 2002.48p.

JOMAA, S. et al., Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments, **Catena**, v. 92, p. 38-48, 2012.

KLAR, A.E. **A água no sistema solo – planta – atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.

KREUTZ, M.R. **O contexto ambiental e as primeiras ocupações humanas no Vale do Taquari-Rio Grande do Sul**, 2008, 150 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento)- Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, RS, 2008.

LAWLER, D. M.; PETTS, G. E.; FOSTER, I. D. L.; HARPER, S. Turbidity dynamics and hysteresis patterns during spring storm events in an urban headwater system: The Upper Tame, West Midlands, **Science of the Total Environment**, Reino Unido, v.360, p.109-126, 2006.

LEFRANÇOIS, J. et al., Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as main sediment source on small agricultural catchments, **Hydrological Processes**, v. 21, p. 2923-2933, 2007.

LELI, I.T. **Variação espacial e temporal da carga suspensa do rio Ivaí**, 2010, 74f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2010.

LELIS, T.A.; CALIJURI, M.L. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste do Brasil, utilizando o SWAT, **Revista Ambiente e Água**, v.5, n. 2, p.158-174, 2010.

LIMA, W.DE; ZAKIA, M.J.B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas, **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.11 – 21, nov.1996.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R.; RIBEIRO, A.I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p. 276-280, 1999.

LOPES, N.H.Y.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão em microbacias experimentais na região norte do Estado de Santa Catarina, Brasil. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais eletrônicos...** Florianópolis- SC, 2006. Disponível em: [http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2007%20Nadia%20\(681\).pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2007%20Nadia%20(681).pdf), Acesso em 26 jan. 2012.

MACHADO, W.; STIPP, N.A.F. Caracterização do manejo de solo na microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Apertados - PR. **Revista Geografia**, v. 20, n. 2, jul./dez. Londrina-PR, 2003.

MELLO, N. A. **Efeito do sistema de manejo nos atributos do solo, movimentação de sedimentos e exportação de carbono orgânico numa microbacia rural sob cultura do fumo**, 2006, 273 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

MENDIONDO, E.M.; TUCCI, C.E.M. Escalas hidrológicas I: conceitos, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.59-122, 1997.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v.18, p.761-799, 2003.

MINELLA, J.P.G. **Identificação de fontes de produção sedimentos em uma pequena bacia rural**, 2003, 90 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2003.

MINELLA, J.P.G. Avaliação parâmetros hidrossedimentométricos numa bacia do Rio Grande do Sul, **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.1, n.1, p. 49-54, jul/dez 2004.

MINELLA, J.P.G. **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**, 2007, 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

MINELLA, J.P.G., et al., Aspectos da calibração de turbidímetros para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão, VIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campo Grande-MS, **Anais...** 2008.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H.; WALLING, D.E.; REICHERT, J.M. Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil, **Catena**, v. 79, p. 228-236, 2009.

MINELLA, J.P.G. et al., Efeito histerese entre vazão e concentração de sedimentos em bacia rural, IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Brasília-DF, **Anais...** 2010.

MINELLA, J.P.G. & MERTEN, G.H.; Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão, **Revista Ciência Rural**, v.41, n.3, p.424-432, mar. / 2011.

MOORE, I. D.; LARSON, C. L. Estimating micro-relief surface storage from point data. **Transactions of the ASAE**, v. 20, n. 5, p. 1073-1077, 1979.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion & conservation**. Longman: Blackwell, 2005.

MORO, M. **Avaliação do modelo litem na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do rio grande do sul**, 2011, 133 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

MORIASI, D.N., et al., Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**. v.50(3), p. 885-900, 2007.

MORGAN, R.P.C. et al., **The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide**. Silsoe, College, Cranfield University. 1998.

NACHABE, M.H. et al., Infiltration over heterogenous watershed: Influence of Rain Excess. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 2, p.140-141,1997.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: a discussion of principles. **Journal of Hydrological**, v. 10(3), p. 282-290, 1970.

ONSTAD, C. A. Depressional storage on tilled soil surfaces. **Transactions of the ASAE**, v. 27, p. 729-732, 1984.

Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**, Disponível em: <<https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>> Acesso em 15 fev 2012.

PAIVA, J.B.D. DE; PAIVA, E.M.C.D. DE **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, 628p.

PAVANELLI, D.; PAGLIARANI, A. Monitoring Water Flow, Turbidity and Suspended Sediment Load, from an Apennine Catchment Basin, Italy, **Elsevier Science Ltd. on behalf of Silsoe Research Institute**, 2002.

PEREIRA, M. A. F. **Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no Bioma Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2010.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M. **Práticas Mecânicas de Conservação do Solo e da Água**, 2.ed.rev. e ampl.Viçosa, 2006, 216p.

PULROLNIK, K. et al., Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha – MG, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

PRUSKI, F.F.; GRIEBELER, N.P.; SILVA, D.D. Comparação entre dois métodos para a determinação do volume de escoamento superficial, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.403-410, 2001.

RAUWS, G.; GOVERS, G. Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils. **Journal Soil Science**, v. 39, p.111-124. 1988.

ROSE, C. **An Introduction to the environmental physics of soil, water and watersheds**, Cambridge University Press, 2004, 442 p.

RODRIGUES, M.F. **Monitoramento e Modelagem do procesos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas florestais no sul do Brasil**, 2011, 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

ROSGEN, D.L. A classification of natural Rivers, **Catena**, Amsterdam, v. 22, p. 169-199, jun. 1994.

SANTOS, I. et al., **Hidrometria Aplicada**, Curitiba: LACTEC, 2001, 372 p.

SEEGER, M.; et al., Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 288, p.299-311, 2004.

SEQUINATO, L. **A insustentabilidade do uso do solo com fomicultura em terras declivosas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007.

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**, U.S., Geological Survey Open-File Report, 2005, 28p.

SILVA, A. M. de et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SOBRINHO, T.A.; FERREIRA, A.P.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, 6: 337-344, 2002.

STRECK, E. V. **Levantamento de solos – MBH Lajeado Ferreira, município de Arvorezinha.** Projeto de Monitoramento Ambiental de Bacias Hidrográficas do Programa RS-RURAL. 2001. 42p.

TEODORO, V.L.I.; et al., O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental do local, **Revista UNIARA** - Centro Universitário de Araraquara, n. 20, p.137-157, 2007.

THEISEN, G.; JR, F.V; SILVA, J.J.C; **Cultivo de soja em terras baixas em ano de *El-niño***, Publicado em: site Portal do Agronegócio, EMBRAPA:Clima Temperado, 2009. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/imprensa/artigos/2009/soja_giovani.pdf> Acesso em 07 de mar. 2012.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2 ed-Porto Alegre: Ed Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Capítulo 2, 2001, .

USDA NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service), 2007. **National Engineering Handbook: Part 630 Hydrology Soil Groups**. USDA NRCS, Washington, DC, USA.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio do monitoramento e modelagem**, 2008, 303f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2008.

USDA NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service), 2007. **National Engineering Handbook: Part 630 Hydrology Soil Groups**. USDA NRCS, Washington, DC, USA.

WALLING, D.E Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems, **Science of the Total Environment**, 344, p.159-184, 2005.

WALLING, D.E. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins, **Hydrobiologia**, v. 410, p. 223-240, 1999.

WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**, v.111, p.89-116, 1989.

ZONTA, J.H. et al., Adequação dos parâmetros do modelo Green-Ampt-Mein-Larson em condições de campo, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 1021-1029, 2010.

ANEXOS

Anexo 1: Valores médios diários de vazão mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de setembro e outubro de 2009 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Setembro			Outubro		
	Mín -----L s ⁻¹ -----	Máx	Méd	Mín	Máx -----L s ⁻¹ -----	Méd
1	17,72	37,98	19,75	30,97	32,10	31,95
2	21,50	257,47	129,00	30,97	30,97	30,97
3	111,09	<u>819,32</u>	<u>250,92</u>	30,97	30,97	30,97
4	133,56	207,51	135,66	29,86	30,97	30,58
5	60,57	98,70	81,62	29,86	<u>386,07</u>	38,06
6	48,12	60,57	53,27	33,25	143,37	57,72
7	42,94	<u>1232,17</u>	106,54	33,25	35,58	34,43
8	153,45	<u>654,69</u>	261,20	26,80	33,25	31,61
9	90,20	153,45	110,81	20,59	26,80	24,11
10	75,62	93,56	86,71	15,89	20,59	17,89
11	81,98	<u>1669,84</u>	<u>386,20</u>	14,15	<u>347,46</u>	43,90
12	202,96	<u>1272,34</u>	<u>456,15</u>	57,23	<u>325,16</u>	93,47
13	98,70	202,96	137,72	32,42	57,23	41,76
14	95,27	98,70	96,67	25,72	37,20	29,92
15	91,87	93,56	93,09	22,59	35,99	26,38
16	46,80	91,87	71,43	18,66	23,62	20,71
17	41,68	70,97	45,51	16,80	21,58	19,56
18	72,51	<u>436,13</u>	197,50	19,61	20,59	20,05
19	93,56	127,80	104,07	15,89	20,59	18,09
20	56,30	93,56	69,62	13,30	19,61	16,53
21	44,21	56,30	49,89	12,48	17,72	15,54
22	37,98	44,21	40,72	15,01	17,72	16,29
23	37,98	124,01	69,32	11,67	16,80	13,75
24	90,20	93,56	91,16	12,48	111,67	26,52
25	72,51	90,20	83,11	19,61	21,58	19,95
26	33,25	109,29	67,30	19,61	40,95	21,55
27	48,12	<u>2585,35</u>	<u>539,79</u>	18,66	20,59	19,71
28	37,98	165,86	82,25	15,01	19,61	17,35
29	33,25	37,98	34,71	13,30	18,66	15,60
30	32,10	33,25	32,55	11,67	15,89	13,32
31	-	-	-	10,12	12,48	11,36
Média	70,13	370,44	132,81	22,27	66,03	27,94

Anexo 2: Valores médios diários de vazão mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de novembro e dezembro de 2009 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Novembro			Dezembro		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	9,38	11,67	10,13	34,78	97,25	58,72
2	8,65	10,12	9,53	27,89	<u>1278,09</u>	140,81
3	9,38	10,12	9,60	35,99	90,33	54,41
4	8,65	10,12	9,53	20,59	37,20	26,88
5	7,95	12,48	10,25	10,88	20,59	15,26
6	10,88	259,11	25,00	11,67	13,30	12,69
7	16,80	<u>886,84</u>	144,47	12,48	15,01	13,55
8	51,58	134,65	81,72	13,30	15,89	14,29
9	30,12	51,58	37,51	11,67	31,26	17,22
10	24,66	37,20	29,56	16,80	20,59	18,93
11	20,59	25,72	22,42	15,89	<u>521,71</u>	60,50
12	17,72	20,59	19,25	22,59	69,18	31,63
13	15,89	130,71	24,95	11,67	22,59	15,10
14	20,59	339,04	144,75	10,88	15,89	13,41
15	60,14	113,52	81,57	11,67	15,01	13,25
16	37,20	60,14	46,51	11,67	14,15	12,97
17	27,89	38,44	32,34	13,30	14,15	13,31
18	23,62	88,63	31,78	11,67	15,01	13,22
19	20,59	157,09	34,84	13,30	19,61	15,09
20	31,26	677,11	84,97	12,48	22,59	17,47
21	43,52	81,95	58,41	15,01	134,65	28,92
22	39,69	<u>1456,80</u>	<u>244,11</u>	23,62	35,99	28,17
23	40,95	90,33	59,85	20,59	37,20	27,88
24	26,80	40,95	32,22	20,59	35,99	25,00
25	25,72	90,33	33,31	19,61	32,42	24,67
26	21,58	27,89	24,17	20,59	50,20	30,19
27	20,59	24,66	21,12	21,58	33,59	26,48
28	20,59	132,67	33,10	19,61	33,59	25,47
29	21,58	26,80	23,51	16,80	32,42	23,72
30	21,58	<u>641,28</u>	<u>215,36</u>	14,15	20,59	18,02
31	-	-	-	10,88	21,58	15,19
Média	24,54	189,62	54,53	17,44	93,20	27,91

Anexo 3: Valores médios diários de concentração média de sedimentos em suspensão nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2009 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	Med	Med	Med	Med
-----mg L ⁻¹ -----				
1	-	72,00	10,76	-
2	-	43,01	9,15	-
3	-	35,87	6,67	-
4	-	32,15	6,76	-
5	-	205,22	25,70	-
6	-	<u>338,08</u>	<u>284,32</u>	-
7	-	63,85	41,58	-
8	-	49,62	-	13,22
9	-	-	-	65,53
10	-	-	-	14,00
11	-	-	-	371,47
12	-	-	-	105,28
13	-	-	-	35,53
14	-	-	-	21,34
15	-	-	-	16,06
16	-	-	-	13,10
17	-	39,13	-	9,54
18	-	21,12	-	9,80
19	-	22,81	-	11,62
20	-	16,06	-	8,43
21	-	18,98	-	216,23
22	-	16,70	-	30,41
23	-	12,96	-	13,35
24	-	160,93	-	40,46
25	-	27,55	-	11,58
26	-	93,86	-	65,26
27	<u>394,62</u>	16,13	-	20,06
28	147,17	14,06	-	9,11
29	78,47	13,37	-	8,87
30	64,53	17,20	-	6,11
31	x	11,30	x	6,51
Média	171,20	58,35	54,99	46,79

Anexo 4: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Janeiro			Fevereiro			Março		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	29,35	37,85	34,34	29,35	30,77	29,36	29,35	29,35	29,35
2	29,35	133,25	50,38	4,16	29,35	19,90	29,35	29,35	29,35
3	44,93	<u>4523,84</u>	423,28	4,16	4,16	4,16	29,35	29,35	29,35
4	153,30	<u>3547,77</u>	<u>727,02</u>	4,16	9,48	4,21	29,35	29,35	29,35
5	60,54	552,72	107,86	4,16	18,35	4,89	29,35	29,35	29,35
6	40,68	120,38	53,21	4,16	5,93	4,17	29,35	30,77	29,36
7	36,43	136,11	40,34	4,16	34,32	6,51	29,35	29,35	29,35
8	33,60	49,19	36,42	4,16	101,72	18,65	29,35	30,77	29,36
9	30,77	46,35	34,93	4,16	5,93	4,17	29,35	29,35	29,35
10	29,35	290,49	42,88	4,16	4,16	4,16	29,35	29,35	29,35
11	29,35	61,96	31,66	4,16	13,03	4,68	29,35	29,35	29,35
12	29,35	35,01	29,95	4,16	4,16	4,16	29,35	29,35	29,35
13	29,35	36,43	29,67	4,16	5,93	4,17	29,35	29,35	29,35
14	29,35	54,86	30,03	4,16	4,16	4,16	29,35	29,35	29,35
15	29,35	32,18	29,40	4,16	520,34	103,03	29,35	29,35	29,35
16	29,35	<u>1976,79</u>	<u>124,42</u>	23,67	<u>765,12</u>	115,84	29,35	29,35	29,35
17	37,85	<u>923,13</u>	97,95	11,26	25,45	16,58	29,35	29,35	29,35
18	36,43	423,71	58,53	4,16	43,18	12,30	29,35	30,77	29,36
19	32,18	232,50	56,65	4,16	52,05	6,98	29,35	46,35	29,81
20	29,35	47,77	36,38	4,16	20,12	4,79	29,35	<u>781,98</u>	119,33
21	29,35	36,43	29,87	4,16	<u>734,97</u>	51,36	29,35	121,81	47,43
22	29,35	32,18	29,40	4,16	199,28	29,46	29,35	<u>2393,79</u>	167,84
23	29,35	30,77	29,38	4,16	225,89	29,26	35,01	44,93	38,82
24	29,35	36,43	29,43	4,16	13,03	4,71	30,77	107,52	41,98
25	29,35	32,18	29,38	4,16	29,35	17,50	29,35	54,86	34,82
26	29,35	30,77	29,38	29,35	29,35	29,35	29,35	37,85	31,28
27	29,35	29,35	29,35	29,35	32,18	29,39	29,35	33,60	29,52
28	29,35	33,60	29,80	29,35	30,77	29,36	29,35	30,77	29,36
29	29,35	30,77	29,41	X	X	X	29,35	33,60	29,58
30	29,35	30,77	29,36	X	X	X	29,35	29,35	29,35
31	29,35	30,77	29,40	X	X	X	29,35	29,35	29,35
Média	36,23	439,23	77,40	8,71	106,88	21,33	29,58	138,01	38,28

Anexo 5: Valores médios diários da vazão mínima, média e máxima observada nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Janeiro			Fevereiro			Março		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	30,00	40,00	32,87	13,36	14,19	13,85	10,26	11,02	10,56
2	28,00	36,00	31,03	9,53	13,36	11,82	10,26	10,26	10,26
3	28,00	<u>1211,00</u>	<u>124,31</u>	8,81	9,53	9,05	9,53	10,26	9,7
4	<u>301,00</u>	<u>5152,00</u>	<u>1463,66</u>	8,12	8,81	8,81	9,53	9,53	9,53
5	<u>135,00</u>	<u>710,00</u>	<u>295,64</u>	8,12	8,81	8,13	8,81	9,53	9,23
6	66,00	133,00	94,88	8,12	8,12	8,12	8,12	8,81	8,8
7	56,00	77,00	65,02	8,12	8,12	8,12	8,81	8,81	8,81
8	50,00	62,00	57,02	8,12	11,79	10,23	8,81	8,81	8,81
9	42,00	50,00	45,73	11,02	11,79	11,24	8,12	8,81	8,25
10	35,00	44,00	39,65	10,26	11,02	10,28	6,18	8,12	7,09
11	30,00	40,00	33,29	10,26	10,26	10,26	6,18	6,81	6,47
12	26,00	34,00	29,9	7,45	10,26	8,69	6,18	6,81	6,28
13	26,00	28,00	26,89	7,45	8,12	7,7	6,18	6,18	6,18
14	24,00	30,00	26,15	7,45	8,81	7,58	6,18	6,8	6,55
15	18,00	74,00	21,96	8,81	63,53	22,43	6,18	6,8	6,19
16	19,00	239,00	39,09	<u>24,54</u>	<u>141,52</u>	<u>44,42</u>	6,18	6,18	6,18
17	30,00	92,00	39,88	19,59	24,54	21,86	5,57	6,18	5,84
18	29,00	54,00	32,63	15,94	19,59	18,04	5,57	5,57	5,57
19	29,00	49,00	33,15	13,39	15,94	14,66	5,57	22,51	5,82
20	30,00	32,00	30,96	11,79	13,39	12,69	8,12	35,61	15,88
21	26,00	30,00	28,37	11,02	<u>95,35</u>	16,34	7,45	12,58	9,20
22	25,00	27,00	25,83	16,83	35,61	20,56	7,45	<u>183,14</u>	<u>37,00</u>
23	23,00	26,00	24,31	15,08	28,78	19,27	13,39	15,94	14,75
24	19,00	24,00	22,43	15,08	18,65	16,45	12,58	14,23	13,38
25	19,00	23,00	21,1	12,58	15,08	14,67	12,58	13,39	12,88
26	19,00	22,00	20,69	13,39	15,08	13,94	11,02	12,58	11,93
27	17,00	21,00	18,4	11,79	13,39	12,68	10,26	11,02	10,85
28	16,00	17,00	16,31	11,02	11,79	11,38	10,26	10,26	10,26
29	16,00	17,00	16,42	X	X	X	10,26	10,26	10,26
30	16,00	17,00	16,31	X	X	X	9,53	10,26	10,02
31	14,00	16,00	15,02	X	X	X	9,53	10,26	10,02
Média	40,06	271,83	89,96	11,68	23,4	14,04	8,53	16,9	10,27

Anexo 6: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de abril, maio e junho de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Abril			Maio			Junho		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	29,35	29,35	29,35	36,43	70,49	41,97	29,30	51,92	35,96
2	29,35	29,35	29,35	33,60	40,68	36,08	29,30	34,95	31,36
3	29,35	29,35	29,35	32,18	61,96	34,99	29,30	33,53	30,07
4	29,35	37,85	33,22	29,35	441,41	121,31	29,30	32,12	29,70
5	29,35	33,60	29,98	44,93	124,67	61,11	29,30	32,12	29,51
6	29,35	32,18	29,39	37,85	46,35	41,77	29,30	29,30	29,30
7	29,35	36,43	29,98	36,43	143,27	38,69	29,30	47,68	30,12
8	29,35	33,60	29,42	61,96	413,40	158,90	29,30	208,95	34,76
9	29,35	153,30	63,52	50,61	70,49	56,19	29,30	30,71	29,31
10	29,35	33,60	30,33	39,26	49,19	43,75	29,30	29,30	29,30
11	29,35	36,43	30,25	36,43	50,61	37,86	29,30	29,30	29,30
12	29,35	32,18	29,58	36,43	44,93	36,64	29,30	30,71	29,32
13	29,35	32,18	29,37	32,18	39,26	34,71	29,30	-	-
14	29,35	30,77	29,36	29,35	<u>756,10</u>	193,03	56,17	-	-
15	29,35	29,35	29,34	76,18	<u>675,79</u>	<u>219,27</u>	77,44	-	-
16	29,35	29,35	29,34	50,61	391,34	63,30	61,84	<u>864,30</u>	200,20
17	29,35	30,77	29,36	40,60	266,69	49,11	47,68	185,95	57,01
18	29,35	30,77	29,35	36,36	97,34	40,78	40,60	<u>875,04</u>	51,22
19	29,35	29,35	29,34	36,36	43,43	36,77	36,36	122,98	39,98
20	29,35	<u>1009,93</u>	104,99	32,12	36,36	35,65	34,95	40,60	35,77
21	57,70	<u>3276,84</u>	<u>411,40</u>	32,12	44,85	34,36	33,53	46,26	35,11
22	69,07	754,58	178,91	32,12	98,76	41,14	32,12	36,36	34,11
23	53,44	138,97	71,71	29,30	269,59	39,31	32,12	46,26	33,21
24	44,93	56,28	48,75	29,30	39,19	33,22	30,71	36,36	32,99
25	40,68	<u>4668,88</u>	<u>444,28</u>	29,30	36,36	30,83	29,30	36,36	31,92
26	79,02	533,34	197,59	29,30	33,53	29,82	29,30	34,95	30,47
27	36,43	87,56	52,44	29,30	78,86	38,98	29,30	32,12	30,16
28	36,43	39,26	36,58	32,12	49,09	36,36	29,30	39,19	30,02
29	33,60	40,68	36,40	29,30	37,77	30,67	29,30	70,35	31,03
30	33,60	40,68	35,57	29,30	33,53	29,93	29,30	44,85	29,66
31	x	x	x	29,30	32,12	29,47	x	x	x
Média	35,73	379,22	73,92	37,02	152,84	57,55	34,67	114,90	39,66

Anexo 7: Valores médios diários da vazão mínima, média e máxima observada nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Abril			Maio			Junho		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	9,53	10,26	10,02	18,64	20,53	19,71	14,21	15,93	14,73
2	6,81	8,81	8,11	17,72	18,64	18,17	13,38	14,21	13,83
3	6,81	7,45	6,93	15,06	17,72	16,31	13,38	13,38	13,38
4	6,81	8,12	7,16	15,06	19,57	16,78	13,38	15,93	14,68
5	6,81	8,12	7,41	15,06	15,93	15,26	14,21	14,21	14,21
6	6,81	6,81	6,81	14,21	15,06	14,44	13,38	14,21	13,67
7	6,81	6,81	6,81	13,38	37,98	17,82	12,57	13,38	12,89
8	6,17	6,81	6,37	20,53	30,97	23,08	11,78	12,57	12,57
9	6,17	17,73	6,89	18,64	20,53	19,30	11,78	12,57	12,27
10	6,17	6,17	6,17	15,06	24,51	17,47	11,78	11,78	11,78
11	6,17	6,17	6,17	15,06	<u>50,79</u>	33,95	9,52	11,78	10,70
12	6,17	6,17	6,17	33,25	<u>36,77</u>	34,45	9,52	10,25	9,88
13	6,17	6,17	6,17	26,60	<u>33,25</u>	29,60	9,52	9,52	9,52
14	6,17	6,17	6,17	21,50	26,6	23,69	9,52	9,52	9,52
15	6,17	6,17	6,17	19,57	21,5	20,91	9,52	9,52	9,52
16	5,57	6,17	5,84	17,72	19,57	18,79	9,52	60,57	16,72
17	5,57	5,57	5,57	16,81	<u>187,35</u>	42,07	32,1	<u>230,80</u>	53,00
18	5,57	5,57	5,57	<u>145,37</u>	<u>427,13</u>	<u>236,43</u>	53,52	<u>482,17</u>	<u>230,35</u>
19	5,57	5,57	5,57	<u>81,98</u>	<u>245,21</u>	<u>137,12</u>	<u>133,56</u>	<u>354,91</u>	<u>214,75</u>
20	5,57	24,51	10,14	44,21	81,98	59,32	67,94	<u>185,16</u>	<u>111,15</u>
21	10,25	133,56	43,58	32,10	44,21	37,70	41,68	66,44	51,35
22	22,49	52,15	30,03	25,55	32,10	28,74	30,97	41,68	34,79
23	21,50	32,10	25,89	20,53	25,55	22,86	27,67	30,97	28,21
24	18,64	21,50	19,91	19,57	23,49	21,70	24,51	27,67	26,09
25	16,81	<u>711,64</u>	<u>170,85</u>	21,50	26,60	23,16	22,49	24,51	23,45
26	<u>139,42</u>	<u>406,41</u>	<u>239,86</u>	19,57	22,49	21,00	20,53	22,49	21,36
27	77,19	137,46	91,83	17,72	19,57	18,43	18,64	20,53	19,32
28	33,25	77,19	48,99	15,06	17,72	16,28	17,72	18,64	17,82
29	24,51	33,25	28,42	15,06	15,93	15,92	15,93	17,72	17,04
30	20,53	24,51	22,18	15,93	18,64	16,26	15,93	15,93	15,93
31	X	X	X	15,93	18,64	16,87	X	X	X
Média	17,04	60,17	28,71	25,93	52,14	33,98	23,67	59,63	35,48

Anexo 8: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de julho, agosto e setembro de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Julho			Agosto			Setembro		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	29,29	32,12	29,33	50,61	278,87	70,84	29,35	83,29	33,45
2	29,29	37,77	29,41	40,68	160,48	47,49	36,43	<u>835,47</u>	174,50
3	29,29	33,53	29,34	36,43	44,93	39,32	53,44	<u>838,53</u>	94,77
4	29,29	29,30	29,30	36,43	46,35	37,07	49,19	<u>543,77</u>	118,17
5	-	-	-	36,43	43,52	36,67	44,93	117,52	60,59
6	-	-	-	33,60	37,85	36,06	36,43	417,82	49,25
7	29,35	131,27	30,42	29,35	36,43	34,26	33,60	147,57	42,25
8	29,35	39,26	29,52	29,35	36,43	33,60	32,18	216,61	38,68
9	29,35	861,72	196,15	29,35	46,35	32,56	29,35	<u>698,46</u>	41,32
10	47,75	102,96	62,93	29,35	36,43	31,44	29,35	44,93	30,14
11	36,43	50,58	42,72	29,35	33,60	30,84	29,35	366,40	54,29
12	36,43	<u>1192,97</u>	359,70	29,35	170,53	32,00	36,43	375,20	79,45
13	60,49	296,90	91,80	36,43	614,08	110,48	44,93	149,00	74,08
14	44,92	234,61	56,95	33,60	40,68	36,24	36,43	108,95	49,40
15	40,67	228,95	45,57	29,35	40,68	33,81	35,01	40,68	36,75
16	36,43	76,06	39,67	29,35	36,43	31,09	29,35	47,77	34,06
17	36,43	264,34	102,92	29,35	32,18	29,57	29,35	40,68	30,21
18	64,74	538,97	149,17	29,35	35,01	29,65	29,35	32,18	29,38
19	53,41	<u>1133,52</u>	296,52	29,35	36,43	29,55	29,35	32,18	29,45
20	49,17	510,65	75,00	29,35	30,77	29,37	29,35	35,01	29,42
21	44,92	<u>2281,57</u>	283,57	29,35	30,77	29,36	29,35	<u>1479,83</u>	<u>337,04</u>
22	61,91	936,75	171,51	29,35	30,77	29,36	69,07	<u>1174,49</u>	<u>348,67</u>
23	52,00	93,05	59,13	29,35	29,35	29,35	57,70	360,54	121,57
24	47,75	<u>1490,25</u>	189,52	29,35	29,35	29,35	52,02	<u>719,66</u>	88,04
25	53,41	298,31	93,40	29,35	29,35	29,35	42,10	197,86	53,69
26	53,41	121,36	66,82	29,35	30,77	29,37	36,43	701,48	48,41
27	44,92	146,84	51,69	29,35	29,35	29,35	36,43	53,44	40,05
28	43,51	155,34	47,85	29,35	37,85	29,42	33,60	136,11	37,56
29	37,84	64,74	46,46	29,35	30,77	29,37	33,60	104,67	38,81
30	36,43	61,91	39,04	29,35	32,18	29,39	29,35	37,85	34,33
31	36,43	542,28	121,32	29,35	36,43	29,87	x	x	X
Média	42,23	413,38	98,85	31,59	70,48	35,98	37,43	337,93	75,93

Anexo 9: Valores médios diários de vazão mínima, média e máxima observada nos meses de julho, agosto e setembro de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Julho			Agosto			Setembro		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	15,06	15,93	15,15	42,86	64,16	49,97	15,06	15,06	15,06
2	15,06	15,06	15,06	36,46	42,86	39,25	15,06	<u>178,64</u>	39,97
3	15,06	15,06	15,06	31,63	36,46	34,06	27,67	64,95	41,56
4	15,06	15,06	15,06	29,30	31,63	30,27	30,97	39,20	35,18
5	14,21	15,06	14,42	27,04	30,46	28,74	24,51	32,10	27,78
6	14,21	14,21	14,21	24,85	28,16	25,89	22,49	24,51	23,42
7	13,38	14,21	14,16	24,85	24,85	24,85	22,49	23,49	22,64
8	13,38	13,38	13,38	23,78	24,85	24,26	21,50	22,49	22,08
9	13,38	109,28	40,91	23,78	23,78	23,78	20,53	21,50	20,99
10	25,55	37,98	29,66	22,72	23,78	23,57	20,53	22,49	21,16
11	22,48	25,55	24,30	22,72	23,78	22,79	21,50	25,55	22,89
12	22,48	<u>406,41</u>	<u>201,38</u>	21,68	<u>67,23</u>	23,11	22,49	33,25	27,22
13	78,77	174,34	105,55	24,85	<u>107,89</u>	33,06	22,49	33,25	26,26
14	34,40	78,77	51,84	23,78	24,85	23,89	23,49	26,60	24,97
15	30,97	34,41	32,85	22,72	23,78	23,15	23,49	24,51	23,66
16	27,67	30,97	28,95	21,68	22,72	22,16	23,49	23,49	23,49
17	26,60	100,44	<u>44,34</u>	21,68	21,68	21,68	22,49	23,49	23,07
18	<u>102,18</u>	<u>245,21</u>	<u>169,25</u>	20,66	21,68	21,02	21,50	22,49	22,33
19	<u>95,26</u>	<u>569,29</u>	<u>264,60</u>	18,68	20,66	19,51	20,53	21,50	20,97
20	81,97	209,80	<u>119,09</u>	18,68	18,68	18,68	19,57	20,53	20,51
21	40,42	<u>896,83</u>	<u>162,82</u>	18,68	18,68	18,68	19,57	<u>589,38</u>	<u>245,58</u>
22	85,59	<u>491,58</u>	<u>185,05</u>	18,68	18,68	18,68	<u>112,90</u>	<u>1367,92</u>	<u>627,55</u>
23	41,67	83,60	60,52	18,68	18,68	18,68	<u>70,97</u>	<u>189,55</u>	<u>112,56</u>
24	36,77	<u>374,63</u>	72,36	17,71	18,68	18,44	40,43	157,54	<u>91,49</u>
25	44,21	93,56	59,64	17,71	18,68	17,89	27,67	44,21	32,18
26	44,21	67,94	57,42	15,06	17,71	15,98	24,51	34,41	29,62
27	42,93	63,48	52,89	15,06	15,06	15,06	24,51	26,60	25,47
28	35,58	42,94	38,93	15,06	15,06	15,06	23,49	25,55	24,24
29	29,85	35,58	32,32	15,06	15,06	15,06	22,49	23,49	22,84
30	25,55	29,85	28,43	15,06	15,06	15,06	21,50	22,49	22,39
31	27,04	155,07	51,11	15,06	15,06	15,06	X	X	X
Média	36,48	144,37	65,51	22,14	28,08	23,14	27,66	106,01	57,97

Anexo 10: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Outubro			Novembro ^(*)			Dezembro ^(*)		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	29,35	37,85	32,66	29,35	30,77	29,36	-	-	-
2	29,35	53,44	31,17	29,35	30,77	29,36	-	-	-
3	29,35	113,23	31,44	29,35	66,31	31,68	-	-	-
4	29,35	39,26	30,17	-	-	-	-	-	-
5	29,35	632,10	35,72	-	-	-	-	-	-
6	29,35	<u>1904,61</u>	66,04	-	-	-	-	-	-
7	29,35	<u>1538,25</u>	149,54	-	-	-	-	-	-
8	36,43	147,57	54,51	-	-	-	-	-	-
9	33,60	232,50	40,33	-	-	-	-	-	-
10	29,35	42,10	31,12	-	-	-	-	-	-
11	29,35	39,26	29,62	-	-	-	-	-	-
12	29,35	76,18	29,76	-	-	-	-	-	-
13	29,35	43,52	29,69	-	-	-	-	-	-
14	29,35	241,17	42,47	-	-	-	-	-	-
15	29,35	335,68	32,73	-	-	-	-	-	-
16	29,35	138,97	30,17	29,35	62,03	55,53	-	-	-
17	29,35	126,10	30,04	36,43	53,48	43,43	-	-	-
18	29,35	30,77	29,36	33,60	39,27	36,47	-	-	-
19	29,35	29,35	29,35	32,18	37,85	35,24	-	-	-
20	29,35	73,45	29,67	29,35	36,43	33,39	-	-	-
21	29,35	32,18	29,38	29,35	<u>6569,96</u>	388,61	-	-	-
22	29,35	32,18	29,40	69,16	<u>6312,14</u>	400,15	-	-	-
23	29,35	57,75	29,56	49,21	72,02	60,01	-	-	-
24	29,35	36,43	29,44	47,79	<u>4705,36</u>	230,02	-	-	-
25	29,35	162,96	49,80	47,79	56,33	50,09	-	-	-
26	29,35	29,35	29,35	-	-	-	-	-	-
27	29,35	30,77	29,36	-	-	-	-	-	-
28	29,35	29,35	29,35	-	-	-	-	-	-
29	29,35	128,10	31,25	-	-	-	-	-	-
30	40,69	<u>290,03</u>	88,28	-	-	-	-	-	-
31	29,35	64,88	34,75	-	-	-	-	-	-
Média	30,08	261,82	39,53	37,87	1390,21	109,49	-	-	-

^(*) Mês de novembro e dezembro com falhas de coletas dos dados de C_{ss}, devido falha no sensor de turbidez.

Anexo 11: Valores médios diários de vazão mínima, média e máxima observada nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2010 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Outubro			Novembro			Dezembro		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	20,53	21,50	21,24	15,06	15,06	15,06	15,06	15,93	15,44
2	19,57	20,53	19,85	15,06	15,06	15,06	15,06	<u>198,46</u>	28,84
3	18,64	19,57	19,29	14,21	15,06	14,53	33,25	44,21	38,51
4	16,81	19,57	17,72	14,21	14,21	14,21	30,97	33,25	32,41
5	16,81	16,81	16,81	14,21	14,21	14,21	25,55	30,97	28,29
6	16,81	16,81	16,81	13,38	14,21	13,97	19,57	25,55	22,74
7	15,93	<u>59,13</u>	25,68	13,38	13,38	13,38	17,72	19,57	19,19
8	21,50	24,51	23,16	13,38	13,38	13,38	15,06	17,72	16,90
9	21,50	22,49	21,71	12,57	14,21	13,37	15,06	15,06	15,06
10	19,57	21,50	20,67	13,38	14,21	14,12	14,21	15,06	14,92
11	19,57	19,57	19,57	13,38	14,21	13,49	14,21	14,21	14,21
12	18,64	19,57	18,92	13,38	13,38	13,38	14,21	30,97	17,83
13	16,81	18,64	17,55	12,57	13,38	12,90	15,93	19,57	17,14
14	16,81	17,72	17,28	12,57	12,57	12,89	15,06	15,93	15,39
15	17,72	17,72	17,72	12,57	<u>316,68</u>	29,92	14,21	15,06	14,46
16	17,72	17,72	17,72	22,49	26,60	24,09	13,38	14,21	14,16
17	16,81	17,72	17,72	22,49	22,49	22,49	13,38	14,21	13,60
18	16,81	16,81	16,81	20,53	22,49	21,25	13,38	13,38	13,38
19	15,93	16,81	16,81	19,57	20,53	19,82	13,38	75,62	16,15
20	14,21	15,93	14,86	18,64	19,57	18,88	15,93	72,51	20,36
21	14,21	14,21	14,85	18,64	<u>1097,54</u>	62,55	15,93	15,93	15,93
22	14,21	14,21	14,85	23,49	<u>1335,77</u>	<u>144,94</u>	15,06	15,93	15,91
23	14,21	14,21	14,84	17,72	23,49	22,00	15,06	15,93	15,13
24	14,21	14,21	14,83	15,06	<u>21,50</u>	18,88	14,21	<u>196,21</u>	19,72
25	14,21	14,21	14,82	16,81	24,51	20,25	16,81	86,87	22,14
26	14,21	14,21	14,80	20,53	23,49	21,68	16,81	16,81	16,81
27	14,21	14,21	14,79	16,81	20,53	18,02	16,81	16,81	16,81
28	13,38	14,21	13,72	15,06	16,81	16,04	15,06	16,81	16,81
29	13,38	15,06	13,62	15,06	30,97	18,53	15,06	15,93	15,15
30	15,06	15,93	15,53	15,93	20,53	16,97	14,21	15,06	14,96
31	15,06	15,93	15,53	X	X	X	14,21	14,21	14,21
Média	16,61	18,75	17,42	16,07	108,00	23,01	16,57	36,39	18,47

Anexo 12: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2011 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Janeiro			Fevereiro			Março		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	-	-	-	-	-	-	19,27	25,53	21,18
2	-	-	-	-	-	-	19,27	25,53	20,67
3	-	-	-	-	-	-	19,27	29,90	21,52
4	-	-	-	19,27	23,40	21,27	17,27	23,40	20,26
5	-	-	-	19,27	344,14	43,81	17,27	23,40	20,11
6	-	-	-	25,53	323,58	72,91	17,27	23,40	20,16
7	-	-	-	-	-	-	17,27	25,53	20,49
8	-	-	-	39,01	183,44	58,89	17,27	23,40	19,98
9	-	-	-	27,70	53,46	36,99	17,27	29,90	19,10
10	-	-	-	23,40	29,90	27,57	17,27	73,91	19,32
11	-	-	-	21,31	29,90	24,08	17,27	266,56	25,44
12	-	-	-	21,31	<u>256,70</u>	<u>107,92</u>	17,27	21,31	18,30
13	-	-	-	34,40	132,34	51,16	17,27	21,31	18,27
14	-	-	-	23,40	41,36	31,05	17,27	19,27	17,97
15	-	-	-	21,31	34,40	25,41	4,16	48,55	19,81
16	-	-	-	21,31	27,70	22,92	17,27	43,73	18,57
17	-	-	-	19,27	23,40	21,13	17,27	162,05	23,09
18	-	-	-	19,27	23,40	20,42	17,27	560,43	44,25
19	-	-	-	19,27	23,40	20,22	11,60	195,87	20,22
20	-	-	-	17,27	23,40	20,42	17,27	23,40	17,74
21	-	-	-	17,27	23,40	20,17	15,32	279,80	33,44
22	-	-	-	17,27	25,53	20,03	15,32	41,36	18,24
23	-	-	-	19,27	<u>824,39</u>	83,96	17,27	29,90	17,94
24	-	-	-	39,01	243,66	78,07	15,32	560,43	71,59
25	-	-	-	34,40	<u>400,01</u>	67,27	32,13	<u>1049,44</u>	100,72
26	-	-	-	27,70	48,55	35,06	46,13	<u>828,40</u>	174,76
27	-	-	-	23,40	32,13	26,14	34,40	276,48	63,98
28	-	-	-	13,42	29,90	23,03	36,69	<u>493,69</u>	76,74
29	-	-	-	X	X	X	29,90	98,21	34,14
30	-	-	-	X	X	X	25,53	29,89	27,75
31	-	-	-	X	X	X	23,40	46,13	26,72
Média				23,50	133,4	39,99	20,13	174,20	34,60

Mês de janeiro apresentou falhas no sensor de turbidez.

Anexo 13: Valores médios de vazão mínima, média e máxima diária observada nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2011 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Janeiro			Fevereiro			Março		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	13,38	14,21	13,69	18,64	66,44	27,20	23,49	24,51	23,78
2	12,57	139,42	19,86	22,49	22,49	22,49	18,64	23,49	20,81
3	16,81	16,81	16,81	20,53	22,49	21,50	15,93	18,64	17,88
4	15,93	16,81	16,75	17,72	20,53	18,97	15,06	16,81	15,69
5	15,06	15,93	15,55	17,72	46,80	19,44	14,21	15,06	14,74
6	14,21	15,06	14,52	21,50	34,41	23,80	13,38	14,21	13,91
7	14,21	14,21	14,21	20,53	-	27,74	12,57	13,38	12,93
8	14,21	<u>2144,37</u>	117,79	28,76	-	40,95	12,57	12,57	12,57
9	37,98	125,90	53,33	26,60	28,76	27,57	8,81	12,57	10,62
10	28,76	37,98	32,67	23,49	26,60	24,68	8,81	9,52	8,86
11	23,49	28,76	25,97	22,49	24,51	23,13	8,81	16,81	11,55
12	21,50	23,49	22,62	21,50	<u>252,54</u>	78,57	8,81	10,25	9,52
13	21,50	24,51	22,72	33,25	120,26	58,77	8,11	8,81	8,79
14	20,53	22,49	21,73	34,41	36,77	34,88	8,11	8,81	8,52
15	19,57	20,53	19,96	27,67	34,41	31,42	8,11	8,11	8,11
16	16,81	19,57	18,10	24,51	27,67	25,38	7,44	8,11	7,70
17	15,93	24,51	18,36	23,49	24,51	23,83	6,80	7,44	7,00
18	19,57	21,50	20,65	21,50	23,49	22,41	6,80	18,64	10,69
19	19,57	19,57	18,98	18,64	21,50	20,95	7,44	9,52	8,27
20	18,64	18,64	17,80	17,72	18,64	18,10	6,80	7,44	7,09
21	15,92	17,72	17,44	15,93	17,72	16,90	6,80	6,80	6,80
22	15,93	15,93	15,93	15,93	15,93	15,93	6,80	6,80	6,80
23	15,93	15,93	15,32	15,06	207,51	23,80	6,17	6,80	6,34
24	14,21	<u>322,04</u>	23,19	23,49	102,19	29,42	6,17	170,08	19,02
25	22,49	22,49	21,80	25,55	189,55	35,59	11,01	<u>2271,20</u>	89,29
26	20,53	20,53	19,16	29,86	34,41	32,00	36,77	<u>4703,68</u>	<u>1029,10</u>
27	18,64	18,64	18,29	28,76	30,97	30,55	34,41	122,13	49,39
28	23,49	23,49	17,59	24,51	29,86	26,86	41,68	<u>1245,51</u>	142,94
29	83,60	83,60	23,51	X	X	X	-	-	-
30	24,51	24,51	23,23	X	X	X	42,94	72,51	56,10
31	22,49	22,49	21,64	X	X	X	29,86	44,21	37,11
Média	21,22	108,12	23,84	22,94	56,96	28,67	14,78	297,15	56,06

Anexo 14: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de abril, maio e junho de 2011 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Abril			Maio			Junho		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	21,31	46,13	25,31	23,40	162,01	43,51	17,27	95,45	23,26
2	23,40	29,90	26,49	21,31	29,89	23,79	17,27	21,31	18,16
3	21,31	27,70	24,26	19,26	25,53	22,68	17,27	21,31	18,07
4	15,32	103,77	36,64	19,26	25,53	21,34	15,32	19,27	17,98
5	27,70	628,57	73,29	19,26	23,40	20,89	15,32	19,27	16,71
6	19,27	25,53	22,59	19,26	29,89	20,61	15,32	21,31	17,26
7	19,27	81,87	21,24	19,26	23,40	20,14	17,27	<u>357,97</u>	95,77
8	17,27	<u>909,22</u>	56,87	19,26	21,31	19,92	32,13	63,54	44,70
9	21,31	233,96	53,44	19,26	27,69	20,09	23,4	32,13	29,86
10	19,27	25,53	21,10	17,26	211,55	60,43	21,31	27,70	24,20
11	19,27	23,40	20,18	46,12	<u>1099,48</u>	<u>109,62</u>	19,27	25,53	22,12
12	17,27	21,31	19,61	29,89	46,12	36,88	19,27	23,40	20,67
13	17,27	23,40	19,28	25,53	32,12	28,71	19,27	66,10	20,47
14	17,27	<u>1125,03</u>	<u>107,91</u>	23,40	81,85	34,40	17,27	21,31	19,00
15	34,40	84,56	49,90	25,53	55,94	31,87	17,27	21,31	18,61
16	27,70	58,46	35,50	21,31	27,69	25,04	17,27	21,31	18,45
17	27,70	<u>534,3</u>	84,83	21,31	36,68	24,65	17,27	<u>227,53</u>	64,45
18	29,90	68,69	41,42	21,31	27,69	22,96	27,7	53,46	40,28
19	23,40	32,13	28,35	19,26	23,40	21,57	25,53	29,90	27,89
20	23,40	39,01	26,89	19,26	32,12	20,74	21,31	135,26	46,85
21	23,40	240,42	64,27	19,26	23,40	20,69	41,36	<u>407,09</u>	131,48
22	25,53	<u>2,003,17</u>	<u>122,95</u>	19,27	23,40	20,39	32,13	53,46	41,37
23	43,73	<u>1,154,67</u>	<u>122,7</u>	19,27	23,40	20,72	32,13	<u>199,00</u>	57,16
24	32,13	46,13	40,19	19,27	23,40	20,11	34,4	<u>237,19</u>	74,37
25	32,13	36,69	32,98	19,27	23,40	20,09	29,9	84,56	44,71
26	26,60	48,12	38,03	17,27	21,31	19,16	25,53	34,40	30,24
27	27,67	48,12	39,73	17,27	21,31	18,47	23,4	29,90	25,84
28	25,55	27,67	26,32	17,27	29,90	18,64	21,31	27,70	23,71
29	24,51	25,55	25,49	17,27	21,31	18,20	21,31	23,40	22,23
30	24,51	33,25	25,25	17,27	21,31	18,17	21,31	34,40	22,75
31	X	X	X	17,27	21,31	18,3	X	X	X
Média	24,29	165,30	44,43	20,96	74,09	27,19	22,54	81,18	35,95

Anexo 15: Valores diários de vazão mínima, média e máxima observada na bacia experimental de Arvorezinha nos meses de abril, maio e junho de 2011.

Dia	Abril			Maio			Junho		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	26,60	39,20	29,01	25,55	67,94	29,43	10,25	10,25	10,25
2	25,55	29,86	27,59	24,51	25,55	25,46	9,52	10,25	10,07
3	22,49	25,55	23,78	23,49	25,55	23,98	9,52	9,52	9,52
4	18,64	33,25	25,43	23,49	23,49	23,49	9,52	9,52	9,52
5	17,72	70,97	23,36	22,49	23,49	22,94	9,52	9,52	9,52
6	16,81	18,64	17,69	22,49	22,49	22,49	9,52	9,52	9,52
7	15,06	16,81	15,99	21,5	22,49	21,67	9,52	<u>205,23</u>	70,05
8	15,06	122,13	20,69	21,50	21,50	21,50	32,10	54,90	41,63
9	17,72	33,25	20,00	11,78	21,50	15,58	23,49	33,25	27,31
10	16,81	17,72	17,14	11,78	54,90	20,89	20,53	23,49	21,89
11	15,93	16,81	16,30	26,60	<u>451,29</u>	78,31	17,72	20,53	18,96
12	15,06	15,93	15,61	72,51	74,06	73,11	16,81	17,72	17,4
13	14,21	15,06	15,02	39,20	72,51	45,91	15,06	16,81	15,73
14	14,21	<u>586,02</u>	<u>100,07</u>	35,58	45,5	38,72	14,21	15,06	14,76
15	57,71	143,37	81,18	34,41	41,68	36,84	14,21	14,21	14,21
16	45,50	62,02	52,99	30,97	33,25	32,03	13,38	14,21	13,76
17	37,98	143,37	59,85	26,6	30,97	28,35	12,57	122,13	33,38
18	50,79	66,44	56,36	25,55	26,6	26,28	25,55	32,1	27,84
19	36,77	50,79	43,15	23,49	25,55	24,61	22,49	25,55	23,63
20	29,86	36,77	32,74	22,49	23,49	23,04	20,53	30,97	23,6
21	29,86	95,27	48,36	19,57	22,49	21,31	24,51	<u>549,47</u>	<u>165,43</u>
22	22,49	<u>1.800,89</u>	<u>138,98</u>	19,57	19,57	19,57	45,5	116,56	72,51
23	18,64	<u>1.630,27</u>	<u>292,49</u>	19,57	20,53	19,8	42,94	116,56	53,49
24	18,64	42,94	29,53	19,57	19,57	19,57	66,44	<u>280,09</u>	<u>109,8</u>
25	16,81	44,21	27	18,64	19,57	19,01	83,6	198,46	127,91
26	26,6	48,12	38,03	18,64	18,64	18,64	56,3	83,6	71,5
27	27,67	48,12	39,73	17,72	18,64	18,59	37,98	56,3	45,57
28	25,55	27,67	26,32	17,72	17,72	17,72	30,97	37,98	33,78
29	24,51	25,55	25,49	16,81	17,72	17,26	24,51	30,97	27,17
30	24,51	33,25	25,25	10,25	16,81	14,4	23,49	24,51	24,19
31	X	X	X	10,25	10,25	10,25	X	X	X
Média	24,86	178,01	46,17	23,69	43,07	26,8	25,08	72,64	38,46

Anexo 16: Valores médios diários de concentração mínima, máxima e média de sedimentos em suspensão nos meses de julho e agosto de 2011 na bacia experimental de Arvorezinha.

Dia	Julho			Agosto		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----mg L ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----		
1	19,27	34,40	23,16	23,40	76,55	33,51
2	19,27	27,70	21,84	32,13	58,46	45,26
3	19,27	25,53	21,41	27,70	71,29	37,15
4	19,27	23,40	20,26	23,40	34,40	26,57
5	17,27	23,40	19,83	21,31	25,53	22,98
6	17,27	21,31	18,82	19,27	25,53	22,13
7	17,27	21,31	18,58	19,27	23,40	20,98
8	17,27	21,31	18,50	19,27	<u>729,27</u>	<u>149,92</u>
9	17,27	21,31	18,48	<u>29,90</u>	<u>538,02</u>	<u>91,93</u>
10	17,27	21,31	18,90	25,53	34,40	29,35
11	17,27	21,31	19,45	21,31	29,90	25,72
12	17,27	34,40	19,16	21,31	27,70	23,57
13	23,40	98,21	35,59	21,31	25,53	22,34
14	<u>48,55</u>	237,19	97,59	21,31	<u>439,23</u>	71,90
15	27,70	58,46	37,04	25,53	76,55	37,09
16	23,40	29,9	26,50	25,53	51,00	30,98
17	23,40	221,13	82,43	21,31	36,69	25,53
18	39,01	63,54	47,37	19,27	259,98	54,52
19	23,40	29,9	26,87	25,53	48,55	31,71
20	23,40	<u>609,51</u>	<u>170,30</u>	25,53	27,70	25,58
21	32,13	141,14	49,88	-	-	-
22	25,53	32,13	29,58	-	-	-
23	23,40	27,7	25,47	-	-	-
24	21,31	25,53	23,66	-	-	-
25	21,31	36,69	23,21	-	-	-
26	21,31	76,55	26,94	-	-	-
27	19,27	23,4	22,04	-	-	-
28	19,27	208,43	47,93	-	-	-
29	23,40	<u>457,26</u>	<u>115,32</u>	-	-	-
30	29,90	171,16	43,19	-	-	-
31	25,53	46,13	28,16	-	-	-
Média	22,90	93,25	38,63	23,46	136,24	41,44

Anexo 17: Valores diários de vazão mínima, média e máxima observada na bacia experimental de Arvorezinha nos meses de julho e agosto de 2011.

Dia	Julho			Agosto		
	Mín	Máx	Méd	Mín	Máx	Méd
	-----L s ⁻¹ -----			-----L s ⁻¹ -----		
1	21,50	24,51	22,74	39,20	74,06	49,93
2	20,53	21,50	20,70	54,90	64,95	58,73
3	18,64	20,53	19,45	50,79	59,13	54,82
4	18,64	18,64	18,64	40,43	50,79	45,90
5	15,06	18,64	16,98	33,25	41,68	36,49
6	15,06	15,06	15,06	29,86	33,25	31,71
7	15,06	15,06	15,06	26,60	29,86	28,57
8	14,21	15,06	14,42	26,60	<u>2014,95</u>	<u>373,17</u>
9	13,38	14,21	13,94	<u>111,09</u>	<u>3251,65</u>	<u>669,25</u>
10	13,38	13,38	13,38	52,15	122,13	76,71
11	13,38	13,38	13,38	41,68	52,15	46,71
12	13,38	15,06	13,47	33,25	41,68	36,73
13	14,21	19,57	15,70	27,67	33,25	30,24
14	19,57	70,97	44,49	26,60	178,64	50,86
15	42,94	49,45	46,59	41,68	54,90	45,54
16	37,98	42,94	39,79	34,41	48,12	41,13
17	36,77	262,44	106,84	39,20	46,80	43,01
18	<u>52,15</u>	167,97	100,34	36,77	205,23	64,88
19	34,41	56,30	42,63	46,80	59,13	51,57
20	34,41	<u>3399,42</u>	<u>1085,27</u>	37,98	46,80	42,00
21	30,97	<u>1433,07</u>	<u>293,39</u>	30,97	37,98	34,17
22	28,76	35,58	30,90	27,67	32,10	29,29
23	28,76	39,20	33,76	27,67	37,98	33,34
24	27,67	30,97	29,68	32,10	35,58	33,32
25	22,49	27,67	24,69	30,97	53,52	36,33
26	21,50	29,86	22,92	26,60	34,41	30,88
27	20,53	49,45	24,13	25,55	26,60	26,17
28	26,60	74,06	44,52	25,55	463,55	87,64
29	36,77	<u>1118,86</u>	<u>282,50</u>	49,45	386,07	110,25
30	<u>88,53</u>	469,72	179,85	42,94	90,20	59,82
31	48,12	86,87	57,48	28,76	42,94	35,44
Média	27,27	247,40	87,18	38,04	250,00	77,24

Anexo 18: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 22.03.10.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,5	0,0	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,4	0,0	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Anexo 19: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 24/07/2010.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,7	0,5	3,5	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,6	0,5	3,5	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Anexo 20: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 12/08/10.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,6	0,0	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,35	0,0	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

(a) Valores medidos no campo

(b) Valores estimados

(c) Valores retirados da literatura

Anexo 21: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 07/10/2010.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,60	0,0	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,35	0,0	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

(a) Valores medidos no campo

(b) Valores estimados

(c) Valores retirados da literatura

Anexo 22: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 22/04/2011.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,50	0,0	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,4	0,0	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Anexo 23: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 11/05/2011.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,60	0,3	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,5	0,3	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura

Anexo 24: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 17/06/2011.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,70	0,5	1,8	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,6	0,5	1,8	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

(a) Valores medidos no campo

(b) Valores estimados

(c) Valores retirados da literatura

Anexo 25: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 20/07/11.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,70	0,5	3,5	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,6	0,5	3,5	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

(a) Valores medidos no campo

(b) Valores estimados

(c) Valores retirados da literatura

Anexo 26: Dados de entrada de vegetação, superfície e solo para camada 1 associados a variabilidade do uso e manejo do solo para o evento 08/08/2011.

Uso	Ksat 1	ThetaS 1	PS1	Theta 1	n	Cover	CH	LAI	D50	Coh	Coah	AS
Mata Nativa	100,0	0,59	1,08	0,41	0,10	1,0	6,0	2,9	40,0	12,4	10,0	200,0
Pastagem	100,0	0,56	1,32	0,39	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0
Fumo CM	100,0	0,58	1,16	0,41	0,16	0,60	0,0	0,0	40,0	7,2	1,0	66,0
Fumo CT	100,0	0,56	1,11	0,39	0,09	0,35	0,0	0,0	60,0	3,0	1,0	66,0
Açude	100,0	0,56	1,32	0,56	0,15	1,0	0,5	4,0	45,0	35,5	6,0	200,0

CT= Cultivo tradicional; CM= cultivo mínimo; Ksat1= condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); THETAS1= porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); PSI1= potencial matricial na frente de molhamento (cm); THETAI1= umidade antecedente ao evento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); n= coeficiente de Manning para bacia vertente; Cover= fração vegetada; CH= altura de planta (m); LAI= índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$); D50= mediana da fração granulométrica (μm); Coh= coesão do solo (kPa); Coah= coesão adicional por raízes (kPa); AS= estabilidade de agregados (número médio de gotas).

^(a) Valores medidos no campo

^(b) Valores estimados

^(c) Valores retirados da literatura