

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

**PERDAS DE ÁGUA E SEDIMENTO DE BACIAS
PAREADAS DE ORDEM ZERO SOB PLANTIO
DIRETO COM E SEM TERRAÇO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ana Lúcia Londero

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**PERDAS DE ÁGUA E SEDIMENTO EM BACIAS
PAREADAS DE ORDEM ZERO SOB PLANTIO DIRETO
COM E SEM TERRAÇO**

Ana Lúcia Londero

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Conservação do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Jean Paolo Gomes Minella

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Londero, Ana Lúcia

PERDAS DE ÁGUA E SEDIMENTO DE BACIAS PAREADAS DE
ORDEM ZERO SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO / Ana
Lúcia Londero.-2015.

157 p.; 30cm

Orientador: Jean Paolo Gomes Minella
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015

1. Bacias hidrográficas de ordem zero 2. Erosão do
solo 3. Terraceamento 4. Escoamento superficial 5.
Sistema plantio direto I. Gomes Minella, Jean Paolo II.
Título.

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

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

**PERDAS DE ÁGUA E SEDIMENTO EM BACIAS PAREADAS DE
ORDEM ZERO SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO**

elaborada por
Ana Lúcia Londero

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

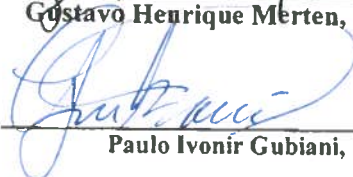
COMISSÃO EXAMINADORA:



Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Gustavo Henrique Merten, Dr. (UMN - EUA)



Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de Julho de 2015.

À minha família,
Pelo apoio e incentivo perante essa caminhada.

in memoria,
Meu avô Nelson Wommer,
Grande incentivador dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me iluminou nessa jornada da minha vida, guiando-me pelo caminho do bem, da honestidade e aprendizado.

À minha família, meu porto seguro; aos meus pais, que sempre me apoiaram em minhas decisões e me deram força para continuar os meus estudos; ao meu irmão, meu grande amigo e companheiro, grande incentivador das minhas escolhas; à minha avó, pelo carinho, incentivo e cuidados durante a minha caminhada; também vocês, Lucas e Aline, pela grande parceria e amizade; também ao meu namorado, Ronaldo, pessoa especial que eu encontrei nessa jornada e foi um grande incentivador e apoiador para realização desse trabalho.

Ao professor e orientador Jean Minella, pelo apoio e dedicação, pelos seus ensinamentos e ajuda nas tomadas de decisões e compreensão perante tantas dúvidas diárias, sempre disposto à acolher a todos em sua sala. Pessoa de extrema cumplicidade e competência, e acima de tudo um amigo. Meu muito Obrigado!

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino de qualidade e abertura e disponibilidade do seu espaço físico para desenvolvimento do meu trabalho.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós Graduação, pelas boas relações durante esse período de amizade.

Aos funcionários da FEPAGRO Sementes de Júlio de Castilhos, pelo companheirismo, dedicação e apoio para realização da instalação e do monitoramento do experimento.

À FAPERGS pela concessão da bolsa de estudo e ao Projeto Mais Água pelo apoio financeiro para desenvolvimento do projeto.

Aos meus familiares e amigos que sempre demonstraram apoio e me incentivaram nessa jornada de estudos.

Aos colegas do Laboratório de Física pelos bons momentos vividos durante esse período, pelas risadas, ensinamentos, conversas, conselhos e apoio na realização das atividades.

Meu agradecimento especial aos “Caçadores de Chuva”, esse grupo que virou minha segunda família, grandes amigos e irmãos, sem vocês eu não teria conseguido realizar esse trabalho que é fruto de todo nosso esforço e dedicação conjunta. Em especial ao colega Alexandre Schlesner pela elaboração dos mapas. Também pelos colegas que deixaram o grupo por algum motivo, mas contribuíram para realização desse trabalho. Muito Obrigado!

“Se quisermos que a glória e o sucesso acompanhem nossas armas, jamais devemos perder de vista os seguintes fatores: a doutrina, o tempo, o espaço, o comando, a disciplina.”

(Sun Tzu)

RESUMO

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

PERDAS DE ÁGUA E SEDIMENTO EM BACIAS PAREADAS DE ORDEM ZERO SOB PLANTIO DIRETO COM E SEM TERRAÇO

AUTOR: ANA LÚCIA LONDERO

ORIENTADOR: JEAN PAOLO GOMES MINELLA

Local da Defesa e Data: Santa Maria - RS, 28 de Julho de 2015.

O sistema plantio direto é uma técnica conservacionista de manejo do solo, que tem como princípios o não revolvimento do solo, a manutenção da palha em superfície, a rotação de culturas e o controle do escoamento. A utilização parcial desses princípios condiciona à degradação do solo e dos recursos hídricos. Pouco se conhece sobre a dinâmica hidrológica e erosiva na escala de encosta e de bacias sob esse sistema de manejo do solo. O presente estudo monitorou as perdas de água e solo em sistema de plantio direto em bacias pareadas de ordem zero com, aproximadamente, 2,4ha, com e sem práticas mecânicas de controle de escoamento superficial. A área experimental está localizada na FEPAGRO Sementes no município de Júlio de Castilhos, região Central do RS. Entre o período de julho de 2014 a março de 2015 foram monitoradas a precipitação, vazão e concentração de sedimentos, durante os principais eventos pluviométricos contabilizando um total de 14 eventos chuva-vazão significativos. Além do monitoramento, também foi realizada a caracterização físico-hídrica dos solos e a infiltração. Os dados foram utilizados para descrever a dinâmica de infiltração de água e da formação do escoamento superficial bem como a perda de sedimentos, a partir da comparação das perdas totais de água e sedimentos evento a evento, e, também, pela análise dos hidrogramas e sedimentogramas de todos os eventos comparando o seu comportamento entre as bacias. Os resultados demonstram que ambas as bacias são altamente responsivas às precipitações mesmo de média magnitude. A bacia sem práticas mecânicas apresentou, em média, 80% a mais de perda de água e coeficiente de escoamento, em média, de 11% não conteve o escoamento superficial sendo que na bacia com práticas mecânicas, o coeficiente de escoamento foi menor que 1%. Os eventos de maior magnitude a vazões foram elevadas indicando alta capacidade de desagregação e transporte de sedimentos. Os resultados demonstram a ineficiência do atual sistema produtivo de grãos no controle do escoamento superficial e processos associados (erosão, perda de nutrientes, matéria orgânica e agroquímicos).

Palavras – Chave: Bacia hidrográfica, Escoamento superficial, Erosão, Sistema plantio direto, Terraço.

ABSTRACT

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

WATER AND SEDIMENT LOSS IN BOWLS ORDER PAIRED ZERO UNDER DIRECT PLANTING WITH AND WITHOUT TERRACE

AUTHOR: ANA LUCIA LONDERO

SUPERVISOR: JEAN PAOLO GOMES MINELLA

Defense Place and Date: Santa Maria, July 28nd, 2015.

Tillage is a conservation technique for soil management, whose principles are avoiding soil disturbance, straw maintenance on the surface and crop rotation. Currently, negligence in its use leads to situations of land degradation. Little is known about the hydrological and erosive dynamic in slopes and zero-order basins. The study monitored water and soil loss in mishandled tillage systems in the scope of paired basins of order zero, with and without mechanical practices for runoff control. The plots are located in *FEPAGRO Semente*'s experimental area in the city of Julio de Castilhos, RS Central region. The basin area without mechanical practices is 2.34 ha and with mechanical conservation practices in the form of terraces of 2.43 ha. Rainfall, flow and sediment concentration were monitored during major rainfall events that occurred between the periods of July 2014 to March 2015. The data was analyzed to understand the dynamics of water infiltration and formation of runoff in two ways: comparison of total losses of water and sediment between events, and the comparison of the hydrograph and sedimentograph of a same event between basins. The results demonstrate that the basins are highly responsive to the precipitation and that sediment production is exhausted in the duration of each event. The tillage system without mechanical practice could not contain the superficial runoff whereas in the basin where mechanical practices were used such losses were greatly reduced. For rainfall of larger magnitudes, flow rates were heightened, indicating high sediment production capacity. In the bowl with mechanical practice, construction of terraces resulted in flow rates with higher concentrations of sediment, but did not cause a higher amount of total sediments due to the low volume drained. Soil losses were significant for larger events and with low ground cover.

Key words: Hydrographic basin, Surface runoff. Erosion, Tillage System, Terrace.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenvolvimento do Sistema Plantio direto no Brasil.	30
Figura 2 - Lavoura agrícola mal manejada após evento pluviométrico.....	32
Figura 3 - Faixa de retenção e de culturas, prática vegetativa de conservação do solo.	38
Figura 4 - Série de construção de terraços de base estreita, com arado de três discos..	42
Figura 5 - Série de construção de terraços de base média, com arado de três discos..	43
Figura 6 - Série de construção de terraços de base larga, com arado de três discos..	43
Figura 7 - Variação da capacidade de infiltração em função de uma chuva	47
Figura 8 - Comportamento dos Hidrogramas (a) Bacia Rural e Urbana, (b) Regularização, (c) Variação da duração e intensidade da precipitação, (d) Efeito da forma.	48
Figura 9 - Influência da geomorfologia no escoamento superficial.....	49
Figura 10 - Hidrograma de evento de pluviométrico na bacia pareada de Júlio de Castilhos, RS, indicando as partes que compõe o hidrograma.....	51
Figura 11 - Mapa de localização das bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos.....	54
Figura 12 - Delimitação das bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos/RS.	57
Figura 13 - Mapa de declividade das bacias.	58
Figura 14 - Histogramas de frequências da declividade da bacia pareada com terraço na esquerda e sem terraço na direita.	59
Figura 15 - Fluxo acumulado das bacias pareadas.....	59
Figura 16 - Curvatura geral nas bacias pareadas.....	60
Figura 17 - Faixas de contenção construídas para evitar a saída e entrada de água nas bacias pareadas.....	61
Figura 18 - Planta baixa da calha tipo H.	63
Figura 19 - Calha Tipo H instalada nas bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos, RS.....	63
Figura 20 - Terraço de base média após primeiro evento pluviométrico. Júlio de Castilhos, RS, 2014.....	64
Figura 21 - Semeadura da soja em contorno ao terraço. Júlio de Castilhos/RS, 2014..	66
Figura 22 - Pontos escolhidos para realização dos testes de infiltração de água no solo.	69

Figura 23 - Monitoramento da precipitação. Pluviógrafo	71
Figura 24 - Monitoramento da precipitação. Pluviômetro.....	71
Figura 25 - Monitoramento da descarga líquida. Linígrafo.....	72
Figura 26 - Monitoramento da descarga líquida. Régua linimétrica.	73
Figura 27 - Monitoramento da CSS.....	74
Figura 28 - Monitoramento da CSS. Amostras coletadas.....	74
Figura 29 - Taxa de infiltração de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia ST.	78
Figura 30 - Infiltração acumulada de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia ST.	78
Figura 31 - Taxa de infiltração de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia CT.....	79
Figura 32 - Infiltração acumulada de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia CT.....	80
Figura 33 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 17/07/2014 na bacia ST. .	94
Figura 34 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 na bacia ST.....	96
Figura 35 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 na bacia CT.	96
Figura 36 - Hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 nas bacias ST e CT.	96
Figura 37 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 na bacia CT.	98
Figura 38 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 na bacia ST.....	98
Figura 39 - Hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 das bacias ST e CT.	98
Figura 40 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 na bacia CT.	100
Figura 41 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 na bacia ST.....	100
Figura 42 - Hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 das bacias ST e CT.	100

Figura 43 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 na bacia CT.....	102
Figura 44 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 na bacia ST.....	102
Figura 45 - Hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 das bacias ST e CT.....	102
Figura 46 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 na bacia CT.....	104
Figura 47 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 na bacia ST.....	104
Figura 48 - Hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 das bacias ST e CT.....	104
Figura 49 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 na bacia CT.....	106
Figura 50 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 na bacia ST.....	106
Figura 51 - Hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 das bacias ST e CT.....	106
Figura 52 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 na bacia CT.....	108
Figura 53 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 na bacia ST.....	108
Figura 54 - Hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 das bacias ST e CT.....	108
Figura 55 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 na bacia CT.....	110
Figura 56 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 na bacia ST.....	110
Figura 57 - Hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 das bacias ST e CT.....	110
Figura 58 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 na bacia CT.....	112
Figura 59 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 na bacia ST.....	112

Figura 60 - Hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 das bacias ST e CT.	112
Figura 61 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 na bacia CT.	114
Figura 62 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 na bacia ST.	114
Figura 63 - Hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 das bacias ST e CT.	114
Figura 64 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 na bacia CT.	116
Figura 65- Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 na bacia ST.	116
Figura 66 - Hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 das bacias ST e CT.	116
Figura 67 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 na bacia CT.	118
Figura 68 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 na bacia ST.	118
Figura 69 - Hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 das bacias ST e CT.	118
Figura 70 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 29/03/2015 na bacia CT.	120
Figura 71 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 29/03/2015 na bacia ST.	120
Figura 72 - Hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 das bacias ST e CT.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mensais de precipitação nos últimos cinco anos em Júlio de Castilhos.	55
Tabela 2 – Características fisiográficas das bacias	56
Tabela 3 - Caracterização dos terraços na MCT.....	56
Tabela 4 - Caracterização físico-hídrica das bacias ST e CT.	77
Tabela 5 - Teores de nitrogênio, carbono e matéria orgânica nas bacias ST e CT.....	80
Tabela 6 – Precipitação diária do período de monitoramento.	82
Tabela 7 - Valores mensais da erosividade durante período de monitoramento,	82
Tabela 8 - Monitoramento da precipitação e estágio de cobertura do solo, a cada evento monitorado nas duas bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos.	84
Tabela 9 - Variáveis de vazão de pico e volume total escoado nas duas bacias pareadas, em Júlio de Castilhos.	88
Tabela 10 - Dados do tempo de duração, escoamento superficial e a infiltração aparente.	89
Tabela 11 - Valores da concentração de sedimentos em suspensão e produção total de sedimentos para os eventos monitorados na bacia ST e CT em Júlio de Castilhos.....	91

LISTA DE ABREVIATURAS

FAO	Organização das nações unidas
SPD	Sistema plantio direto
IBGE	Instituto Brasileiro de geografia e estatística
IAPAR	Instituto agrônômico do Paraná
FEBRAPDP	Federação Brasileira de plantio direto e irrigação
MDE	Modelo numérico de elevação
MDD	Modelo digital de declividade
EI30	Erosividade
SINDA	Sistema integrado de dados ambientais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
LABCEN	Laboratório de Biotransformações de Carbono e Nitrogênio
SC	Sistema convencional
GPRH	Grupo de pesquisa em recursos hídricos
PPt	Precipitação
ST	Sem terraço
CT	Com terraço
Q	Vazão
C	Coefficiente médio de deflúvio
I	Precipitação máxima
A	Área
MS	Massa de solo seco
V	Volume
PT	Porosidade total do solo
Psat	Peso do solo saturado
H	Altura do anel
H lam	Altura da lâmina
Ksat med	Condutividade hidráulica saturada média das amostras
Psec	Peso do solo seco
Ksat	Condutividade hidráulica saturada
CTC	Capacidade de troca de cátions
P	Fósforo
K	Potássio
C	Escoamento superficial
CSS	Concentração de sedimento em suspensão
PS	Produção de sedimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
2. OBJETIVO	27
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1 A evolução agrícola e as tendências da conservação do solo	28
3.2 Conservação do solo sob o enfoque do manejo de gleba	35
3.2.1 Erosão hídrica	35
3.2.2 Manejo de gleba.....	36
3.2.3 Terraços.....	39
3.2.4 Erosão em diferentes escalas.....	44
3.3 Hidrologia de encosta	46
3.3.1 Formação do escoamento superficial.....	46
4. MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 Descrição do local, clima e solo da área experimental.....	53
4.2 Caracterização das Bacias	55
4.3 Dimensionamento e construção das estruturas de monitoramento	61
4.4 Dimensionamento e construção dos terraços	64
4.5 Uso e manejo do solo nas bacias pareadas de ordem zero	65
4.6 Parâmetros físicos avaliados.....	66
4.7 Taxa de infiltração de água no solo.....	68
4.8 Monitoramento Hidrossedimentológico.	70
5 RESULTADOS	76
5.1 Caracterização física hídrica e química dos solos.....	76
5.2 Monitoramento da precipitação e cobertura vegetal do solo.	81
5.3 Monitoramento da vazão e variáveis relacionadas.....	85
5.5 Monitoramento da concentração de sedimento em suspensão e variáveis relacionadas	90
5.5. Análise dos hidrogramas e dos sedimentogramas.....	92
6. DISCUSSÃO	122
6.1 Caracterização fisiográfica e físico-hídrica.	122
6.2 Perdas de água e de solo	125
6.3 Comportamento da vazão e da concentração de sedimentos.....	126
6.4 Sistema plantio direto vs. semeadura direta.....	127
7. CONCLUSÃO	130
8. CONSIDERAÇÕES GERAIS	131
REFERÊNCIAS	133
ANEXOS	143

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional pressiona os recursos naturais de forma intensiva, e da mesma forma é evidente a tentativa de alternativas para o desenvolvimento de um sistema produtivo agrícola com menor impacto ao solo, aos recursos hídricos, à atmosfera e à biodiversidade. Sendo assim, o desenvolvimento do pensamento e tecnologias conservacionistas na evolução dos sistemas produtivos é uma demanda clara para as pesquisas na interface da ciência rural e ambiental. Segundo dados da FAO (2015), a população mundial até 2050 atingirá 9 bilhões de habitantes, exigindo uma mudança significativa no padrão de consumo (segurança alimentar) e no controle das forças antrópicas sobre os recursos naturais (solo, água, atmosfera e biodiversidade). Por conta disso, surge nas últimas décadas o advento da agricultura conservacionista capaz de aumentar a produtividade e, também, manter o equilíbrio geral do sistema produtivo e ambiental.

O Brasil é considerado pioneiro na implantação de práticas conservacionistas, com destaque ao sistema plantio direto, o qual começou a ser implementado pelos produtores no estado do Paraná no final década de 60 (LANDERS, 2005). Isso ocorreu devido à necessidade de controlar as elevadas perdas de solo em áreas agrícolas manejadas sobre o sistema de cultivo convencional. O sistema plantio direto (SPD) ganhou destaque, como uma técnica conservacionista para maximizar a função do solo tanto no ponto de vista agrícola como ambiental. Apesar da sua ampla adoção entre os produtores rurais, que chega a 32 milhões de ha no Brasil (FEBRAPDP, 2014), a maioria das áreas cultivadas sob SPD está aquém do seu propósito de mitigar os problemas de degradação do solos e da água. Nos últimos 15 anos tem ocorrido uma gradativa e intensa desmotivação e negligência aos princípios conservacionistas do solo. Isso tem causado a redução da taxa de infiltração de água e aumento no escoamento superficial, associado com a perda de solo, nutrientes e agroquímicos, e, conseqüentemente, no aumento das enchentes, assoreamento, poluição dos recursos hídricos e na redução da recarga de água no solo e nos aquíferos.

Isso pôde ser evidenciado num estudo conduzido por Didoné et al. (2014) em duas grandes bacias hidrográficas no planalto do RS. Nesse estudo, o impacto da agricultura foi avaliado pelos volumes de escoamento e produção de sedimentos numa bacia sob plantio direto de 800km². Esse estudo indicou que a produção de sedimentos e a erosão são significativas e que pode estar relacionada com a dinâmica hidrológica das encostas agrícolas sobre SPD. Entretanto, muito pouco se conhece sobre a dinâmica hidrológica e erosiva na escala de encosta

ou bacias de ordem zero. A conexão entre o conhecimento entre o que observa-se na escala de grandes bacias e aquilo que já se tem muito bem documentado na escala de parcelas ($< 100 \text{ m}^2$) é muito importante, já que os mecanismos de formação do escoamento superficial e da erosão são fortemente afetados pela escala. É necessário então, avaliar o comportamento hidrológico observado num sistema de produção agrícola intensivo com adoção parcial dos princípios conservacionistas, especialmente, pela ausência de práticas mecânicas de controle de escoamento.

No Brasil, os trabalhos que abordam esse contexto são escassos, apesar da enorme importância dessa atividade para a economia, sociedade e meio ambiente. Pouco pouco se sabe sobre o comportamento hidrológico de uma encosta e o efeito das práticas mecânicas complementares no controle do escoamento superficial nesta escala. Os estudos tem sido direcionados para pequenas parcelas ($< 77 \text{ m}^2$) (ELTZ et al., 1984; COGO et al., 2003; BERTOL et al. 2007) e bacias hidrográficas agrícolas e florestais de pequeno e médio porte, (FAYOS et al., 2006; THOMAZ e VESTENA, 2012; MINELLA et al., 2014). Para a compreensão dos processos de forma mais eficiente, desde a parcela até a bacia hidrográfica, falta estudo na escala intermediária, envolvendo comprimentos de rampa maiores com a inclusão da forma das encostas, que gera um comportamento distinto daqueles observados nas parcelas ou nas bacias maiores.

A abordagem de estudos na escala de encosta representa os processos hidrológicos e erosivos existentes na situação próxima ao interesse do produtor rural e, fundamental, para a compreensão do fenômeno como um todo, já que nas encostas ou bacias de ordem zero é onde ocorre o processo inicial e intermediário da formação do escoamento e dos processos erosivos.

Baseado nesse contexto, essa dissertação de mestrado procurou monitorar as perdas de água e de solo em áreas agrícolas sob sistema de plantio direto na escala de encostas (bacias pareadas de ordem zero), com e sem práticas mecânicas de controle de escoamento superficial para compreender a dinâmica dos agentes erosivos. A partir desses dados, procurou-se investigar a dinâmica da infiltração, formação do escoamento superficial e dos processos erosivos durante eventos significativos de chuva-vazão durante um ciclo produtivo. Essa abordagem tem como propósito gerar informações para um melhor planejamento de uso e manejo do solo no contexto do atual sistema plantio direto. Além disso, tem o propósito científico de descrever o padrão temporal da formação do escoamento e mobilização de sedimento durante os eventos na unidade geomorfológica conhecida como bacias de ordem zero na condição do atual sistema plantio direto.

2. OBJETIVO

Compreender a dinâmica e a magnitude da perda de solo e de água em encostas cultivadas sob sistema de plantio direto com e sem medida mecânica de controle do escoamento superficial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A evolução agrícola e as tendências da conservação do solo

A agricultura mundial em meados da década de 60 e 70 sofreu um ciclo de avanços tecnológicos pós Guerra, que ficou conhecido como a Revolução Verde. Isso ocorreu devido à necessidade de aumentar a produção de alimentos em países em desenvolvimento e resolver mundialmente o problema da fome que continua até os dias atuais.

Principalmente este aumento ocorre em continentes em desenvolvimento como África, Ásia, América do Sul e Caribe onde além do aumento da população, a dieta das pessoas mudou. Segundo dados da FAO, para 2050 a população mundial será de nove bilhões de habitantes, o que está impulsionando a necessidade de um novo modelo de agricultura, mais sustentável, que promova uma maior eficiência no uso dos recursos naturais, principalmente água, energia e o solo (FAO, 2015). Essa preocupação em melhorar o sistema de produção está vinculada ao forte impacto que o sistema agrícola gera aos recursos naturais (solo e água), como o aumento das taxas de erosão do solo e perdas de água, que está sendo contaminada com agroquímicos e fertilizantes, os quais causam sérios problemas ambientais (BERTOL et al., 2007). Além disso, o sistema agrícola contribui para o aquecimento global. Segundo os dados da FAO (2013) houve um aumento de 1,6 % ao ano na emissão de gases do efeito estufa, sendo os principais responsáveis, a atividade pecuária e o uso de fertilizantes.

No Brasil o desenvolvimento agrícola foi impulsionado pela necessidade de produção de alimentos e biocombustíveis. A chegada dos imigrantes europeus na década de 50 e 60, impulsionou de forma rápida a expansão da fronteira agrícola passando de 800 mil hectares em 1969, para 4 milhões em 1977 (AMADO e ELTZ, 2003). Essa evolução na abertura de novas áreas e implantação de cultivos foi intensa durante os últimos anos no Brasil. Segundo dados do IBGE (2013), a área semeada com cereais, leguminosas e oleaginosas chega a 53 milhões de hectares, o que representa um incremento de 8,4 % em relação a 2012. O Brasil é considerado o “celeiro da produção agrícola”, sendo altamente competitivo no mercado internacional e líder na exportação da cultura da soja.

Entre as décadas de 70 e 90, a agricultura seguia o modelo dito sistema convencional (SC) com revolvimento intenso do solo, prática de domínio dos imigrantes europeus. Baseava-se no revolvimento do solo para o controle de plantas invasoras, aumento do contato solo

semente e incorporação dos resíduos culturais; no entanto, o solo permanecia desprotegido e mais suscetível aos processos erosivos. Isso conduziu a elevadas perdas de solo, onde para cada tonelada de produto produzido eram perdidas 10 t ha⁻¹ de solo (AMADO e ELTZ, 2003; JUNIOR et al., 2012), além da redução na produtividade. Essa situação, de elevada degradação, motivou a adoção de um sistema de cultivo conservacionista apropriado para a região subtropical característica do sul do Brasil.

No Brasil o sistema plantio direto foi introduzido por alguns produtores nos anos 70, mas ele demorou cerca de 20 anos para ganhar espaço no meio agrícola, o que pode ser demonstrado na Figura 1 que ilustra o histórico da evolução do sistema plantio direto. Isso se deu graças ao desenvolvimento de máquinas apropriadas para a semeadura na palha e o desenvolvimento do agroquímico Paraquat, para controlar as plantas invasoras (JUNIOR et al., 2012). O IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná) foi pioneiro em desenvolver pesquisas para estudar a eficiência do sistema em áreas agrícolas e verificou que o sistema chegava controlar em até cinco vezes mais as perdas de solo em relação ao convencional, onde as perdas eram de 15 t ha⁻¹ (JUNIOR et al., 2012). O sistema é um novo paradigma na evolução de fazer agricultura, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Como um modelo a ser seguido, esse sistema apresenta princípios fundamentais que devem ser observados: evitar o impacto da gota de chuva, aumentar a estabilidade de agregados pela adição de biomassa, maximizar a infiltração, e controlar o escoamento superficial. As práticas de manejo para tanto dependem do local e das características do agricultor e envolvem, por exemplo, manter o solo permanentemente coberto; evitar práticas de preparo do solo com revolvimento excessivo; rotação de culturas com espécies que produzem uma boa quantidade de matéria seca e com sistema radicular agressivo; evitar a compactação; plantar em nível; e controlar e conduzir o excesso de escoamento.

Atualmente no Brasil, cerca de 32 milhões de hectares são cultivados com sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2014). Porém, ocorre uma diversidade de variantes praticadas, desde um sistema pobre que explora apenas a semeadura direta até sistemas complexos e eficientes tal como o sistema de plantio direto tal como preconizado. Na maioria dos casos eles são caracterizados pela ausência ou mínima mobilização do solo, muito embora existam avanços para melhorar a produtividade das culturas, o sistema está aquém dos princípios fundamentais preconizados pelo sistema, o não revolvimento do solo, uso de coberturas mortas e a rotação de culturas, três pilares fundamentais da adoção do sistema plantio direto, para evitar o escoamento superficial em áreas agrícolas.

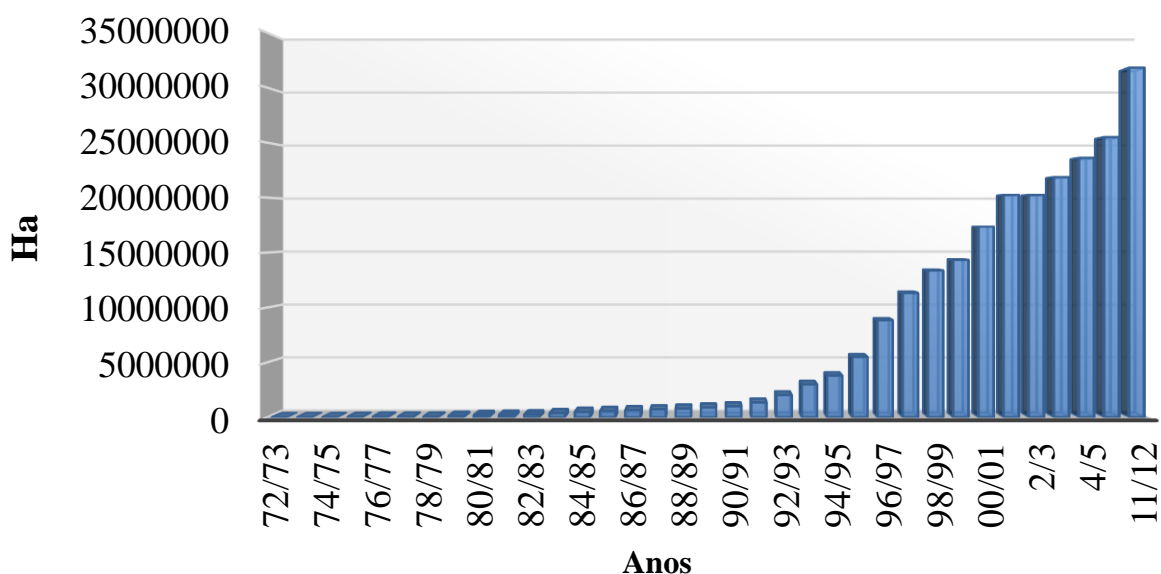


Figura 1 - Desenvolvimento do Sistema Plantio direto no Brasil. Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha e CONAB, 2012.

O sistema plantio direto foi desenvolvido como uma prática conservacionista para proteger o solo do impacto da energia cinética da gota de chuva, aumentar a estabilidade de agregados e a capacidade de infiltração de água no solo pela adição de fitomassa, para controlar o escoamento superficial e reduzir a erosão do solo. Estudos na escala de parcelas ($> 77 \text{ m}^2$) testaram a eficiência dos dois sistemas de cultivo, convencional e o plantio direto, onde os resultados apontaram uma redução na perda de solo, água e nutrientes no SPD, o que fomentou a consolidação do sistema e a sua adoção pelos produtores rurais (Instituto Agrônômico do Paraná, 1981; BERTOL et al., 2007; DENARDIN et al., 2008). Segundo Raczkowski et al. (2009) comparando o sistema convencional (SC) e o plantio direto durante seis anos para variáveis de perda de solo e escoamento superficial, em rotação milho-soja, pode-se verificar uma redução de 33% no escoamento superficial no SPD e para perdas de solo de $74,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $2,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no SC e SPD respectivamente. Segundo Kurothe et al. (2014), nas regiões semiáridas e subtropicais da Índia, foram avaliados quatro sistemas de cultivo durante onze anos sob condições de sequeiro, pode-se observar uma redução na perda de solo de 37,2% e do escoamento superficial de 16,2% do SPD em relação ao PC.

A adoção do SPD contribui para presença de palhada em áreas agrícolas e aumenta a rugosidade superficial, a estabilidade dos agregados do solo e impede a desagregação das partículas pelo impacto das gotas de chuvas, o que se espera resultar em maiores taxas de infiltração e diminuição no escoamento superficial durante eventos pluviométricos. Essa

confiança no sistema estimulou os produtores rurais a retirar parcialmente ou totalmente os terraços de suas lavouras, com expectativa que o SPD pudesse conter o problema da erosão do solo isoladamente (CAVIGLIONE et al., 2010). Outro fator que motivou a retirada dos terraços é a maior facilidade operacional durante o uso de máquinas e implementos agrícolas (DE MARIA, 1999).

O sistema plantio direto atualmente praticado pelos produtores em áreas agrícolas, não está sendo conduzido na totalidade das práticas preconizadas pelo sistema. Isso pode ser evidenciado pela baixa cobertura de resíduos que fica depositada nas áreas após a colheita, inexistência de rotação de culturas com predominância do monocultivo de soja, milho e trigo, muitas áreas com longo período de pousio entre um cultivo e outro, resultando na redução da fertilidade, perda de produtividade, além da diminuição da capacidade de infiltração de água no solo, que resulta no aumento da erosão (DERPSH et al., 2014). Mas, Merten (2015) relata que mesmo sem práticas de controle de escoamento, o SPD é mais eficiente no controle da erosão do solo em comparação com o sistema convencional.

As precipitações intensas e/ou de longa duração são capazes de gerar volumes de escoamento significativos, mesmo em sistema de plantio direto, especialmente aqueles onde a estrutura do solo está depauperada. Isso pode acarretar na mobilização da palhada (COGO et al., 2003) que está depositada sobre o solo, principalmente em lavouras com alta declividade e com longo comprimento de rampa, resultando em perdas de água, solo, nutrientes e matéria orgânica. A retirada dos terraços foi um equívoco, pois não se tem dados científicos que estabeleçam critérios para simples retirada dos terraços em sistemas de plantio direto. Possivelmente, o melhor caminho deveria ter sido o redimensionamento dos tamanhos e distâncias entre os mesmos. O SPD aumenta a micro rugosidade do terreno, o que contribui para aumentar o armazenamento de água; mesmo assim pode não ser suficiente para controlar para aumentar a infiltração e as enxurradas de eventos mais intensos e/ou longos, sendo necessários outros mecanismos para auxiliar nesse processo (SMETS et al., 2008).

Os problemas atuais de degradação dos solos decorrentes da negligência à adoção de práticas conservacionistas tem sido motivo de embates técnicos, especialmente nos anos com variações no regime pluviométrico, seja em anos muito chuvosos ou em anos com estiagens mais longas. Isso porque, é visível que as áreas agrícolas expressam claramente a incapacidade em amortizar o excesso de chuva nos anos mais úmidos ou, então, armazenar água no perfil do solo em períodos de estiagem. O solo tem a função de armazenar água e disponibilizá-la às plantas no período de estiagem e recarregar o aquífero.

Os reflexos negativos das variações climáticas são claros, especialmente, em períodos do ano que o solo se encontra descoberto no pousio entre uma cultura e outra (Figura 2), ou então em períodos de maior demanda de água para a produção da cultura principal que coincide com os períodos de estiagem. Nos últimos anos tem havido a retomada das discussões da importância das práticas mecânicas de controle das perdas de água e solo. Talvez isso tenha sido motivado intensificação da produção comandada pela valorização das commodities e, também, pelos efeitos danosos dos fenômenos La Niña e El Niño.



Figura 2 - Lavoura agrícola mal manejada após evento pluviométrico. Fonte: Grupo de Bacias hidrográficas, 2014.

Apesar da consolidação e adoção deste sistema no Brasil, estima-se que atualmente as perdas de solo atinjam entre 600 a 800 milhões de toneladas por ano, em áreas ocupadas com lavouras e pastagens (HERNANI et al., 2002; MERTEN et al., 2013). A camada superficial que é removida, pela erosão do solo, é rica em fertilizantes e material orgânico, isso ocasiona perda de fertilidade e fomenta a degradação do solo. Isso pode representar um custo de U\$\$ 2,93 bilhões por ano aos produtores para repor os fertilizantes e corretivos que foram perdidos, somado às perdas de produtividade do solo. Além disso, se considerarmos os custos externos (assoreamento, tratamento da água, saúde da população, etc.), esse valor pode chegar a U\$\$ 4,24 bilhões por ano (HERNANI et al., 2002). Essa importância (> U\$\$ 7 bilhões por ano) poderia ser revertida para

a sociedade através da adoção de técnicas já estabelecidas como o uso de terraços e semeadura em nível; rotação de culturas e/ou alta produção de fitomassa; manejo regrado da integração lavoura-pecuária; controle de tráfego de equipamentos; uso de semeadoras com sistema de descompactação superficial; uso consciente de agroquímicos e fertilizantes.

A desestruturação física do solo, aliada à redução da rugosidade (macro e micro), condiciona uma reduzida taxa de infiltração, causando um desequilíbrio hidrológico com o aumento no escoamento superficial. Isso representa um forte impacto na hidrologia e desencadeia processos de degradação do solo e da água (BEYENE et al., 2010; WANG et al., 2011). O cultivo em nível ou perpendicular ao declive do terreno não é utilizado pela maioria dos produtores rurais que priorizam a eficiência na operação de preparo e tratamentos culturais, otimizando o uso das máquinas e da mão de obra ao invés das limitações impostas pelo relevo. Isso significa, em muitos casos, a semeadura no sentido do maior comprimento da área da gleba, que invariavelmente ocorrerá morro abaixo para facilitar a utilização de equipamentos maiores e supostamente economizar combustível. Entretanto, Levien et al. (2011) demonstrou que a semeadura morro acima e morro abaixo e o uso de sulcadores implica num maior consumo de combustível.

O plantio no maior sentido do declive reduz a retenção de água na rugosidade aumentando o volume escoado, acelera a velocidade do escoamento e criando as condições perfeitas para o processo erosivo condicionado pelo escoamento. O sistema plantio direto trouxe grande benefício para o aumento da produtividade e redução das perdas de solo, mas concomitantemente desenvolveu-se uma agricultura baseada no monocultivo, com ausência de rotação de cultura e de práticas mecânicas com semeadura no sentido do declive resultando em perdas de água, solos e nutrientes.

Quando a semeadura e o preparo do solo são realizados em nível, perpendicularmente ao declive, há um aumento da rugosidade superficial decorrente dos sulcos deixados pela semeadora aumentando a lâmina armazenada nas depressões do solo formando barreiras para o escoamento superficial. Porém quando isso é realizado no sentido do declive facilita a formação do escoamento e da erosão. Cogo et al. (2007) encontrou resultados positivos quando utilizou o cultivo em contorno em SPD para um solo arenoso.

SILVA e DE MARIA (2011) realizaram um estudo em SPD com chuva natural em grandes parcelas sobre duas situações de comprimento de rampa (50 e 75m) e dois sistemas de plantio no sentido do declive e em nível. Não houve uma grande variação nas perdas devido ao sistema de plantio, mas houve diferenças significativas em relação aos comprimentos de rampa, onde ocorreu uma redução no escoamento superficial no maior comprimento de rampa. O

plantio em nível associado à estruturas que aumentam a fricção do escoamento (faixa de contenção) ou barreiras mecânicas que armazenem o excesso de água (terraços) reduz as perdas de água, sedimento, nutrientes e agroquímicos pelo escoamento, além de contribuir para aumentar a produtividade e diminuir os custos. Em estudo realizado em parcelas padrão de perda de solo sobre SPD, Amaral et al. (2013) comparou diferentes modos de semeadura, com e sem haste sulcadora, sob diferentes resíduos culturais de aveia preta e milho. Os autores indicaram a importância dos parâmetros físicos do solo, taxa de cobertura, rugosidade e o microrelevo na definição das taxas de erosão do solo e o escoamento superficial. Segundo Levien et al. (2011) os agricultores utilizam a prática de semeadura no maior sentido do declive para otimizar o trabalho e economizar combustível, porém foi demonstrado o inverso em relação ao gasto de combustível. Outro fator negativo é a necessidade aquisição de máquinas agrícolas maiores e mais caras para facilitar o manuseio durante os períodos de preparo.

A dinâmica da água no solo é comandada pelos parâmetros físico-hídricos das diferentes camadas do solo, que comandam a sua redistribuição no perfil e, também, controla o processo de infiltração. A compactação do solo é o resultado do não revolvimento da camada superficial e do excessivo tráfego de máquinas agrícolas com umidade inadequada, o que ocasiona um aumento na densidade do solo, reduz a macroporosidade do solo, afetando a infiltração e a disponibilidade de água para o desenvolvimento de plantas em pequenos déficits hídricos, com sentida redução de produtividade (DENARDIN et al., 2008). Os solos manejados sob sistema plantio direto podem apresentar uma camada compactada na profundidade de 5 - 20 cm que limita o desenvolvimento do sistema radicular e do fluxo de água (SUZUKI et al., 2008; DRESCHER et al., 2011). Segundo Gubiani et al. (2015), a camada superficial do solo compactada pelo sistema SPD pode sofrer uma redução da espessura pela sequência de contração e expansão do solo. Outro fator limitante para a baixa capacidade dos solos agrícolas em infiltrar água, no caso de baixa cobertura vegetal, pode ser consequência do encrostamento superficial que reduz a capacidade de infiltração, ocasionado pelo impacto da gota de chuva que transfere energia cinética causando o selo e crosta superficial (ZONTA et al., 2012). Baseado nisso e nesse contexto, outra demanda importante é o efeito da compactação do solo no atual sistema produtivo (plantio direto ou semeadura sem revolvimento) no regime hidrológico na escala de encostas, condicionando a uma maior perda de água e processos associados.

3.2 Conservação do solo sob o enfoque do manejo de gleba

3.2.1 Erosão hídrica

A erosão do solo é dividida em dois processos: a degradação das partículas de solo e o transporte dessas partículas pelos agentes erosivos. Na primeira fase ocorre o desprendimento das partículas menores e mais leves, como argilas e matéria orgânica pela ação da energia cinética da gota de chuva que também transporta o material desprendido pelo salpicamento e escoamento superficial. O transporte ocorre até o momento que a energia do escoamento seja suficiente para o carregamento do solo desprendido. Quando essa energia termina ocorre uma terceira fase que é a deposição das partículas nas concavidades, convergências, planícies ou fundo de rios (MORGAN, 2005). Os agentes causadores da erosão são a água, o vento, o homem e a gravidade.

A erosão pode ocorrer por processos naturais e condicionados por forças antrópicas, o que resulta, em geral, em erosões aceleradas e com altas taxas. A erosão hídrica se apresenta sob três formas: erosão em entressulco, no qual uma lâmina delgada de água arrasta as partículas desagregadas pelo impacto das gotas de chuva, onde a desagregação e o deslocamento do material se processam superficialmente, sem formar sulcos ou formando sulcos muito rasos; a erosão em sulco ocorre quando o escoamento da água sobre os solos se concentra, intensificando a sua capacidade de desagregação e transporte, forma pequenas “linhas” ou cortes nos terrenos; e a erosão em canal ou voçorocas quando o volume acumulado e a velocidade são em maiores magnitudes aprofundando os sulcos, nesse caso a energia cinética da massa de água é capaz de desagregar as laterais e o fundo dos sulcos. Também pode ocorrer por um processo natural, quando as águas se infiltram no perfil e encontram uma camada impermeável que não podem transpor. Nesse caso, a água desloca-se sobre esta camada lateralmente formando um túnel subterrâneo (*pipes*) e aflorando na encosta, formando sulcos ou valas que aumentam gradativamente.

O entendimento da natureza da erosão, assim como os métodos para controlá-la, somente evolui pela investigação das relações existentes entre os fatores que governam esse processo. Sendo que os fatores que governam a erosão hídrica são: a chuva, dependendo do tamanho e velocidade das gotas; o escoamento superficial, dependendo da sua massa e velocidade; da topografia, dependendo da declividade, comprimento de rampa e forma da encosta; vegetação,

dependendo da cobertura morta e viva; tipo de solo, dependendo da capacidade de infiltração, resistência à desagregação e resistência ao transporte; e ao manejo, que depende das opções de manejo do solo, da cobertura e da gleba que controlarão a adição de matéria orgânica, produção de biomassa e controle dos fluxos hidrológicos.

A erosão hídrica do solo é um processo natural, mas pode ser intensificado pelo mau uso e manejo das terras agrícolas, sendo o principal tipo de erosão que ocasiona a perda de solo no Brasil. As suas consequências resultam na redução da capacidade produtiva do solo, no assoreamento dos cursos d'água e represas e, conseqüentemente o empobrecimento do produtor rural, com reflexos negativos para a economia. O mau planejamento do uso do solo e manejo inadequados em bacias hidrográficas promovem impactos negativos, ambientais e socioeconômicos à sociedade, devido à produção de sedimentos e ao transporte de solutos nos rios (MINELLA et al., 2010; MINELLA et al., 2014, BARROS, 2012). A produção de sedimentos representa a quantidade de sedimentos que é removido para fora de uma bacia hidrográfica ou de uma área, sendo a principal consequência da erosão do solo.

A agricultura causa forte impacto aos recursos naturais (solo e água), devido ao aumento do escoamento superficial, produção de sedimento e transferência de agroquímicos para recursos hídricos, sendo esses processos comuns em áreas agrícolas do RS, resultando em problemas de contaminação da água dos rios, causando desbalanço hidrológico, com períodos de estiagem e enchentes, o assoreamento de reservatórios, entre outros danos.

A solução do problema da erosão depende do entendimento dos mecanismos da transferência de matéria e energia na paisagem e obviamente, de ações para a elaboração de planos de conservação do solo que atendam às especificidades de cada propriedade em função de cada região.

3.2.2 Manejo de gleba

A adoção de práticas conservacionistas complementares para o controle do escoamento, aqui definidas como manejo de gleba, é uma estratégia de controlar o escoamento superficial pelo aumento da fricção do escoamento considerando a geomorfologia e as unidades da paisagem, como os diferentes talhões de terra para os usos agrícola, florestal ou de produção animal, as estradas, e as áreas de preservação (ecologicamente ou hidrológicamente frágeis). O manejo de gleba tem como função reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial

e, conseqüentemente, a capacidade de transporte de sedimento. Além de conduzir o excesso de escoamento até as regiões baixas do terreno de forma controlada evitando a erosão e a transferência de sedimentos, nutrientes e biocidas para os corpos hídricos. O objetivo do manejo de gleba é planejar a ocupação da paisagem de forma a explorar as terras agrícolas de uma maneira mais eficiente do ponto de vista hidrológico, otimizando os fluxos de água em favor do agricultor e da sociedade, melhorando dessa maneira as funções do solo (econômicas, sociais e ambientais) indefinidamente. Nesse tipo de manejo é importante conhecer precisamente a variabilidade espacial do relevo e dos solos para inferir sobre o potencial de infiltração e formação de escoamento, bem como as rotas de transferência de água.

O manejo de gleba faz parte do elenco de práticas conservacionistas, que estão divididas em edáficas (manejo de solo), vegetativas (manejo de cobertura) e mecânicas (manejo de gleba).

O manejo de solo tem como objetivo adequar o solo aos sistemas de cultivo, mantendo a fertilidade do solo e sua superfície com cobertura. Além disso, tem como finalidade incorporar matéria orgânica pelo uso de adubação verde com espécies que acumulem matéria seca em quantidade e qualidade, melhorando as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, realizar a reposição de nutrientes com adubação química e a adubação orgânica, além da calagem para correção da acidez do solo.

O manejo de cobertura tem como objetivo proteger o solo do impacto da gota de chuva, adicionar matéria orgânica, controlar invasoras, reduzir o ataque de pragas e doenças (BERTONI e LOMBARDI, 1998). Além disso, para alimentação de modelos matemáticos é necessário um banco de dados do dossel de culturas, para estimar a variação da cobertura e o seu efeito sobre erosão do solo, para estabelecer planos de manejo (ROLOFF e BERTOL, 1998).

Áreas com baixa fertilidade e suscetíveis a erosão devem ser ocupadas com florestas permanentes, as pastagens devem ser bem manejadas, manter o solo coberto com plantas de cobertura, realizar a semeadura em contorno e também intercalar culturas em faixas, além de cordões vegetados, cobertura morta e a rotação de culturas, como pode ser visualizado na Figura 3. Todas essas técnicas somadas ao manejo de gleba têm como ideal adequar a necessidade de maximizar a produção agrícola de forma sustentável do ponto de vista econômico, ambiental e social a longo prazo.

Importante frisar que, na perspectiva de reduzir o escoamento numa encosta, não há apenas uma única alternativa, como o terraço, existem outras práticas que podem ser utilizadas combinadas ou associadas para conter o problema.

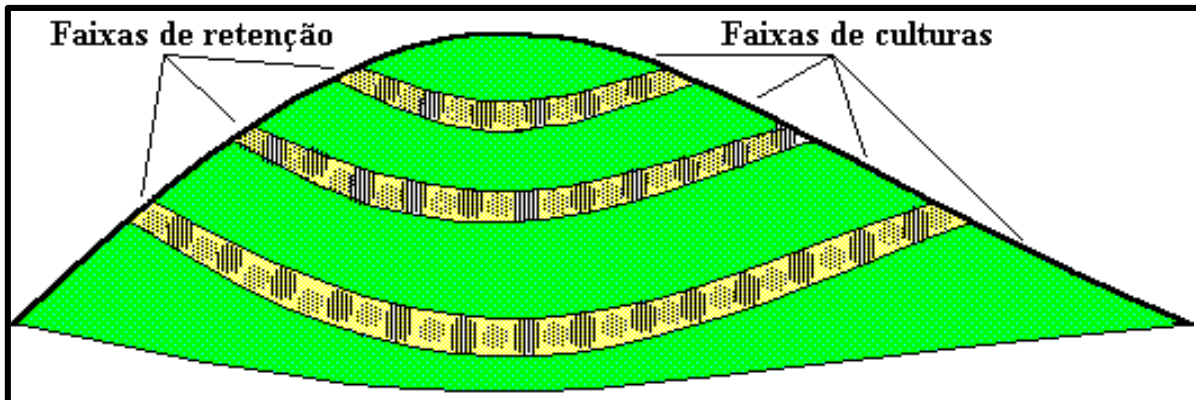


Figura 3 - Faixa de retenção e de culturas, prática vegetativa de conservação do solo.
 Fonte: Apostila de Conservação do Solo (UFSM), BRUM, A.C.R., LOVATTO, T., ELTZ, F., AMADO, T.J.C.

Atualmente com melhoramento genético, as espécies têm arquitetura de planta e ciclos vegetativo-reprodutivos diferentes, isso está adiantando os ciclos das culturas, o que aumenta o intervalo entre um cultivo e outro. Por isso, a importância de utilizar plantas de cobertura nesses intervalos, para aumentar a matéria seca na área, e com isso o aporte de matéria orgânica e a reciclagem de nutrientes, além de amenizar os processos erosivos (MARCELO et al., 2009). As plantas de cobertura quando consorciadas conseguem aumentar a produção de fitomassa, além de reduzir a velocidade da decomposição dos resíduos culturais, em relação a uma espécie, sendo que quando se optar pela semeadura de uma única espécie em cobertura uma boa opção é o nabo forrageiro que produz $8,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de matéria seca (DONEDA et al., 2012).

O manejo de gleba é utilizado para conter o escoamento superficial, reduzindo a energia e a capacidade de desprendimento das partículas assim como o transporte das partículas já desprendidas, através de estruturas artificiais como os terraços e as bacias de acumulação. Essas técnicas devem ser utilizadas associadas no sistema de cultivo para promover o desenvolvimento de um sistema mais conservacionista. Porém as práticas mecânicas como o terraceamento no SPD, têm sido vista por muitos como um empecilho perante as inovações da agricultura.

O terraceamento é uma prática mecânica que compõe o elenco das práticas mecânicas do controle da erosão. Essa prática agrícola é amplamente utilizada no controle da erosão do solo por séculos, no sul Brasil, foi muito importante no desenvolvimento agrícola nas décadas de 1980 e 1990 no SC, o qual apresentava elevadas perdas devido à elevada taxa de escoamento superficial e erosão, sendo que o dimensionamento das seções do terraços tinha como objetivo

conter os volumes de água gerados pela baixa infiltração devido aos processos de selamento e crosta superficial.

Como apresentado anteriormente, com a adoção do SPD essa prática foi gradativamente abandonada pelos produtores. Essa decisão foi tomada baseando-se na possibilidade de que a cobertura morta e a ausência de revolvimento seria suficiente para controlar o escoamento superficial e a erosão hídrica (Martin, 1985). Os agricultores optaram, então, pela retirada dos terraços de suas lavouras e abandonaram outras práticas conservacionistas como a semeadura em contorno, com a confiança de que o sistema SPD conseguiria conter o problema de perdas de água e solo (COGO et al., 2007; PRUSKI, 2009; CAVIGLIONE et al., 2010).

Os principais argumentos relacionados à retirada dos terraços das lavouras estão associados com a facilitação das operações mecânicas nas lavouras como a semeadura, aplicação de agroquímicos e colheita. Atualmente, apesar da consolidação do SPD, surge novamente a percepção da importância de práticas complementares, evidenciado pela perda de solo e água em lavouras (BERTOL et al., 2000; BARBOSA et al., 2012).

A abordagem contemporânea dos efeitos do plantio direto na dinâmica hidrológica e erosiva tem sido pouco explorada no meio científico, especialmente na escala de encostas ou de bacias hidrográficas. É de consenso geral, que há problemas relacionados, especialmente, com a perda de água e que práticas conservacionistas precisam ser retornadas para controlar o escoamento superficial e os problemas associados como a erosão, perda de nutrientes, mobilização de agroquímicos, enchentes, assoreamento, déficit hídrico.

Entendemos que as condicionantes climáticas exigem o aprimoramento do sistema de produção com a inserção do controle do escoamento no SPD, podendo dessa forma avançar em relação às demandas de produção e no controle dos problemas ambientais. Entretanto, de qualquer maneira, é preciso conhecer os mecanismos de formação de escoamento para que possamos indicar a melhor alternativa de controle do escoamento que pode ser o uso de terraços ou outras medidas, as quais devem ser escolhidas em função dos processos e da infraestrutura de cada caso.

3.2.3 Terraços

Os terraços são barreiras mecânicas construídas transversalmente ao declive do terreno para diminuir escoamento superficial, aumentar a infiltração de água e controlar a erosão. Há vários tipos de terraços que podem ser construídos em áreas agrícolas. É necessário determinar

algumas características, como precipitação máxima, características do terreno, tipo e preparo do solo e tipo de cultivo a ser adotado, para seu correto dimensionamento. Além disso, para dimensionar o sistema de terraceamento é preciso definir o espaçamento entre terraços, o volume máximo de escoamento e sua seção transversal (PRUSKI et al., 2006). Existem metodologias para determinar o espaçamento entre terraços, por exemplo, o método de Bentley aquele descrito por Lombardi Neto, que consideram a declividade, tipo de solo, e o uso e manejo do solo.

Importante frisar que os métodos de estimativa do espaçamento de terraços tem sido baseados nos experimentos do IAPAR (RUFINO, 1994), considerando a declividade e a textura do solo e do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (LOMBARDI NETO et al., 1994) que também leva em conta o uso e preparo do solo. Além disso, tem sido utilizado a equação universal de perda de solo revisada (RUSLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978) e no conceito de limite de tolerância de perda de solo (CAVIGLIONI et al., 2010). Na essência, o cálculo das distâncias entre terraços em áreas de plantio direto utiliza a estimativa da perda de solo para definir o valor de comprimento de rampa que causa uma perda de solo compatível com o limite de perda tolerável daquele local. A partir disso, foram derivados os espaçamentos adequados para esse sistema de produção.

Bertol et al. (2000) estabeleceu distâncias entre terraços com base em dois critérios: (1) na capacidade dos canais dos terraços armazenarem água, (2) remoção da biomassa cultural pelo escoamento superficial. No critério 1 o espaçamento foi muito semelhante ao utilizado no sistema convencional e no critério 2 o espaçamento entre terraços triplicou, o que demonstra uma maior resistência de cultivos conservacionistas aos processos erosivos. Mesmo assim o terraceamento deve ser adotado em sistemas conservacionistas, principalmente com rampas longas e diferentes quantidade de resíduos culturais. Em eventos extremos em condições de umidade antecedente, chuvas intensas e de curta duração, o volume de escoamento pode ser muito parecido entre os sistemas. Segundo Kramer et al. (1999) não foram encontradas diferenças significativas entre duas bacias uma com cultivo mínimo e a outra com cultivo mínimo e terraceamento perante as variáveis hidrológicas, em virtude, a utilização de espaçamentos entre terraços fora do padrão recomendado.

Os terraços são classificados em função da sua finalidade, da construção ou forma, a que se apresentam depois de construídos e da base ou largura do movimento de terra. Quanto à finalidade eles podem ser classificados como:

- **Infiltração** – tem a finalidade de reter a água da chuva e permitir a sua infiltração no solo, sendo recomendados para regiões com baixa precipitação e solos permeáveis, O

espaçamento Recomenda-se para solos permeáveis, profundos e com baixo gradiente textural.

- **Drenagem** – tem a finalidade de interceptar e desviar o escoamento superficial das águas da chuva e também conduzir água que excede a capacidade de infiltração do solo, para canais escoadouros naturais ou artificiais, que estão localizados na extremidade do canal. São recomendados para regiões com alta precipitação, com declividade de 6 a 12 % e solos permeáveis.
- **Dupla Finalidade** – tem a finalidade de reunir as características de ambos, permitindo a infiltração da água que o escoamento superficial em excesso seja conduzido para canais escoadores. Recomenda-se para regiões com baixa e alta precipitação e declividade de até 12% e para solos permeáveis, pouco permeáveis ou impermeáveis.

Muito importante considerar a largura da base da construção dos terraços e importante determinar a largura da faixa de movimentação de terra, podendo assim ser classificado:

- **Base estreita:** também conhecido como cordões em contorno, de uso restrito a pequenas lavouras, em terrenos inclinados (Figura 4).
- **Base média:** 3 a 6 m de largura, podendo ser cultivados na maior parte de sua extensão (Figura 5).
- **Base larga:** 6 a 12 m de largura, considerados os verdadeiros terraços, sendo recomendados para lavouras extensas, com declives de até 8% (Figura 6).

Nas Figuras abaixo será apresentado a série de construções dos terraços de base estreita, média e larga, com utilização de um arado de três disco, para o de base média e larga e aconselhável a utilização de um arado de arrasto ou hidráulico de 3 discos, para facilitar a operação (RESCK, 2002).

Nas áreas montanhosas do Mediterrâneo o terraceamento é utilizado para realização da semeadura do trigo, numa região que a precipitação média anual e de 580 mm, onde se tem uma preocupação é manter a água no sistema para viabilizar a produção. Sendo que o estudo comparou duas áreas semelhantes com uma declividade média 2-3% com e sem presença de terraço, pode-se concluir que ocorreu uma redução no escoamento superficial e perda de solo na área com terraços, além de um melhor aproveitamento da água (HAMMAD et al., 2004).

O terraceamento é considerado uma técnica cara de implantação, por isso deve ser considerada as condições locais, como: clima, solo, sistema de cultivo, relevo do terreno e equipamento disponível. A construção mal planejada pode ocasionar o rompimento do terraço que causa impacto e prejuízos na área. Em estudo realizado numa bacia hidrográfica de baixa

capacidade erosiva, foram testados três diferentes espaçamentos propostos por Bertoni, Bentley e Lombardi Neto, para reduzir o custo de implantação, cujos resultados que mostram que o espaçamento de Lombardi Neto é o que possibilita o menor investimento (GRIEBELER et al., 2000).

Para alocação e dimensionamento dos terraços numa área estão sendo utilizados programas, que através de uma base digital geram mapas de elevação (MDE) e declividade (MDD). Para geração do MDE pode ser utilizado o mapa com as curvas de níveis, procedimento que é realizado em um SIG gerando um arquivo no formato *raster*. Através do MDE se consegue gerar o MDD que corresponde à representação da declividade do terreno. Com esses mapas e outros dados de entrada, como o tipo de terraço e o espaçamento que será utilizado, os programas conseguem dimensionar e alocar os terraços na área definida.

Entre os programas conhecidos temos o Terraço 3.0 ou na versão 4.1, os quais foram desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade de Federal de Viçosa (UFV). Eles têm com a finalidade de aperfeiçoar e direcionar de forma eficiente as práticas de conservação do solo, conforme as características da área. Alguns trabalhos desenvolvidos que testaram a técnica mecânica de terraceamento utilizaram o programa, como (CUNHA et al., 2011).

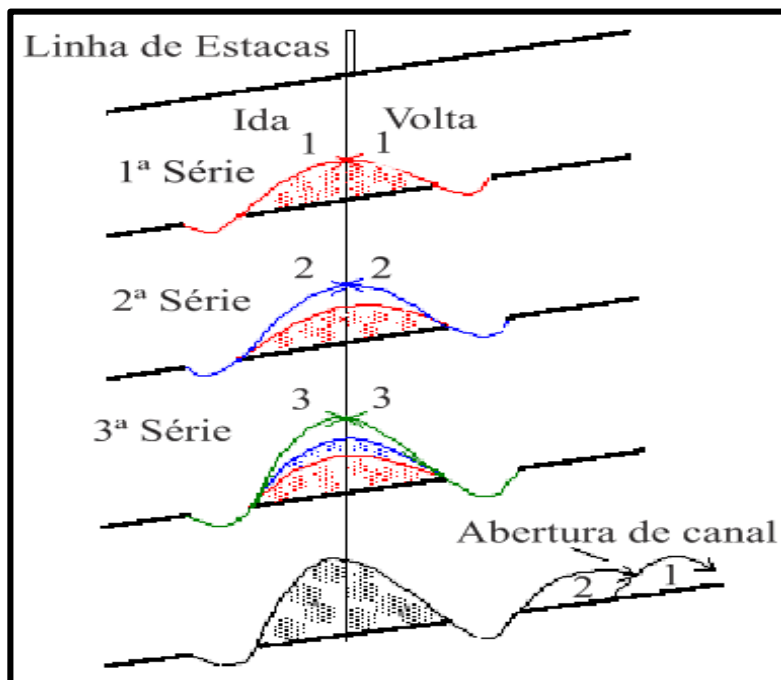


Figura 4 - Série de construção de terraços de base estreita, com arado de três discos. Fonte: BRUM, A.C.R.et al., 2013.

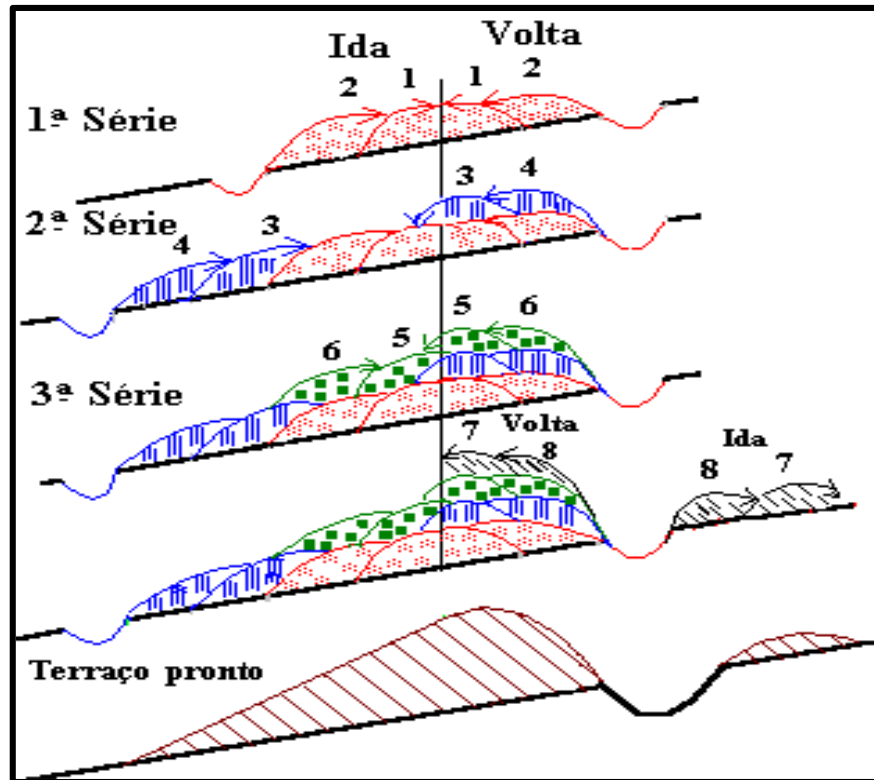


Figura 5 - Série de construção de terraços de base média, com arado de três discos. Fonte: BRUM, A.C.R. et al, 2013.

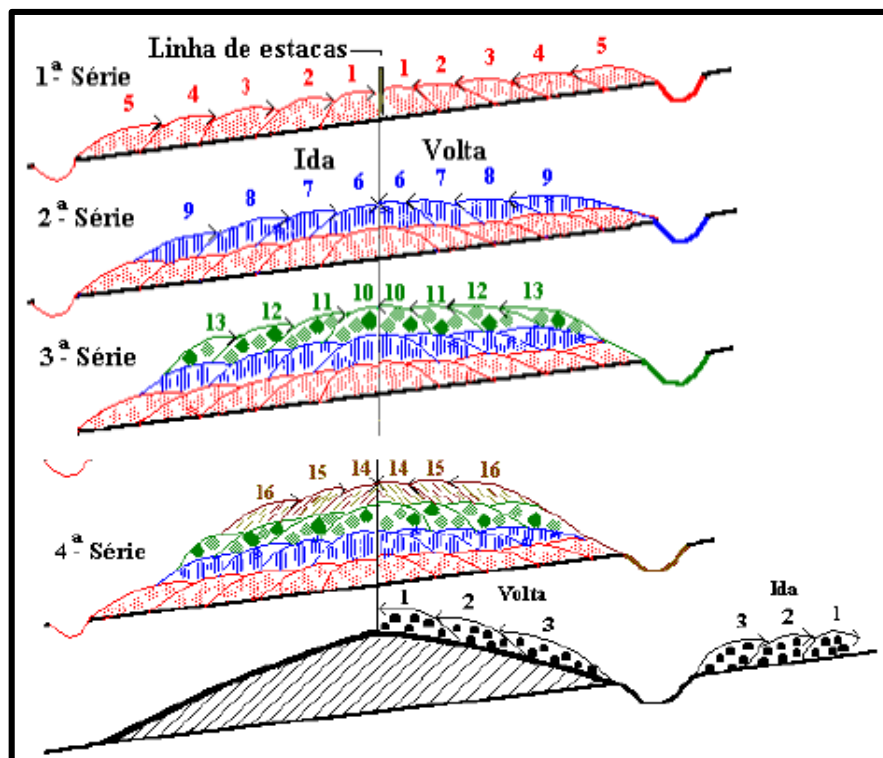


Figura 6 - Série de construção de terraços de base larga, com arado de três discos. Fonte: BRUM, A.C.R. et al., 2013.

Apesar da importância de uma prática mecânica para contenção do escoamento superficial e da perda de sedimento, essa ferramenta conservacionista é pouco utilizada entre os produtores atualmente. Entretanto, frente aos problemas vivenciados é de extrema importância retomar essa discussão para definir novos modelos de contenção do escoamento para suprir as demandas econômicas e ambientais associados a esse processo.

3.2.4 Erosão em diferentes escalas

O estudo de diferentes escalas espaciais possibilita a compreensão dos processos erosivos de forma ampla e eficiente, considerando aspectos científicos e aplicados. No Brasil os estudos de erosão do solo têm sido realizados principalmente em pequenas parcelas (0,5 - 100 m²) com chuvas naturais ou simuladas (MERTEN e MINELLA, 2013), com objetivo de parametrizar os valores de K e C da RUSLE (Equação Universal de Perda de Solo Revisada). Apesar de existirem alguns estudos na escala de pequenas bacias agrícolas e florestais, eles são insuficientes para uma compreensão dos processos erosivos no Brasil (MERTEN et al., 2010; MINELLA et al., 2014).

A necessidade da compreensão dos processos hidrológicos na escala de encosta envolve técnicas de monitoramento em diferentes tamanhos de parcelas com o propósito de medir as perdas de água e de sedimentos para compreender o efeito escala na erosão e propor as melhores práticas para cada caso (BONILLA et al., 2006, MERTEN et al., 2015), apresentam resultados de monitoramento em áreas agrícolas.

No trabalho de Bonilla et al. (2006) é apresentado um estudo com diferentes tamanhos de parcelas, condições de textura, declividade e cobertura na área, para determinar o escoamento superficial, produção de sedimento e a perda de fósforo em áreas agrícolas. Faz-se uma análise crítica do monitoramento que é eficaz na coleta das perdas de água e sedimentos. Em bacias pareadas florestais os resultados demonstram que para precipitação de até 40 mm não ocorreu diferença na perda de água, mas para chuvas maiores a perda é menor na área com melhor cobertura do solo (SURYATMOJO et al., 2013). Em bacias agrícolas a melhoria no uso e manejo do solo também reduzem as perdas de água e sedimento (THOMAZ e VESTENA, 2012).

Outra estratégia para compreender os processos erosivos na escala de bacia é o uso de traçadores capazes de representar as taxas de erosão e deposição, bem como a origem dos

sedimentos, como em Minella et al. (2015). Chartin et al. (2013) realizou um estudo numa encosta agrícola de 3,7 ha na França, para determinar a redistribuição das fontes de sedimento na área e pode concluir que 95% eram oriundas de áreas agrícolas.

Importante frisar que, atualmente grande parte dos estudos com erosão em bacias se baseia em modelos matemáticos, mas nem sempre com uma base em monitoramento robusta o suficiente para dar suporte à complexidade existente nessa escala.

No Brasil, Merten et al. (2015) monitorou as perdas de água e solo em um Latossolo bem drenado em Ponta Grassa (PR) em parcelas de lavouras em diferentes escalas 3,5X11m, 3,5x22m, 50x100m e 100x100m com diferentes cultivos e sistema de preparo. A conclusão foi que o SPD em comparação ao SC, reduziu em 70% as perdas de solo, mas em relação ao escoamento superficial o SPD não foi tão eficiente, sendo recomendado que práticas conservacionistas complementares sejam usadas.

Os dados de perda de água e sedimentos em grandes parcelas ou bacias hidrográficas são importantes para o planejamento de uso e manejo em áreas agrícola, pois informações na escala real são mais efetivas na sensibilização dos entes envolvidos. Uma das questões ainda pouco conhecida é a dinâmica da formação do escoamento superficial e do processo erosivo, no sistema plantio direto, em escala de bacia. A percepção a campo de muitos técnicos e agricultores é que há perdas consideráveis de água e de sedimentos que precisam ser investigadas segundo os conceitos hidrológicos da infiltração, escoamento superficial e produção de sedimentos.

O estudo em bacias de ordem zero inclui os efeitos da geomorfologia, mas mantêm o controle experimental referente ao uso e manejo do solo homogêneo. A hidrologia comparativa através de bacias pareadas é uma estratégia eficiente para isolar o efeito das práticas mecânicas na dinâmica da água e da erosão. Bacias de ordem zero e pareadas, é assim definido, por representar duas áreas com características semelhantes que estão dispostas lado a lado e não possuem fluxo contínuo de água, isso ocorre apenas quando a precipitação pluviométrica excede a capacidade de infiltração de água no solo. Segundo Poesen et al. (1994) os estudos nessa escala são raros, apesar de ser uma estratégia eficiente em compreender os processos hidrológicos que atuam na paisagem sob condições de uso e manejo distintas, sendo uma estratégia eficiente de aquisição de dados e demonstrando novos caminhos para a conservação do solo nesse novo cenário de desenvolvimento agrícola.

3.3 Hidrologia de encosta

3.3.1 Formação do escoamento superficial

A compreensão da formação e propagação do escoamento superficial contribui para descrever os processos de perda de solo e solutos na escala de encosta e bacia hidrográfica (JETTEN et al., 1999; RENSCHLER e HARBOR, 2002; FAYOS et al., 2006), bem como o nível de degradação do solo e a contaminação dos recursos hídricos (POESEN et al., 2006; MONTGOMERY et al., 2007; MAETENS et al., 2012). As características da precipitação, do relevo, tipo de solo, uso e manejo do solo controlam a dinâmica da água na superfície, definindo o escoamento superficial. O processo é basicamente controlado pela infiltração de água no solo em função da intensidade de precipitação pluviométrica ou pela irrigação e, também pela infiltrabilidade do solo que varia em função do tempo. Esse processo é conhecido como escoamento do tipo Hortoniano, ou seja, controlado pela taxa de infiltração. As principais características do solo que controlam o processo são a macroporosidade e o conteúdo inicial de água. No início, quando o solo encontra-se mais seco, a taxa de infiltração é maior e diminui devido ao umedecimento do solo, atingindo um valor constante. Nesse momento, o solo encontra-se quase saturado e a sua capacidade de infiltração é constante (Figura 7) Consequentemente, a precipitação adicional à taxa de infiltração será perdida pelo escoamento superficial. A heterogeneidade física nas camadas do solo, resulta numa descontinuidade do movimento de água no perfil do solo, que também afetam a infiltração e a formação do escoamento superficial.

Sendo assim, a magnitude do escoamento superficial, dependerá da precipitação, da taxa básica de infiltração, e também das características da superfície (relevo e vegetação) que definirá a propagação do escoamento.

Duas teorias são utilizadas para descrever a variabilidade temporal e espacial da formação do escoamento. A primeira delas é o mecanismo hortoniano (HORTON, 1945), que ocorre quando a taxa de precipitação excede a taxa de infiltração do solo, tal como descrito no parágrafo anterior. A segunda são as áreas de afluência variável (BEVEN e KIRKBY, 1979), onde ocorre a saturação do perfil solo por diferentes razões e as precipitações subsequentes ocasionam o escoamento superficial. O controle do escoamento superficial pelo aumento da infiltração tem outras vantagens importantes, como o suprimento de água para o desenvolvimento das plantas, manutenção da vazão de base dos rios e o reabastecimento de aquíferos subterrâneos. Para isso,

é necessário compreender as condicionantes do manejo cobertura (rotação de cultura, adição de fitomassa, etc.), manejo de solo (mínima mobilização do solo, aumento da infiltração, etc.) e o manejo de gleba (aumento da rugosidade, terraços, etc.).

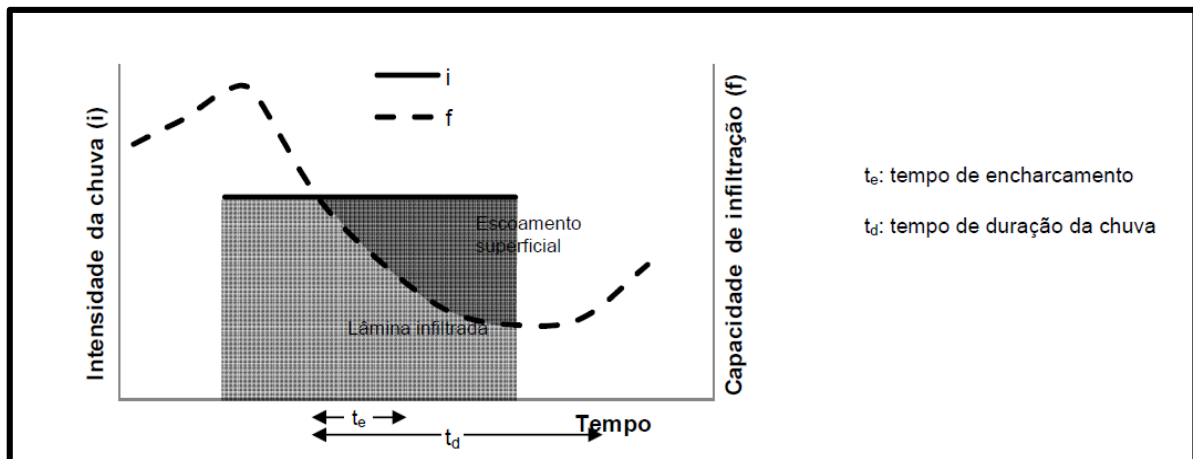


Figura 7 - Variação da capacidade de infiltração em função de uma chuva Fonte: adaptado de Hillel (1980).

Observando agora o mecanismo de propagação do escoamento superficial, vemos que diferentes fatores influenciam na forma dos hidrogramas (representação gráfica da vazão ao longo do tempo) (Figura 8). Esses fatores são de natureza climática (relacionado à precipitação), fisiográficos (ao relevo e aos solos) e decorrentes da ação do homem (uso e manejo do solo) representados na Figura 8.

Como foi apresentado anteriormente, a permeabilidade do solo atua na capacidade de infiltração, quanto mais permeável ele for, maior será a sua velocidade de absorção e quantidade de água que penetrará no solo por unidade de tempo, isso resulta na redução do escoamento superficial. A cobertura vegetal retarda o escoamento superficial em bacias urbanas que sofrem com influência da urbanização na paisagem, isso reduz a permeabilidade e aumenta o escoamento (Figura 8 (a)).

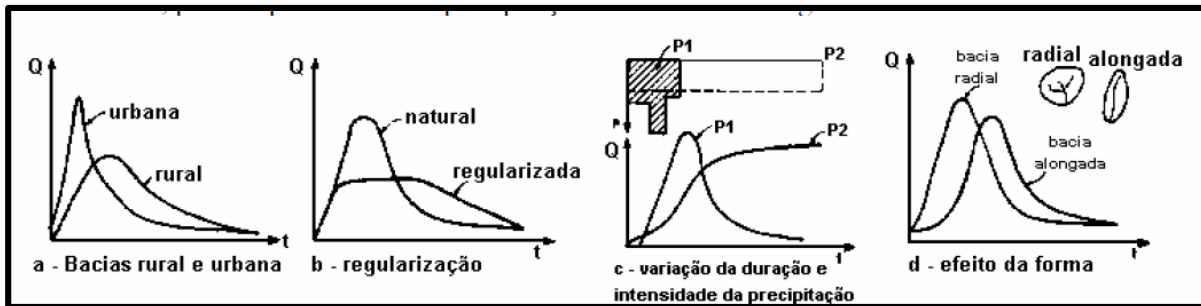


Figura 8 - Comportamento dos Hidrogramas (a) Bacia Rural e Urbana, (b) Regularização, (c) Variação da duração e intensidade da precipitação, (d) Efeito da forma.

Fonte: Tucci, 2004.

A precipitação (Figura 8 (c)) tem um papel importante, pois o excesso de chuva excede a capacidade de infiltração do solo e ocasiona o escoamento superficial. A intensidade da chuva também contribui quanto mais intensa, mais rápido o solo satura e o tempo de duração, chuvas mais longas geram mais escoamento e também precipitação que ocorrem em condições de solo úmido são determinantes na geração do escoamento (Tucci, 2004). Os fatores fisiográficos mais importantes que influenciam no escoamento superficial são a área e a forma da encosta, a permeabilidade do solo e a sua capacidade de infiltração do solo. As bacias circulares ou radiais tendem a aumentar a vazão máxima e concentrar maior volume de escoamento superficial em relação às alongadas (Figura 8 (d)). Isto porque o escoamento no canal principal chega rápido nas bacias circulares ocorrendo cheias e inundações rapidamente (Tucci, 2004).

Outro fator importante na formação do escoamento superficial é a topografia da área. A direção de fluxo e a declividade influenciam na convergência/divergência do fluxo acumulado de água, bem como na aceleração/retardo do escoamento que afetará diretamente o processo erosivo. Portanto áreas com maior declividade o escoamento superficial é mais rápido, e maiores comprimento de rampa e convergência do terreno determinará maior volume de água. Portanto, além da declividade e do comprimento da rampa, a forma das encostas (curvatura no perfil e no plano) definirá a energia do escoamento (massa e velocidade) e conseqüentemente, a capacidade do processo erosivo (desagregação, transporte e deposição). Como ilustrado na Figura 9, observa-se que as formas convergentes potencializam a concentração de fluxo de água e, conseqüentemente, o processo erosivo. No caso das encostas convergentes e convexas o problema é ainda maior, pois o maior volume de água coincide com a maior velocidade do escoamento. Importante salientar, que a maioria das encostas na região do planalto do RS é de formato convexo. Sendo assim, nas partes do relevo onde ocorrem os talvegues (convergências) o processo erosivo será comandado pelo escoamento superficial.

A geomorfologia em conjunto com as propriedades físicas do solo comandam a magnitude e o comportamento espaço-temporal do escoamento. Encostas convergentes e convexas produzem muito escoamento superficial com alto potencial erosivo (Figura 9). Já a presença de depressões acumuladoras de água, retarda o escoamento superficial, que passa a ocorrer somente após terem sido excedidas a capacidades infiltração.

A ação do homem dentro de uma bacia hidrográfica interfere na dinâmica do escoamento superficial, por exemplo, a construção de barragens ou reservatórios podem reduzir as vazões e retarda o deslocamento até jusante. Práticas conservacionistas como construção de barreiras mecânicas como terraços diminuem o volume e a velocidade do escoamento superficial (Figura 8 (b)) convertendo isso em armazenamento de água no solo, escoamento subsuperficial (recarga dos rios) e escoamento subterrâneo (recarga de aquíferos).

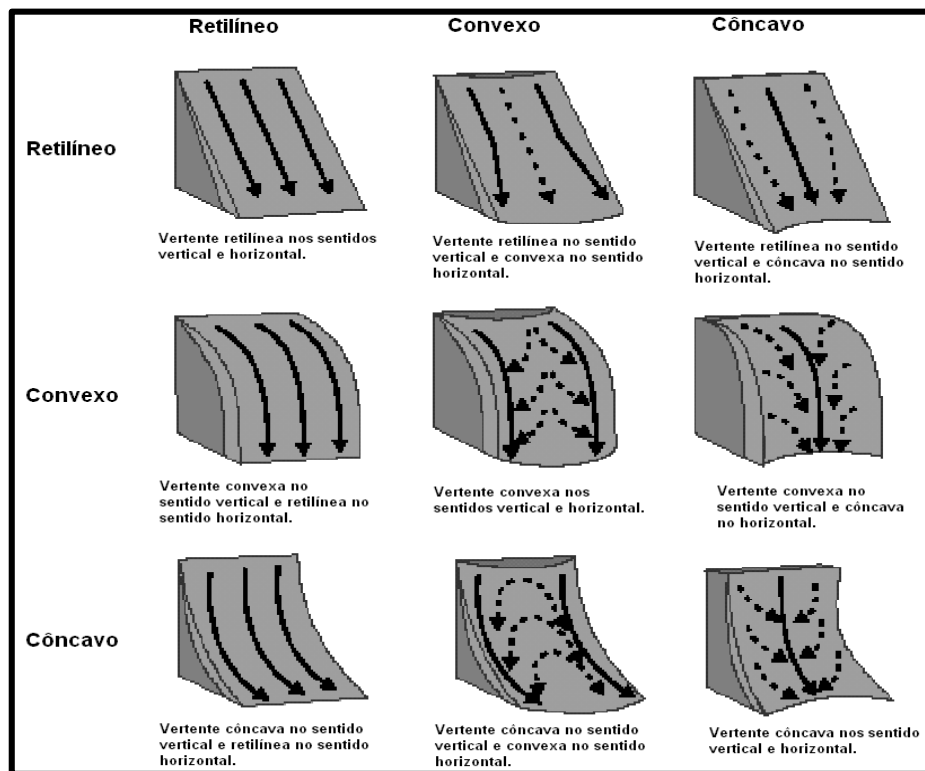


Figura 9 - Influência da geomorfologia no escoamento superficial.
 Fonte: adaptado de Ruhe (1975) citado por Chechia (2005).

A necessidade da compreensão dos processos hidrológicos na escala de encosta deve estimular estudos de erosão em condições que representem a realidade dos fenômenos atuantes. Estações de monitoramento do escoamento superficial com tecnologia adequada podem ser

instaladas em áreas agrícolas, em diferentes tamanhos de parcelas, usos e manejos com o propósito medir as perdas de água, sedimento e elementos químicos, durante eventos pluviométricos, tal como os exemplos apresentados em Bonilla (2006) e Parker e Bush (2013).

Além da possibilidade de estimar as perdas reais de solo e água, essa escala de análise permite estudar o comportamento da redistribuição de sedimentos e solutos nas encostas, já que grande parte do sedimento desagregado não chega no exutório da bacia ou canal, sendo que o mesmo fica redistribuídos ao longo da área, tal como apresentado nos estudos (DELMAS et al., 2012; CHARTIN et al., 2013; MINELLA et al., 2014). Segundo Chartin (2013) é muito importante quantificar as perdas de solo em áreas agrícolas e identificar a sua redistribuição e variação espacial, para desenvolver estratégias conservacionistas. Nota-se claramente que, atualmente, o processo erosivo em áreas de SPD apresenta uma complexidade dependente do entendimento do escoamento superficial. A indicação de técnicas de controle depende fundamentalmente no entendimento da magnitude e comportamento dessa variável na escala exata da sua origem que são as encostas ou bacias de ordem zero. Sendo que as práticas mecânicas são eficientes em controlar o escoamento superficial, já que são barreiras mecânicas justamente construídas para interromper e conduzir o escoamento superficial.

A análise dos hidrogramas e sedimentogramas (gráfico da variação da concentração de sedimentos no tempo) é uma maneira de visualizar o comportamento da vazão e da concentração de sedimento a cada evento pluviométrico perante diferentes condições de uso e manejo do solo (resíduos, dossel, rugosidade, umidade, etc.). Podemos interpretar o hidrograma e o sedimentograma como uma resposta à entrada de energia e matéria no sistema (precipitação) dissipando a energia no meio (rugosidade) representando, então, a dinâmica de transferência de água e sedimento na encosta e definindo o comportamento hidrossedimentológico do meio.

O hietograma representa a distribuição da chuva ao longo do tempo de sua duração, sendo possível identificar se os momentos de maior intensidade de precipitação convertem-se em maiores valores de vazão (Q) e de concentração de sedimentos em suspensão (CSS), sendo fatores determinantes para compreender o comportamento dos processos hidrológicos perante diferentes cobertura vegetal e intensidade de chuva.

O hidrograma (Q vs. tempo) é o resultado das interações do ciclo hidrológico em função da Q num determinado tempo. Os fatores que governam a sua forma são o relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais, distribuição, duração e intensidade da precipitação e o solo. Após o início da chuva existe um intervalo de tempo até que o nível de água começa aumentar. Este tempo retardado de resposta, é devido a interceptação pelas plantas, relevo e do solo e, também, deslocamento da água das regiões mais afastadas até a seção de monitoramento. O

hidrograma pode ser caracterizado por 3 partes: ascensão – intensidade da chuva, pico ou vazão – resultado do fim da chuva e a recessão – cessa o escoamento, o qual está representado na figura 10. O comportamento do hidrograma em relação a subida e descida demonstra se o sistema é responsivo aos eventos pluviométricos. Se a subida e a descida ocorre de forma íngreme, isso caracteriza que a energia do escoamento superficial é alta. Sendo necessário melhorias no sistema de manejo como melhor cobertura vegetal e aumento da rugosidade para diminuir esse impacto.

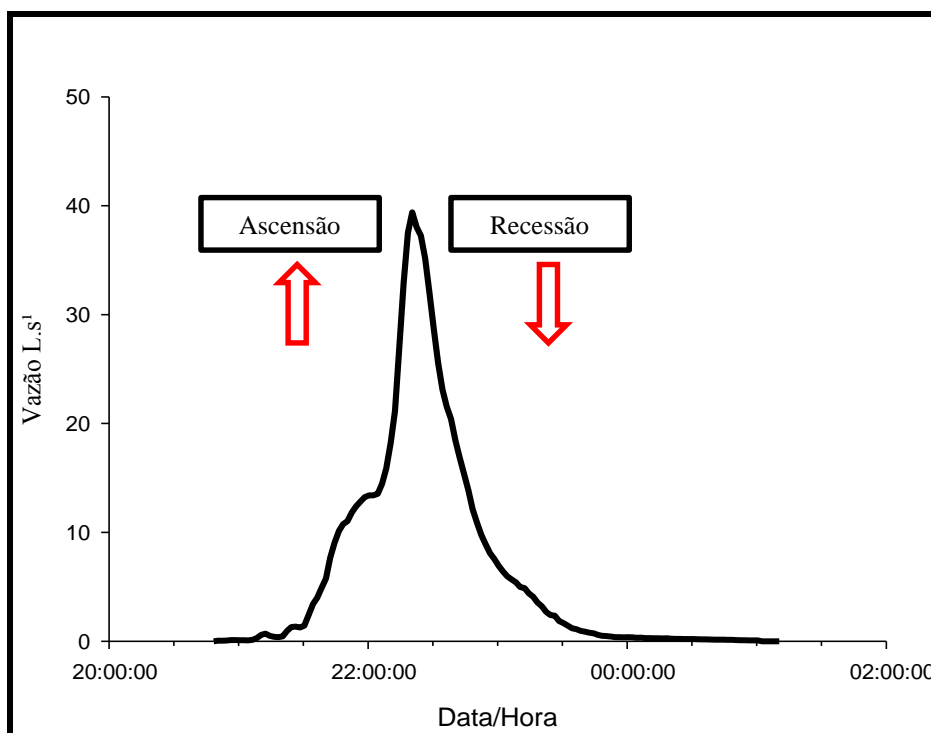


Figura 10 - Hidrograma de evento de pluviométrico na bacia pareada de Júlio de Castilhos, RS, indicando as partes que compõe o hidrograma. Fonte: Arquivo de dados grupo de pesquisa em bacias hidrográficas, UFSM.

O sedimentograma representa a concentração de sedimento em suspensão durante o intervalo da precipitação, sendo possível observar se o pico da concentração de sedimento em suspensão (CSS) ocorreu no momento da maior vazão de pico, ou se isso ocorre de forma mais antecipada ou atrasada, caracterizando o processo que conhece-se como histerese. A histerese ocorre quando a onda da Q não é coincidente com a onda de CSS. Para uma mesma Q na subida

e descida do evento ocorrem diferentes valores de CSS. Segundo Williams (1989), podemos caracterizar dois comportamentos nesse processo, sendo um no sentido horário quando o pico da CSS ocorre antes do pico da Q, o que determina baixa quantidade de material mobilizado e no sentido anti-horário quando o pico da Q é antecipado em relação ao pico da CSS, isso pode ocorrer devido, alta erodibilidade do solo, intensidade da chuva e a velocidade do escoamento superficial é uma maior relação ao transporte de sedimento.

Sendo essas maneiras de mostrar o comportamento da vazão e da concentração de sedimento durante o tempo do evento pluviométrico e apresentar alterações no comportamento perante diferentes precipitações.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A estratégia de estudo para alcançar os objetivos propostos foi monitorar duas bacias pareadas de ordem zero, conduzidas sob plantio direto com e sem práticas mecânicas de controle do escoamento superficial (terraços). Nessas bacias foram monitoradas a precipitação, a vazão e a concentração de sedimentos durante os principais eventos pluviométricos que ocorreram no período de um ano. Os dados foram analisados de duas maneiras: comparação das perdas totais de água e sedimentos evento a evento, e a comparação dos hidrogramas e sedimentogramas de cada evento entre as bacias.

4.1 Descrição do local, clima e solo da área experimental

O estudo foi conduzido na área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), localizada no município de Júlio de Castilhos, região central do Estado do Rio Grande do Sul, situada a 29°13'39" de latitude sul e a 53°40'38" de longitude oeste, e altitude de 514 m, conforme Figura 11. A média das temperaturas mínimas do ar é de 8,8°C no mês mais frio (julho) e a máxima é de 28,4°C no mês mais quente (janeiro) e a disponibilidade de radiação solar máxima é de 21,0 MJ m⁻² dia⁻¹ no mês de dezembro (INPE). O local faz parte da bacia hidrográfica do Rio Ivaí pertencente à província geomorfológica do Planalto Médio, formado por uma sucessão de pacotes de rochas vulcânicas (rochas originadas por magma resfriado na superfície da crosta terrestre: basaltos e riolitos da Formação Serra Geral), sendo caracterizado por relevo suave ondulado, formado por coxilhas, com uma declividade que varia de 5 a 13 % na área.

O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, conforme classificação de Köppen, com precipitações bem distribuídas durante as quatro estações do ano, sendo a precipitação média anual de 1678 mm e erosividade (EI₃₀) em 2014 chegou 10318 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Durante o período de monitoramento (junho de 2014 a março de 2015), a precipitação acumulada mensal variou de 72 a 334 mm.

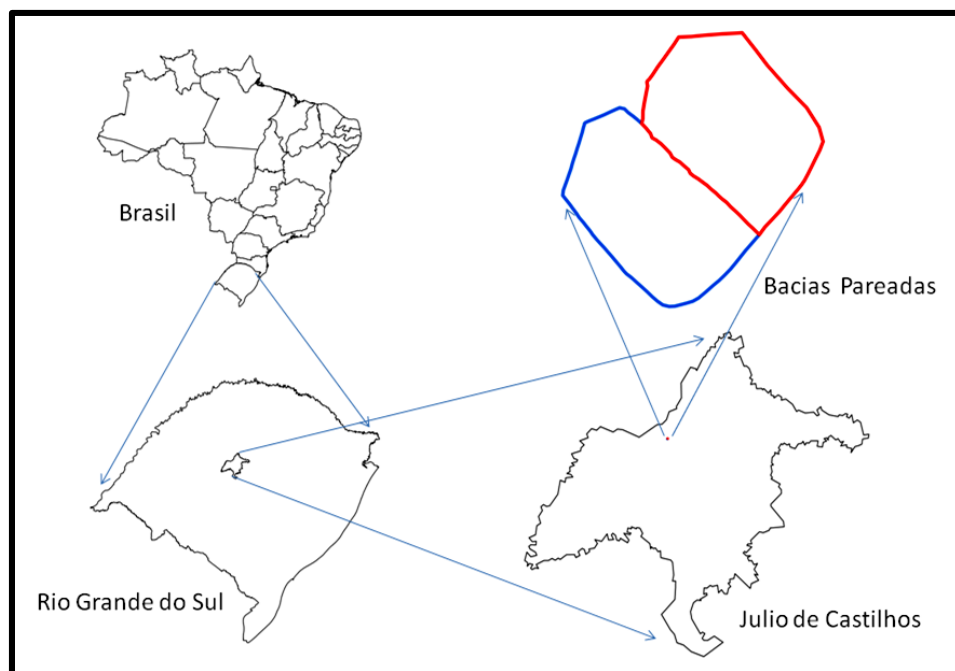


Figura 11 - Mapa de localização das bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006), bem drenado e com baixa fertilidade natural. Os atributos químicos do solo foram avaliados, no momento da instalação do experimento, por amostras coletadas na camada de 0 a 10 cm de profundidade e indicaram os seguintes valores: argila: 47%; pH em água: 5,1; P (Mehlich⁻¹): 16,42 mg dm⁻³; K (Mehlich⁻¹): 49,33 mg dm⁻³, CTC_{pH 7,0}: 9,7 cmol_c kg⁻¹ e matéria orgânica: 22 g kg⁻¹, conforme Tedesco *et al.* (1995).

Os dados históricos de precipitação apresentados foram obtidos na Plataforma de Coleta de Dados e Estações Ambientais Automáticas, instaladas na sede da Fepagro Sementes, em Júlio de Castilhos, pertencentes ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e a SINDA (Sistema Integrado de Dados Ambientais).

Os resultados das médias mensais de chuva no município de Júlio de Castilhos nos últimos cinco anos são apresentados na Tabela 1, podemos observar um aumento no volume precipitado durante o ano de 2014 em relação aos anos de (2013, 2012 e 2011), sendo que no ano de 2010 os níveis foram elevados.

Tabela 1 - Valores mensais de precipitação nos últimos cinco anos em Júlio de Castilhos.

Mês	Precipitação(mm)					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Janeiro	555	99	57	83	161	225
Fevereiro	223	190	124	57	88	75
Março	32	165	57	155	152	121
Abril	125	139	53	129	82	
Maiο	113	60	49	77	241	
Junho	99	123	61	119	261	
Julho	209	227	102	70	157	
Agosto	26	136	63	116	29	
Setembro	346	48	146	118	336	
Outubro	53	122	288	92	161	
Novembro	60	45	77	252	72	
Dezembro	146	16	270	160	228	
Total	1985	1370	1344	1426	1966	

Fonte: SINDA

4.2 Caracterização das Bacias

O local de instalação das bacias é característico do sistema produtivo de grãos da Região do Planalto Médio do RS. A escolha das encostas a serem monitoradas, aqui denominadas de bacias de ordem zero, foi baseada na definição de características hidrológicas semelhantes, condicionadas por características de relevo e de solo também semelhantes. Para tanto, foi realizado o levantamento topográfico das áreas em potencial bem como a avaliação expedita dos tipos de solo presentes. A partir disso, foi elaborado o modelo numérico de elevação e os índices topográficos como (a) declividade, (b) fluxo acumulado, e (c) forma das encostas. Esses mapas foram utilizados para estabelecer duas encostas semelhantes que pudessem ser comparadas em termos de manejo, considerando os fatores clima, solo e relevo muito semelhantes. Além disso, antes da escolha das áreas, foram acompanhados eventos pluviométricos para identificação precisa dos talwegues, divisores, melhores pontos de monitoramento e verificação do comportamento hidrológico das áreas. Importante salientar que os divisores de água são naturais (topo e convexidades), mas mesmo assim foram construídos camalhões para precisar os limites. Após a caracterização das áreas foi determinado o local para instalação da estrutura de monitoramento estabelecendo o tamanho exato das unidades, sendo que uma possui uma área de 2,43 ha bacia pareada sem terraço (ST) e a outra de 2,35 ha bacia pareada com terraço (CT).

Na Figura 12 é apresentado o mapa do limite das bacias pareadas, com a delimitação dos terraços na bacia CT e área total na ST. A escolha da posição das bacias ST e CT considerou a declividade das áreas, sendo locada a MCT na de maior declividade. Os demais parâmetros físicos de perfil de solo e os demais parâmetros fisiográficos foram considerados visualmente semelhantes, como pode ser visualizado na tabela 2 que apresenta as mais importantes características fisiográficas determinadas nas das duas bacias pareadas, o que caracteriza áreas semelhantes para possíveis avaliações.

Tabela 2 – Características fisiográficas das bacias

	Declividade média / mediana (%)	Curvatura no plano média/mediana (%)	Curvatura no perfil média/mediana (%)	Comprimento de rampa	Área acumulada (ha)
Bacia ST	6,8	-0,05/0,18	-0,05/0,88	194	2,43
Bacia CT	7,1	0,10/0,52	0,09/-2,18	216	2,35

Na bacia CT foram construídos cinco terraços de infiltração fechados nas suas extremidades (tabela 3), sendo que o valor da distância horizontal em quase todos os espaçamentos foi superior a 30m e os níveis de declividade variam de 2% a 11%. O terraço T0 é o último terraço antes do vertedouro localizado a uma distância horizontal de 36m de sua crista até a seção de monitoramento, gerando uma área de 1689m². Conseqüentemente, nos eventos de chuva temos geração de escoamento e perda de solo na bacia CT por conta dessa área de contribuição após o último terraço.

Tabela 3 - Caracterização dos terraços na MCT.

Terraço	Cota (m)	Área (m ²)	Diferença nível (m)	Distância horizontal (m)	Declividade %
T1	469,48	6.563	0,54	33,39	1,62
T2	468,94	5.797	2,99	55,76	5,36
T3	465,95	3.212	2,01	26,87	7,48
T4	463,94	3.285	2,49	32,3	7,71
T5	461,45	2.932	2,97	32,12	9,25
T0	458,48 454,47	1.689	4,01	35,56	11,28
		23.478		216	7,12

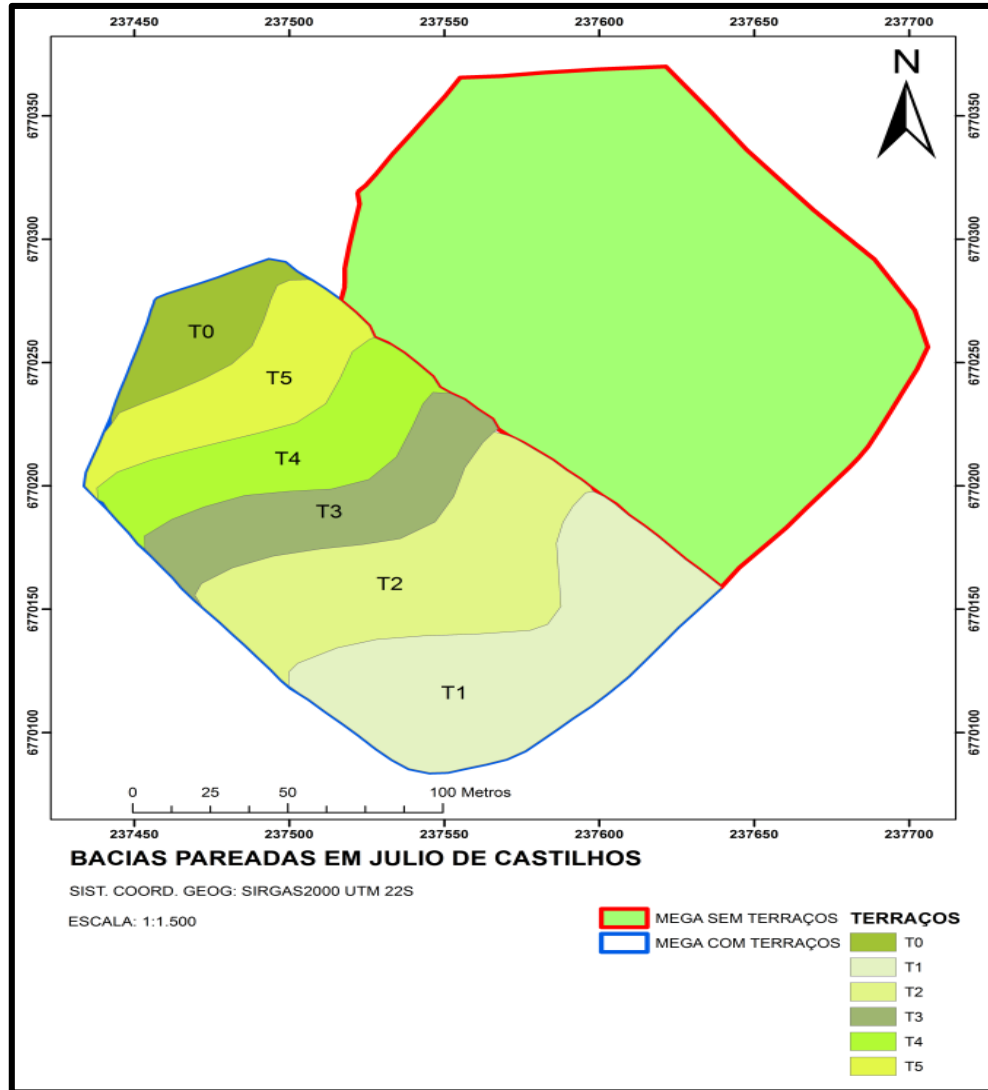


Figura 12 - Delimitação das bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos/RS.

A declividade das bacias é um fator importante na formação do escoamento superficial, quanto maior é a declividade maior a velocidade do escoamento e a magnitude da vazão de pico. Ambas as bacias ST e CT apresentam declividade média de 7% (Figura 13). Nota-se na CT bandas de alta declividade, essas se referem a declividade das cristas e canal dos terraços. Podemos destacar que as bacias ST e CT apresentam no terço superior uma declividade mais suave, que vai se acentuando a partir da meia encosta assumindo uma forma convexa na curvatura de perfil. Na CT o talvegue se manifesta já a partir do ponto mais alto da encosta até o exutório, formando um talvegue longo e estreito. Na ST o talvegue é mais pronunciado no terço inferior da bacia, sendo possível sua visualização na área. O talvegue é o responsável pela acumulação do fluxo de água e condução até o exutório da bacia. Importante salientar, também,

que a alocação dos terraço foi escolhida na encosta com maior propensão ao escoamento devido ao relevo para evitar a tendenciosidade.

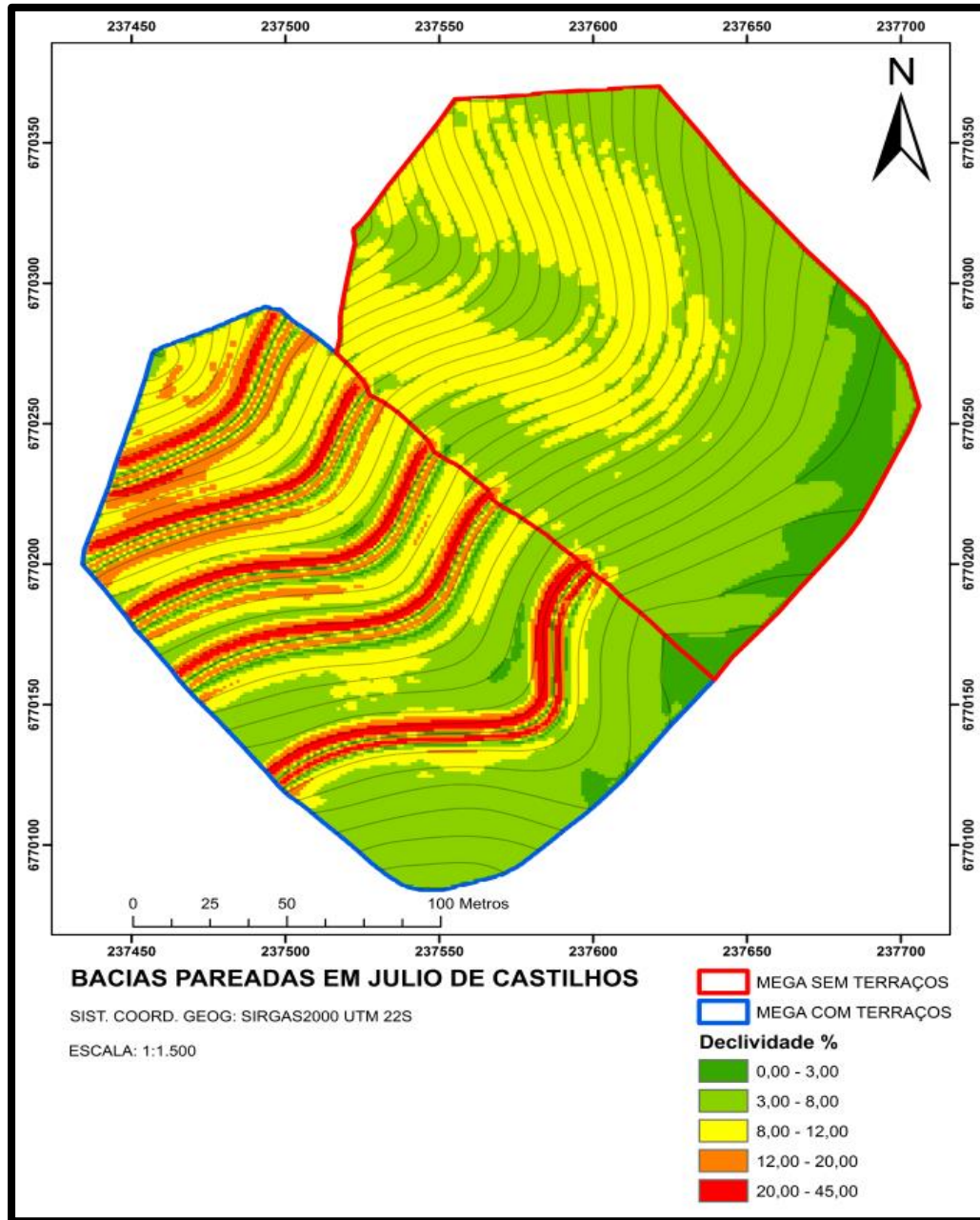


Figura 13 - Mapa de declividade das bacias.

Na Figura 14 são apresentados os histogramas de frequência da declividade para indicar as nuances entre as áreas. Sendo que o valor da máxima declividade na bacia CT e em função da crista do terraço, o qual está caracterizado na figura 14.

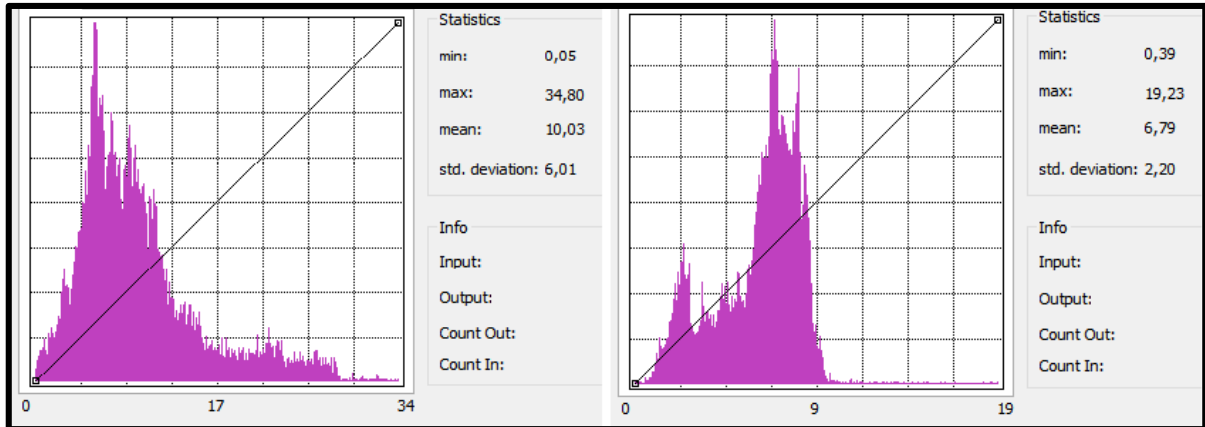


Figura 14 - Histogramas de frequências da declividade da bacia pareada com terraço na esquerda e sem terraço na direita.

A rede de drenagem acumulada é representado na Figura 15. Ela representa a direção do fluxo de água nas duas bacias, sendo um importante fator para determinação da instalação do vertedouro. Podemos destacar que na bacia ST existe um talvegue primário bem formado que é alimentado por talvegue secundários que direcionam o fluxo para vertedouro. Na CT os terraços o fluxo de água fica armazenado no canal dos terraços.

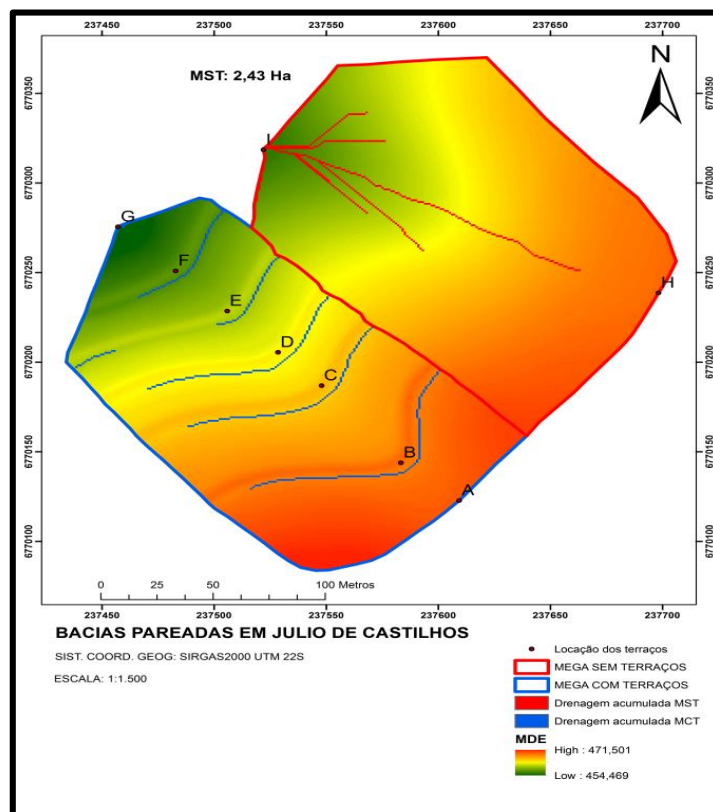


Figura 15 - Fluxo acumulado das bacias pareadas.

O mapa de curvatura da superfície geral para ambas as bacias (Figura 16), representa para os valores positivos a convexidade e os valores negativos a concavidade da área. Sendo esses fatores importantes para determinação da velocidade do escoamento superficial. A curvatura côncava apresenta acúmulo de energia no final, sendo um fator determinante para maiores desagregação, sendo que nas curvaturas convexas o processo ocorre de maneira oposta, a energia é maior no início e ela vai se dissipando, ocasionando uma desaceleração da desagregação. Importante frisar que o aumento da rugosidade em áreas ajuda reduzir a velocidade do escoamento superficial, sendo uma forma de prática conservacionista no controle da erosão do solo.

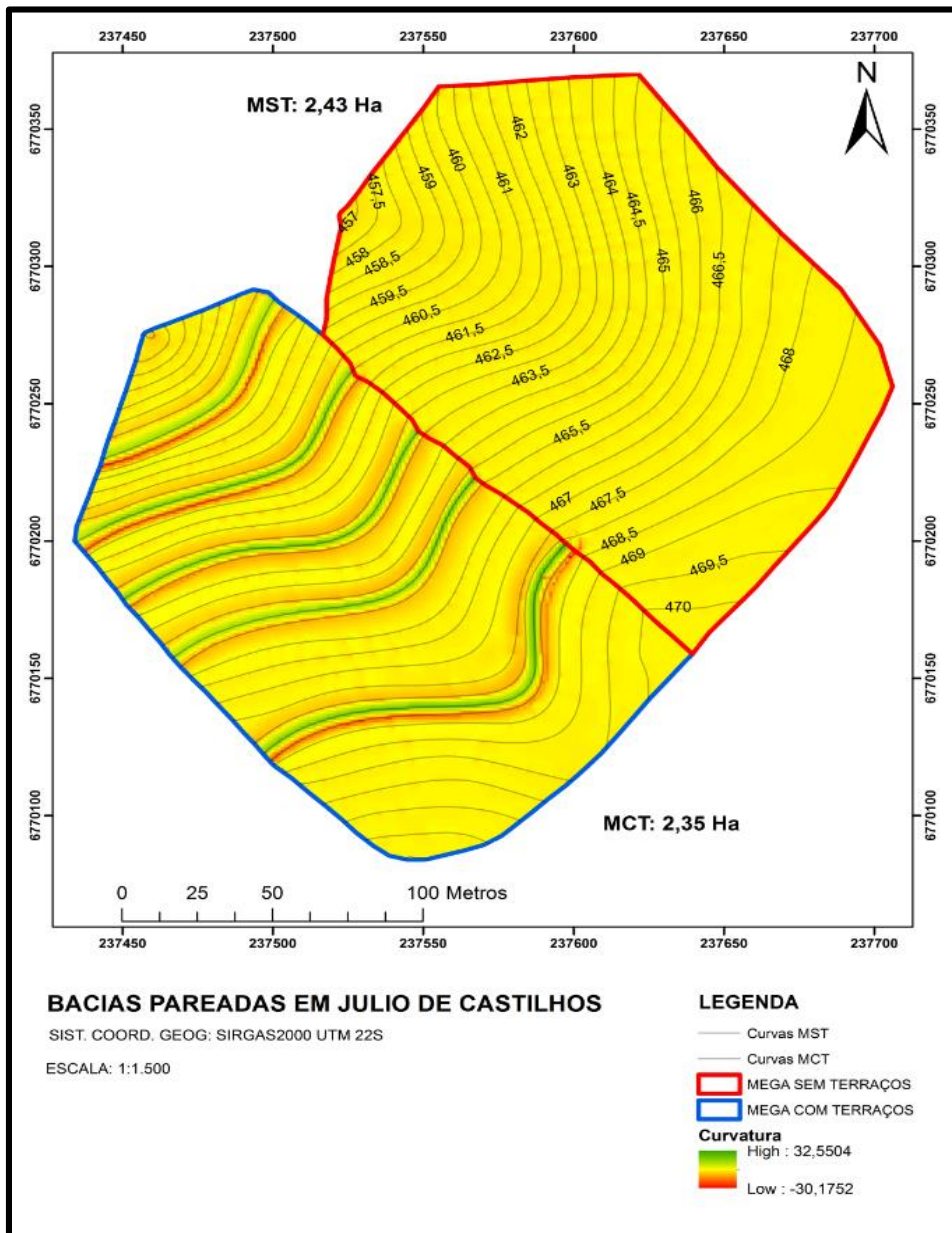


Figura 16 - Curvatura geral nas bacias pareadas.

A delimitação das bacias foi definida através da construção de camalhões (Figura 17) nos limites superiores, laterais e inferiores da encosta. Importante frisar que as bacias foram alocadas nos limites naturais, mas a construção dos camalhões foi importante para definir com exatidão os limites e evitar tanto a entrada como a saída de água. Essa estrutura possibilita a contabilidade exata do volume de água que entra no sistema, bem como o cálculo da lâmina que sai da bacia. Os camalhões foram construídos com o menor revolvimento de solo possível. Na parte superior e laterais o canal foi deixado para fora da bacia. Na base da parcela, próximo à seção de monitoramento, os camalhões foram reforçados e foi realizada compactação do solo e revegetação para evitar a erosão dentro dos camalhões. Após alguns eventos de chuva notou-se que não há erosão nem deposição significativa nos camalhões.



Figura 17 - Faixas de contenção construídas para evitar a saída e entrada de água nas bacias pareadas.

4.3 Dimensionamento e construção das estruturas de monitoramento

O dimensionamento das estruturas de monitoramento das bacias foi estimado através do método racional (Equação 1), estimando-se a vazão máxima a passar pela calha, supondo uma área 2,4 ha, uma declividade de 9% (média das duas bacias pareadas de ordem zero foi de 8,03%), um coeficiente máximo de deflúvio de 0,70, considerando um solo argiloso (COUTO, 1990) e uma precipitação máxima de 117 mm h⁻¹ para um tempo de retorno de 10 anos (CHEVALLIER, 1992).

$$Q = \frac{(C.i.A)}{360} \quad \text{Equação 1}$$

Onde Q = vazão da bacia ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); C = coeficiente médio de deflúvio; i = precipitação máxima com duração igual ao tempo de concentração da bacia (mm h^{-1}); A = área a ser drenada (ha).

Para comportar a vazão máxima calculada ($0,34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) para cada bacia, utilizou-se uma calha acoplada a um vertedor tipo H de dois pés (NETTO et al., 1998), a qual foi construída com a utilização de chapa metálica de 3 mm de espessura (Figura 18). Cada calha/vertedor foi alocada no talvegue das parcelas de modo a receber todo o fluxo de água escoado durante o evento pluviométrico (Figura 19). Após, o vertedor foi construído um canal tranquilizador para diminuir a turbulência da água e na porção final desse canal foi fixado um divisor GEIB, com 20 aberturas, a fim de fracionar o fluxo, possibilitando o armazenamento de uma fração representativa do fluxo. Esse fluxo é conduzido através de um funil para um reservatório de 2 m^3 . Na ocorrência de eventos que preencham totalmente esse reservatório, o volume total é fracionado novamente, nesse caso em 10 vezes e, uma fração é direcionada para um reservatório de 1 m^3 . O monitoramento da descarga líquida através dos reservatórios é uma informação importante para quantificar as perdas em caso de não funcionamento dos equipamentos automáticos e para coletar uma amostra integrada para análise de sedimentos (física e química). Essa é uma estrutura fundamental em eventos em que o pesquisador não está presente. A partir dela mede-se o volume total de água escoado e a concentração de sedimentos em suspensão, através da coleta de alíquotas de água e sedimentos acumulado nos reservatórios. São coletadas seis amostras (repetições) para estimar a CSS média.

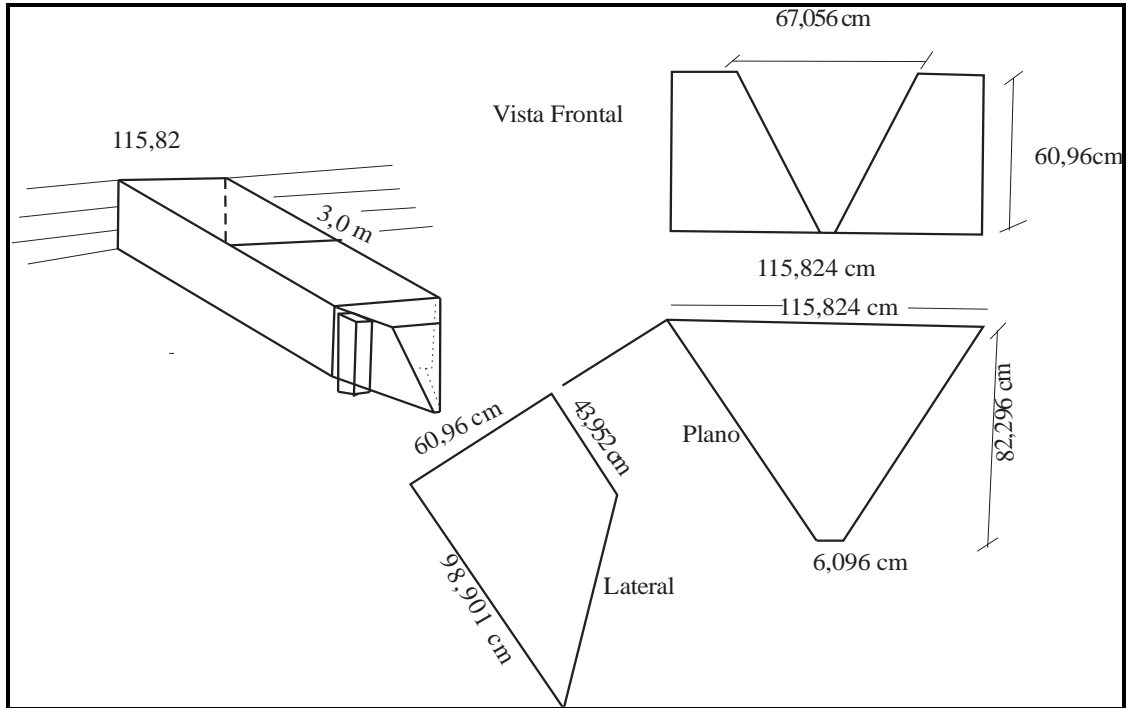


Figura 18 - Planta baixa da calha tipo H.

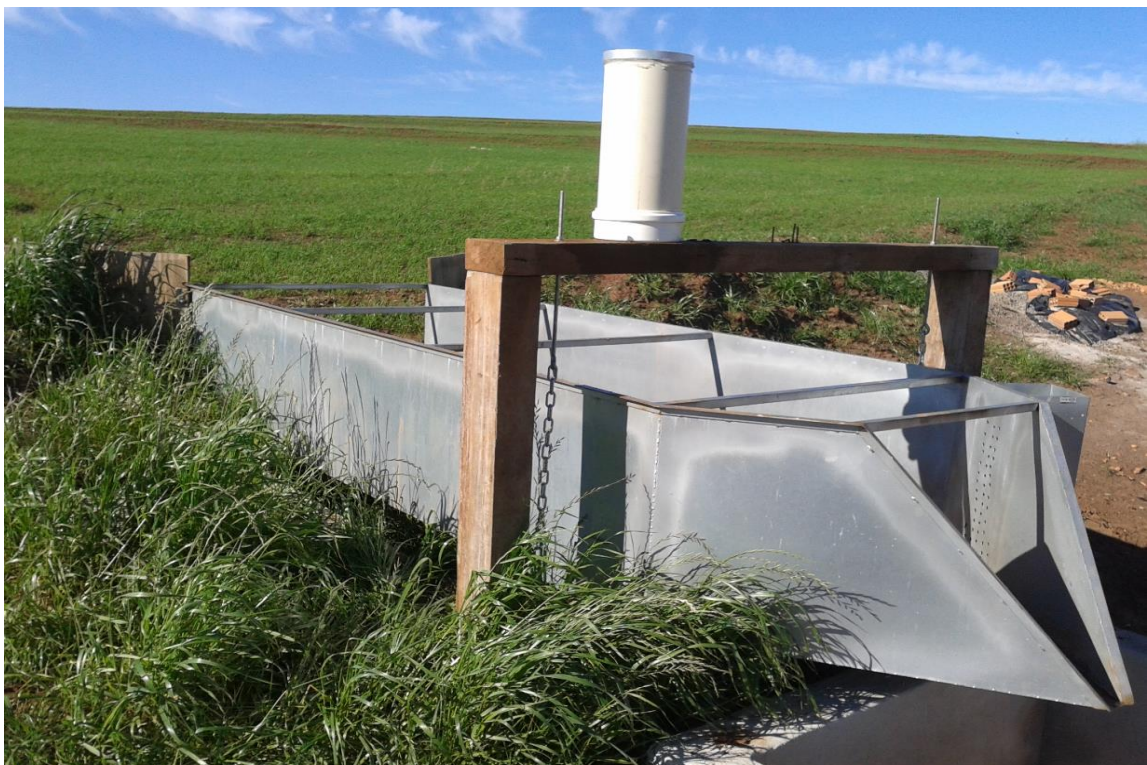


Figura 19 - Calha Tipo H instalada nas bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos, RS.

4.4 Dimensionamento e construção dos terraços

O terraço foi escolhido como uma prática conservacionista, mas não deve ser entendido como a única possibilidade de controle de escoamento superficial. Entendemos que, para o caso de estudo, o terraço é a prática mais apropriada, considerando a elevada declividade e forma da encosta (convexa e convergente).

Foi definido a construção de terraços de infiltração, de acordo com as características do solo, declividade do terreno, uso e manejo, baseando-se nas equações de Lombardi Neto et al. (1994). O dimensionamento foi realizado através do Software TERRAÇO for Windows 4.1®, desenvolvido pelo grupo de recursos hídricos fornecendo os seguintes dados: espaçamento arbitrado de 2,7 m na vertical, declividade média de 10 %, taxa de infiltração de 30 mm h⁻¹ e precipitação média para região de Cruz Alta, RS (DENARDIN e FREITAS, 1982). Os mapas de elevação e declividade foram construídos no programa ArcGIS, conforme levantamento topográfico com GPS de precisão do tipo RTK.

De acordo com o programa computacional, foi indicado cinco terraços de base média, com altura média de 50 cm, os quais foram demarcados com auxílio de nível topográfico. Os terraços foram construídos nos dias 20 e 21 de junho de 2014, utilizando-se arado de três discos, mobilizando em média 6 metros de solo (área transversal do terraço). O acabamento foi realizado com uma lâmina acoplada ao trator (Figura 20).



Figura 20 - Terraço de base média após primeiro evento pluviométrico. Júlio de Castilhos, RS, 2014.

O último terraço foi construído, aproximadamente, a 30 m da seção de monitoramento da bacia, por isso existe uma pequena área de contribuição de escoamento superficial para a seção de monitoramento com uma quantidade de perda de água e de solo, originada da área entre o último terraço e o vertedor na bacia CT.

4.5 Uso e manejo do solo nas bacias pareadas de ordem zero

Antes desse experimento, há mais de vinte anos, a área era manejada sem revolvimento do solo, com semeadura direta de soja (*Glycine max*) no verão e trigo (*Triticum aestivum*), aveia preta (*Avena strigosa L*) ou azevém (*Lolium multtiflorum*) espontâneo como culturas de inverno. No princípio havia terraços, mas foram retirados no momento em que o manejo passou de preparo convencional para semeadura direta.

O manejo adotado na área experimental, em ambas as bacias, representa o sistema de produção mais usual na região que é o cultivo do binômio soja e trigo/aveia/azevém, sob semeadura direta. O diferencial criado entre as bacias é apenas a prática complementar de controle do escoamento superficial (terraços) em uma das bacias.

Após a colheita da soja em maio de 2014, a área ficou em pousio, período em que ocorreu a instalação do experimento na área. No inverno, foi realizada a semeadura de aveia preta, no dia 11 de julho de 2014, no sentido perpendicular ao declive nas duas bacias. Não foi realizada adubação nitrogenada em cobertura no estágio vegetativo da cultura. A aveia foi dessecada em 17 de novembro de 2014, utilizando-se herbicida Paraquat ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$), sendo o volume de calda aplicado de 140 L ha^{-1} . A cultivar de soja FEPAGRO 37 RR, de ciclo médio, foi semeada em 19 de novembro de 2014. A adubação e demais técnicas de manejo seguiram as recomendações técnicas para a cultura. A semeadura na bacia com prática mecânica para o controle do escoamento superficial foi realizada em contorno ao terraço, em toda área, conforme pode ser visualizado na Figura 21. A colheita da soja foi realizada no dia 25 de março de 2015, sendo a produtividade média alcançada de 2.940 kg ha^{-1} .



Figura 21 - Semeadura da soja em contorno ao terraço. Júlio de Castilhos/RS, 2014.

4.6 Parâmetros físicos avaliados

A amostragem de solo para a caracterização físico-hídrica foi realizada no dia 15 de abril de 2014, na implantação do experimento, antes da sementeira da cultura de aveia preta, em locais distintos dentro de cada bacia de ordem zero: topo, meia encosta e base.

Para a determinação dos parâmetros físicos do solo foram coletadas 26 amostras (três sub-amostras em cada camada no topo e na meia encosta e duas em cada camada na base de cada bacia) de solo com estrutura indeformada, utilizando-se amostrador e anel metálico de 60 mm de diâmetro e 40 mm de altura, no centro das camadas de 0,05-0,09, 0,020-0,024 e 0,035-0,039 m de profundidade. Determinou-se a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e a condutividade hidráulica saturada. Nas mesmas profundidades foram coletadas amostras para determinação da textura do solo, carbono orgânico. Para determinação do carbono orgânico as amostras foram encaminhadas para o LABCEN (Laboratório Biotransformações de Carbono e Nitrogênio) da UFSM, em Santa Maria/RS, sendo realizadas análises de carbono total.

A determinação da análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), utilizando-se uma amostra representativa por profundidade, em cada local (topo, meia encosta e base). A separação da fração areia ocorre por tamisamento e da argila pela velocidade da sedimentação, considerando-se a Lei de Stokes. O silte é a diferença entre as massas de areia e argila total.

Para determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica saturada as amostras foram encaminhadas para o

laboratório de Física do Solo da UFSM. As amostras foram saturadas pesadas e submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa em coluna de areia (REINERT e REICHERT, 2006) e 33 e 100 kPa em Câmara de Richards.

A densidade do solo foi determinada após utilização das amostras para determinação da condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), sendo elas secas em estufa a 105 °C até peso constante, para determinação conforme equação encontrada descrita pela (EMBRAPA, 1997).

$$DS = \frac{MS}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Onde MS é a massa de solo seco (Mg) e V é o volume da amostra de solo (m³).

A porosidade total (PT) determina o número total de poros ocupado por água, determinada pela equação 3, (EMBRAPA, 1997).

$$PT(\%) = \frac{(P_{sat} - P_{sec})}{V} \cdot 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde PT é a porosidade total (%), P_{sat} é o peso solo saturado (g), P_{sec} é o peso do solo seco (g), V é o volume da amostra de solo (m³).

A Macroporosidade corresponde à umidade volumétrica quando amostra se encontra na tensão de 6 Kpa, determinada pela equação 4 (EMBRAPA, 1997).

$$Macro (\%) = \frac{(P_{sat} - Pes \ 6 \ Kpa)}{V} \cdot 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde Macro (%) é macroporosidade em porcentagem, P_{sat} é o peso solo saturado (g), Pes 6 Kpa é o peso da amostra em 6 Kpa (g), V é o volume da amostra de solo (m³).

A microporosidade corresponde à diferença entre a porosidade total e a macroporosidade, conforme equação 5, descrito por (EMBRAPA, 1997).

$$Microporosidade = Porosidade \ Total - Macroporosidade \quad \text{Equação 5}$$

As informações físicas e químicas do solo foram úteis para a caracterização da área e, principalmente, para a identificação de possíveis diferenças na qualidade estrutural e química do solo que justificasse um comportamento hidrológico distinto que não relacionado com o manejo de gleba. Obviamente, os dados serão importantes para a continuidade dos estudos, principalmente os que explorarão a dinâmica da água no solo entre as duas áreas.

Sendo esse trabalho de dissertação a primeira abordagem realizada, isso envolveu, necessariamente, um volume de trabalho além do que é explorado nos processos incorporados nos objetivos científicos e nas hipóteses.

4.7 Taxa de infiltração de água no solo

A taxa de infiltração de água no solo é um parâmetro que controla a formação do escoamento. A complexidade da infiltração está relacionada com a variabilidade das características de solo e relevo da área. Para descrever melhor esse processo nas duas áreas foram escolhidos pontos distintos e realizados os testes de infiltração. A escolha levou em consideração a geomorfologia (topo, meia encosta e talvegue), sendo que cada ponto escolhido foi representado por três repetições, usando o método dos anéis concêntricos. Além desses pontos, na bacia com terraço, os testes foram realizados no canal e após os terraços

Os testes foram realizados após a colheita da soja entre os dias 16, 17 e 18 de abril de 2015, totalizando 21 pontos, os quais foram analisados em triplicatas, gerando um total de 63 testes de infiltração na área das duas bacias pareadas (Figura 22). A sua determinação foi feita pelo método do infiltrômetro dos anéis concêntricos, descrito por Bernardo et al. (2008). As leituras foram realizadas nos tempos de 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos. Sendo que, decorridos 120 minutos, foi alcançada a taxa de infiltração constante.

O ajuste das curvas de infiltração foi realizado pelo método de Kostiaikov, pois segundo Reichardt e Timm (2004) é um o modelo prático. Em cada ponto foram coletadas amostras para a determinação da umidade do solo, em três profundidades: 0,00-0,10; 0,20-0,30; e 0,40-0,50 m.

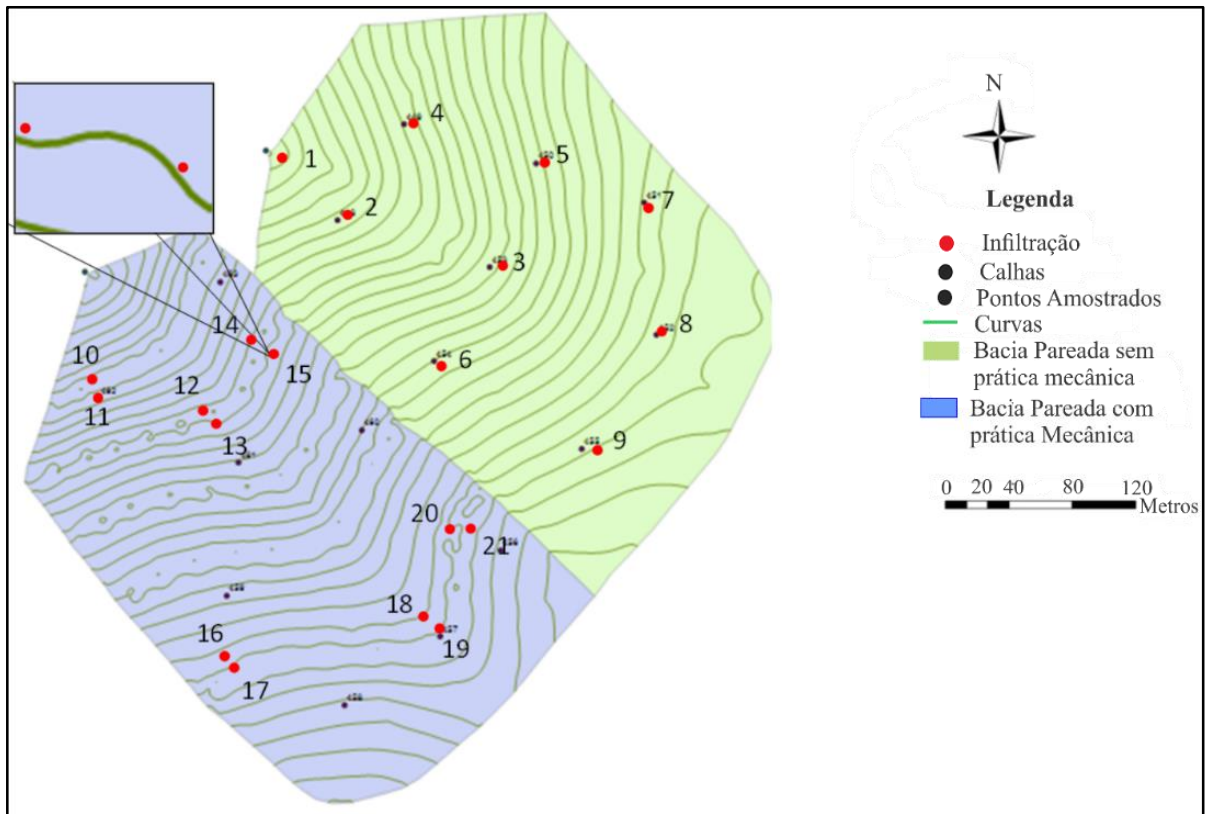


Figura 22 - Pontos escolhidos para realização dos testes de infiltração de água no solo.

Com as amostras indeformadas também foi determinado a condutividade hidráulica em solo saturado (K_{sat}). Os anéis foram novamente saturados após permanência na coluna de areia e câmara de Richards. Foi utilizado o método do permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 1997), sendo realizadas três repetições por amostra, sendo de cinco minutos cada, após esse período é medida a lâmina escoada com auxílios de proveta nas três repetições. Para determinar o K_{sat} foi utilizada a seguinte equação (6).

$$K_{sat} = \frac{(q \cdot H) \cdot 1000}{(A \cdot (H + H_{lam}) \cdot tempo)} \quad \text{Equação 6}$$

Onde K_{sat} é a condutividade hidráulica saturada ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$), q é a densidade de fluxo (mm), H é a altura do cilindro (m), A é a área do cilindro (m^2), H_{lam} é altura da lâmina de água (m) e tempo (horas).

4.8 Monitoramento Hidrossedimentológico.

O comportamento hidrológico das duas áreas foi analisado através do monitoramento das descargas líquidas e sólidas. Isso foi realizado no período de julho de 2014 a março de 2015. Foram monitorados 14 eventos pluviométricos em diferentes épocas do ano, desde o início da cultura de inverno até o final do ciclo da soja. Nesse período diferentes magnitudes e estádios de desenvolvimento das culturas e cobertura do solo foram contemplados.

A precipitação foi monitorada através da utilização de pluviógrafo que registra a variabilidade temporal (2min) da chuva e dois pluviômetros que medem o acumulado da chuva. Os equipamentos foram instalados junto às seções de monitoramento (Figura 23 e 24). O acumulado dos pluviômetros foi medido após cada evento pluviométrico. As falhas de medição (pluviógrafo) foram corrigidas com os dados de estação meteorológica localizada a 3 km do experimento, que apresenta boa correspondência com os dados locais.

Durante os eventos pluviométricos, o nível da calha foi monitorado através de um linígrafo (sensor de pressão), o qual foi posicionado no poço localizado na lateral da calha tipo H, sendo que sua base está localizada a 10 cm da base do canal, conforme apresentado na (Figura 25). O linígrafo de pressão está acoplado a um datalogger que armazena as informações em intervalos de 2 minutos. Para converter o nível ou lâmina de água para vazão Q (equação 7), é preciso conhecer as dimensões do vertedor tipo H.

$$Q = 0,554.H^3 + 1,632.H^2 + 0,059.H \quad \text{Equação 7}$$

Onde H representa altura da lâmina de água (m), Q é a vazão (L.s⁻¹).



Figura 23 - Monitoramento da precipitação. Pluviógrafo



Figura 24 - Monitoramento da precipitação. Pluviômetro.



Figura 25 - Monitoramento da descarga líquida. Linígrafo.

Além do registro automático, realizado pelo linígrafo, durante os eventos foi também realizada a medição manual das cotas em intervalo de cinco minutos com o auxílio de régua linimétrica (Figura 26). Importante frisar que a medição manual é essencial, fundamental e importante para calibração e verificação dos valores automáticos e, por segurança, no caso de não funcionamento dos equipamentos. A coleta dos sedimentos é baseada na determinação da concentração de sedimentos em suspensão em função nos e durante os eventos pluviométricos com respostas nas vazões. Com isso pode-se determinar a produção de sedimentos nos eventos monitorados. Importante frisar que os resultados do estudo, mesmo não contemplando 100% dos eventos, permitem inferir a perda de solo total anual, já que todos os grandes eventos foram monitorados



Figura 26 - Monitoramento da descarga líquida. Régua linimétrica.

O protocolo de determinação da CSS foi a coleta manual durante os eventos, amostrando de 10 a 40 amostras durante a subida até a descida dos eventos com intervalos variando de 1 a 15 minutos, dependendo da velocidade de subida e descida, e a magnitude do evento (Figura 27). As amostras (Figura 28) foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo e Hidrossedimentologia da UFSM para análise da concentração de sedimentos em suspensão usando o método da evaporação. Aliado a essa medida, foram instalados turbidímetros com leitura em intervalos de 2 minutos. Na bacia ST o turbidímetro foi instalado em agosto de 2014 e na bacia CT em outubro de 2014. Ambos armazenam os dados em datalogger que é alimentado por uma bateria de 12 volts, a qual é recarregada por energia solar. Importante frisar que, em princípio, o turbidímetro não é um equipamento apropriado para esse regime de escoamento (canais efêmeros), pois há escoamento apenas durante os eventos e o turbidímetro deve ficar imerso durante todo o tempo. Outra limitação é a capacidade de recirculação da amostra dentro do poço tranquilizador que pode não ser suficiente para que a concentração dentro desse seja semelhante àquela passante no vertedor. Para minimizar os problemas o poço foi sempre mantido com água limpa após os eventos e foram abertos inúmeros buracos ao longo do poço para facilitar a homogeneização. Também foram realizados testes nos eventos para verificar a correspondência entre o sinal de turbidez e a CSS medida manualmente. Os quais se mostraram

bons desde que para cada evento se construa a curva de correspondência entre o valor medido manualmente e a turbidez. Sendo assim a turbidez só serviu para aumentar o número de pontos dentro de um mesmo evento medido manualmente.



Figura 27 - Monitoramento da CSS.



Figura 28 - Monitoramento da CSS. Amostras coletadas.

A conversão dos dados do turbidímetro (mV) para mg L^{-1} foi realizada conforme metodologia descrita em (MERTEL et al., 2013). Todos os dados de turbidez e CSS medidos concomitantemente para os eventos foram usados para estabelecer as equações de calibração individuais.

A produção de sedimentos (PS) total gerada durante um evento pluviométrico é determinada pela multiplicação da CSS pela Q, e a posterior integração da descarga sólida (g s^{-1}) no tempo, apresentado na equação 8. Para períodos em que o turbidímetro não se encontrava em funcionamento foi realizada a interpolação dos dados da CSS medidos em laboratório, em intervalos de 5 minutos.

$$PS = \Sigma(CSS_i * Q_i)$$

Equação 8

Também foi calculada a Erosividade da chuva que é proporcional a energia cinética do gota de chuva e a intensidade máxima em 30 minutos (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Para os meses que corresponderam o período do monitoramento dos eventos pluviométricos. Através da equação de Cassol et al. (2007).

$$EI_{30} = 109,65 * RC^{0,76}$$

Equação 9

Onde EI30 é o índice de erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$) e Rc é o coeficiente de chuva, dado em milímetros ($Rc = p^2/P$, onde p é a precipitação média) mensal, mm e P é a precipitação total média anual, mm).

A partir dos dados de precipitação (P) e escoamento superficial (Q) foram calculadas variáveis hidrológicas importantes que descrevem a influência dos terraços. As principais variáveis calculadas foram: (a) Precipitação total (mm); (b) Duração do evento (horas), (c) Tempo para o início do evento (horas), (d) Tempo de concentração (horas), (e) Volume do escoamento superficial (m^3), (f) Vazão máxima (L s^{-1}), (g) Escoamento superficial (%): $C = Q(\text{mm})/P(\text{mm}) * 100$, (h) Infiltração total aparente (mm): $I = P(\text{mm}) - Q(\text{mm})$, (i) Concentração de sedimentos em suspensão máxima (mg L^{-1}), (j) Produção de sedimentos (kg).

Além dessas variáveis foi realizada uma análise qualitativa da forma dos hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas, comparando-se os mecanismos de respostas nas duas unidades de monitoramento.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização física hídrica e química dos solos.

A caracterização físico-hídrica foi importante para analisar se: (i) as duas bacias eram semelhantes entre si e (ii) se as diferentes posições da encosta (topo, meia encosta e talvegue) apresentam diferenças nas propriedades físico-hídricas do solo e, conseqüentemente, no padrão de formação de escoamento superficial. Isso é, especialmente, importante para compreender o padrão espacial e o tipo de escoamento que ocorre no local.

Como apresentado no material e métodos, as variáveis utilizadas para expressar a potencial diferença entre as posições e, também, entre as duas áreas foram: textura (%), densidade (g cm^{-3}), porosidade total (%), macroporosidade (%), microporosidade (%) e a condutividade hidráulica saturada (mm h^{-1}). Os resultados da análise de variância pelo teste de Tukey mostraram que não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as duas bacias pareadas nem entre as posições da encosta, conforme Tabela 4.

A textura do solo é um dos fatores determinantes para maior ou menor quantidade de partículas transportadas pela erosão, devido seu tamanho. A qual foi determinada nas três regiões fisiográficas (topo, meia encosta e talvegue). Na bacia sem prática mecânica podemos considerar que nas três regiões ocorreu um incremento no teor de argila na camada (0,35-0,39 m). Sendo que o mesmo pode ser observado na bacia CT.

Nas camadas avaliadas foi possível identificar duas classes texturais, sendo elas, classe argilosa quando os valores ficaram acima de 40% de argila e classe franca argilosa quando os teores apresentados foram menores que 40%. Podemos considerar o solo como argiloso, ele se caracteriza pela alta capacidade de infiltrar água e também mais suscetível a compactação, sendo esse um fator que contribui para a formação do escoamento superficial, porém a força de coesão entre as partículas é maior, o que aumenta sua capacidade em resistir à erosão.

A densidade do solo, também, não apresentou diferença estatística a 5% de probabilidade de erro entre as duas bacias pareadas e entre as áreas fisiográficas. Na camada superficial (0,05-0,09 m), os valores encontrados foram superiores $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, sendo que nas camadas inferiores os valores ficaram entre ($1,36$ e $1,59 \text{ g cm}^{-3}$). Podemos considerar valores de densidade do solo altos para essa situação (REINERT et al., 2008).

Tabela 4 - Caracterização físico-hídrica das bacias ST e CT.

Tratamento	Prof (m)	Textura				Dens (g cm ⁻³)	Porosidade			Ksat mm h ⁻¹	
		Ag	Af	Sil	Ar		Total	Micro	Macro		
		-----%-----			(%).....					
ST	Topo	0,05-0,09	16,34	24,49	26,15	33,02	1,51	40,92	32,90	8,03	286,71
		0,20-0,24	13,63	20,90	25,46	40,01	1,50	41,17	33,88	7,29	4,97
		0,35-0,39	11,93	19,20	24,84	44,03	1,40	43,76	37,10	6,66	726,71
	1/2 Encosta	0,05-0,09	14,51	22,24	28,34	34,90	1,56	39,26	33,03	6,23	54,71
		0,20-0,24	11,56	18,05	32,26	37,42	1,46	39,51	34,97	4,55	22,50
		0,35-0,39	9,24	16,79	24,81	49,16	1,37	41,48	37,18	4,31	38,55
	Talvegue	0,05-0,09	15,15	21,42	26,45	36,98	1,61	41,64	35,98	5,66	60,15
		0,20-0,24	13,51	21,59	28,04	36,09	1,51	43,04	37,25	6,43	24,02
		0,35-0,39	12,20	19,91	28,35	39,54	1,50	46,69	39,99	6,70	29,70
CT	Topo	0,05-0,09	16,87	23,13	25,21	34,79	1,61	40,47	34,41	6,06	40,03
		0,20-0,24	15,42	22,64	25,36	36,57	1,59	41,10	35,97	5,77	14,72
		0,35-0,39	12,03	18,58	22,34	47,04	1,45	47,52	39,50	8,01	44,29
	1/2 Encosta	0,05-0,09	12,97	19,09	24,59	39,81	1,56	43,47	36,88	6,59	81,38
		0,20-0,24	3,44	18,08	27,69	42,93	1,45	43,11	37,29	5,83	0,33
		0,35-0,39	8,51	13,06	21,82	49,64	1,36	47,32	38,42	8,90	24,85
	Talvegue	0,05-0,09	13,19	20,00	26,38	40,43	1,60	46,58	40,68	5,90	84,33
		0,20-0,24	13,25	19,33	29,72	43,00	1,59	44,65	39,91	4,73	20,56
		0,35-0,39	11,52	16,86	26,70	52,61	1,51	42,57	34,78	7,79	0,61

ST: sem terraço, CT: com terraço, Prof: profundidade (m), Ag: areia grossa, Af: areia fina, Sil: silte, Ar: argila, Dens: densidade do solo, Macro: macroporosidade, Micro: microporosidade, Ksat: condutividade hidráulica saturada.

Da mesma forma, os valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade não se diferenciaram entre bacias ST e CT e entre as posições das encostas, o que caracteriza áreas homogêneas para esses parâmetros físicos. Os valores da macroporosidade encontrados estão dentro do limite crítico que é menos de 10% (REYNOLDS et al., 1992), o que limita o fluxo de água e gases no perfil do solo.

A condutividade hidráulica saturada (Ksat) apresentou uma grande amplitude. Apesar disso, essa variável pode não ser um bom indicativo da variabilidade espacial da infiltração, pois é extremamente sensível à condição pontual sob influência da fauna edáfica, presença de crosta ou da vegetação.

Além das características físico-hídricas foi utilizada a curva da taxa de infiltração e do total acumulado de água pelo método de anéis concêntricos como sendo uma variável integradora das variáveis apresentadas anteriormente. A taxa de infiltração de água no solo é uma das principais variáveis a ser analisada quando se busca entender os fluxos de escoamento superficial. Na bacia sem terraço as medidas foram feitas nas três diferentes posições da encosta

(topo, meia encosta e talvegue). Nas Figuras 29 e 30 são apresentadas as curvas médias de infiltração de água no solo.

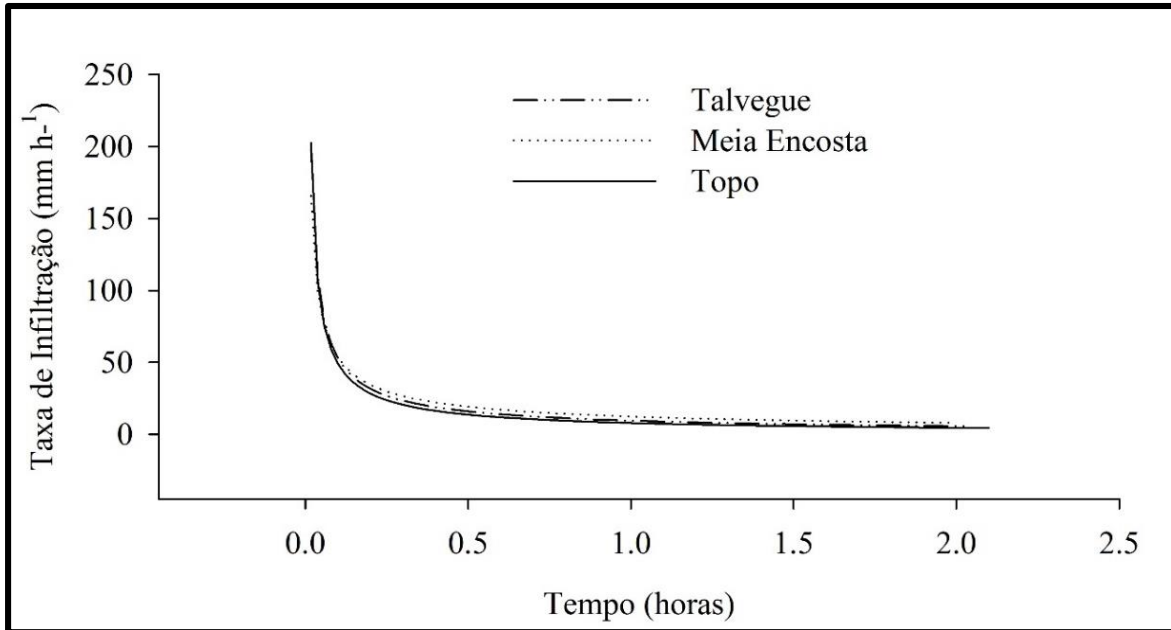


Figura 29 - Taxa de infiltração de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia ST.

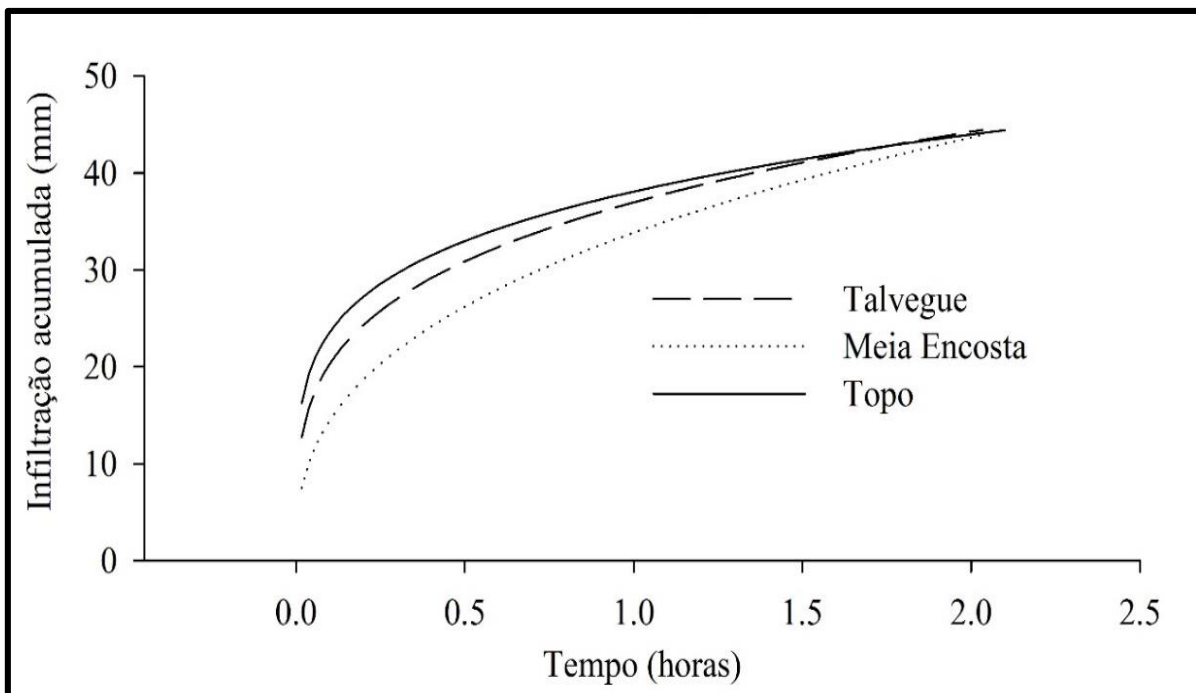


Figura 30 - Infiltração acumulada de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia ST.

Podemos observar nas Figuras 29 e 30, que a taxa de infiltração de água no solo nas três posições da encosta não diferem pelo método dos anéis concêntricos. Obviamente a topografia influencia a infiltração e o escoamento superficial, entretanto no método dos anéis concêntricos esse efeito não foi identificado. Sendo assim, podemos considerar que as condições estruturais do solo nas diferentes posições da encosta não afetam os valores da taxa de infiltração. Por outro lado os valores da infiltração acumulada apresentaram alguma diferença, sendo maior no topo, seguido pelo talvegue e por último pela meia encosta. A justificativa da diferença é o arranjo matemático dos dados que potencializa as pequenas diferenças nas taxas e, possivelmente, pela maior profundidade dos solos.

Para caracterizar o efeito da construção do terraço, foram medidos, também, as taxas e o total acumulado de infiltração no canal do terraço e na posição a jusante do terraço, sendo os valores apresentados nas Figuras 31 e 32. Podemos verificar que o canal do terraço cumpre sua função de maior infiltração em relação aos pontos a jusante do camalhão.

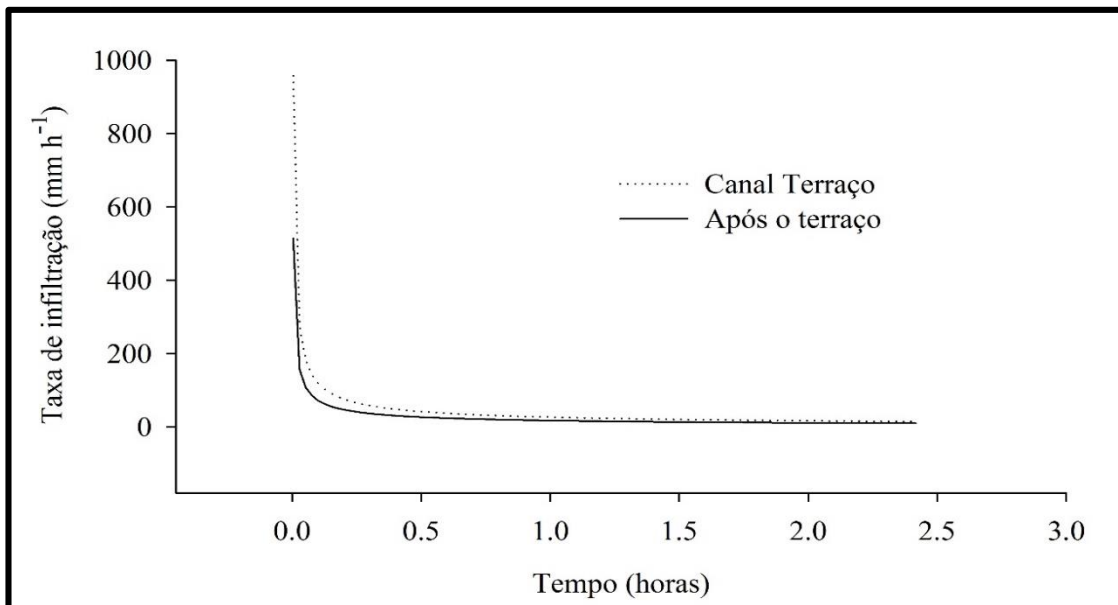


Figura 31 - Taxa se infiltração de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia CT.

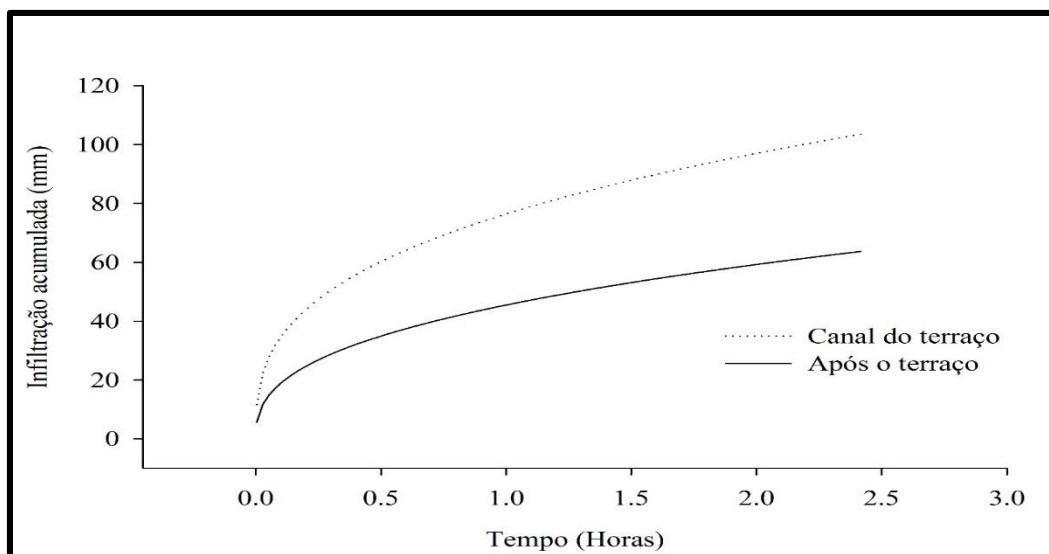


Figura 32 - Infiltração acumulada de água no solo nas diferentes posições da encosta na bacia CT.

Além das características físico-hídricas dos solos, a matéria orgânica também foi avaliada nas áreas de estudo (Tabela 5), pois é fundamental na qualidade física do solo e, conseqüentemente, importante para a infiltração de água no solo e a correspondente formação de escoamento.

Tabela 5 - Teores de nitrogênio, carbono e matéria orgânica nas bacias ST e CT.

Tratamento	Profundidade (m)	N (%)	C (%)	MO (%)	
ST	Topo	0,05-0,09	0,1	1,4	2,4
		0,20-0,24	0,1	1,3	2,2
		0,35-0,39	0,1	1,2	2,0
	Encosta	0,05-0,09	0,2	1,6	2,7
		0,20-0,24	0,1	1,3	2,1
		0,35-0,39	0,1	1,2	2,0
	Talvegue	0,05-0,09	0,2	1,6	2,8
		0,20-0,24	0,1	1,1	1,9
		0,35-0,39	0,1	0,9	1,6
CT	Topo	0,05-0,09	0,1	1,4	2,4
		0,20-0,24	0,1	1,2	2,1
		0,35-0,39	0,1	1,1	1,9
	Encosta	0,05-0,09	0,1	1,4	2,5
		0,20-0,24	0,1	1,2	2,0
		0,35-0,39	0,1	1,1	1,9
	Talvegue	0,05-0,09	0,1	1,4	2,3
		0,20-0,24	0,1	1,2	2,1
		0,35-0,39	0,1	1,0	1,7

N- nitrogênio, C- carbono, MO- matéria orgânica.

Os teores de matéria orgânica na bacia ST e CT apresentam um maior valor na camada superficial do solo, como é esperado, diminuindo gradativamente nas camadas inferiores. Não houve diferença significativa entre as três posições avaliadas, indicando a homogeneidade dentro das bacias e entre elas.

5.2 Monitoramento da precipitação e cobertura vegetal do solo.

O período de monitoramento ocorreu de julho de 2014 a março de 2015, nesse intervalo foi monitorado um total de 14 eventos com diferentes condições de magnitude e cobertura vegetal. Importante frisar que esse conjunto de 14 eventos não engloba todos os eventos no período. Na tabela 6 é apresentada a precipitação diária no período do monitoramento, sendo destacado em negrito as datas dos eventos monitorados. Muitos dos eventos com alto volume precipitado (Tabela 6), mas que não houve monitoramento, não geraram escoamento superficial devido a condição de baixa umidade do solo ou pela longa duração, ambos os casos favorecendo a infiltração.

O período monitorado apresentou chuvas acima da média devido a ocorrência do fenômeno El Niño.

Destaca-se a precipitação no mês de setembro que foi superior aos valores do mesmo período nos últimos três anos. O volume acumulado foi 336 mm, ocorrendo uma série de eventos em sequência. Os meses com as menores precipitações foram agosto com o acumulado de 29 mm e o novembro com 72 mm. Durante os meses de dezembro e janeiro também tivemos chuvas acima da média em relação aos últimos anos, 228 e 225 mm respectivamente. Entretanto, como é de se esperar, nesse período a previsão tem maior incerteza, especialmente para uma área tão pequena quanto é a desse estudo, criando uma grande dificuldade para o acompanhamento in situ dos eventos.

Tabela 6 – Precipitação diária do período de monitoramento.

Dia	2014						2015		
	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
1	0,25	4,5	0,25	1	11,5	7	30,75	1,5	0
2	0	0	65	0	0,25	0	0,25	0	12,25
3	8,5	0	0	0	16	1,5	0	0	23,25
4	3,5	10,25	0	0	19	0	0	0	4,5
5	0	0	2,5	0	0	0	0	0	3,75
6	21,5	0	57	30,25	10,5	0	1	0	0
7	0,25	2,75	0	0	0,25	0	39,5	0	0
8	0	0	0	0	0	3,25	18	0	0
9	0	0	0,25	0	0	17,75	0	22,5	0
10	0	0,5	32	11,75	0	11,75	0	8	0
11	0	0,75	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	4,25	0	3,5	0	0	0	0
13	0	0	0	10,25	0	0	0	0	0
14	0	0	4,5	2,25	0	0	38,5	0	0
15	0	0	27,75	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
17	22,5	0	0	20,5	0	15,25	1,25	0	0
18	0,25	0	0	13,25	0	0	0	1,25	0
19	0	0	0	22,75	0,5	0	0	2	0
20	0	0	0,5	0,5	0	7,25	12	0	0
21	0	0	0	0	2,25	71,75	2,5	14,25	0
22	0	0	0	0	0,25	0	0	0,75	0
23	72	0	0	0	0	0	1,5	17	0
24	7,25	0	29,5	0	0	0	26,5	0,25	0
25	0	0	4,25	0	8,5	0	12	5,75	14,5
26	0	0	13	0	0	14,5	0	0,75	0,5
27	0	0	0	0	0	38	0	0	0
28	0	0	53,75	0	0	26,25	33,75	0	5,5
29	0	0	3,25	0	0	0	6,75		37,75
30	3	0	37	47	0	5,75	0		0
31	0,25	9,5		0		1,25	0,25		0
Total	140	28,25	334,75	160	72,5	221,25	224,5	74	102
MédMen	158	145	182	234	155	138	172	127	147

Negrito – precipitação monitorada, MédMen – média mensal de 14 anos Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) localizada no município de Tupanciretã.

Na tabela 7 são mostrados os resultados da precipitação e erosividade (EI₃₀) mensal do período monitorado.

Tabela 7 - Valores mensais da erosividade durante período de monitoramento,

	07/14	08/14	09/14	10/14	11/14	12/14	01/15	02/15	03/15
PPT	157	29	336	161	72	228	225	75	121
EI ₃₀	731	57	2285	755	226	1277	1446	279	574

PPT: precipitação (mm); EI₃₀: erosividade (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹),

O mês de setembro caracterizou-se pelo maior índice de erosividade de 2.285 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, sendo que 44% da erosividade ocorreu entre quatro meses do ano (setembro a dezembro de 2014), que coincide com as maiores precipitação e 35% entre os meses de (maio, junho e julho de 2014). Demonstrando as duas épocas de maior importância para os processos erosivos. Período de entressafra entre culturas, no qual o solo se encontra descoberto ou com baixo nível de cobertura vegetal, o que favorece o impacto da gota de chuva e a desagregação do solo durante os eventos pluviométricos. De qualquer forma, o período de monitoramento é curto e um número maior de anos é necessário para compreender a dinâmica da precipitação local e a sua relação com os processos erosivos.

Na tabela 8 são apresentados os eventos monitorados conjuntamente com o total precipitado e a condição da cobertura do solo no momento. O início do monitoramento dos eventos ocorreu na segunda quinzena de julho, logo após o término da instalação das estruturas de monitoramento, bem como dos camalhões e dos terraços. Sendo assim, é de esperar que tenha ocorrido alguma contribuição de sedimentos nesses locais proveniente da mobilização do solo, apesar de que não foi verificado processo erosivo significativo. Notou-se, claramente, que a partir do início do ano de 2015 a consolidação dos camalhões e terraços, diminuindo o efeito da mobilização.

Nota-se pela tabela 8 que houve eventos significativos monitorados, entretanto não houve no período eventos considerados extremos. A precipitação acumulada no mês de julho de 2014 foi de 157 mm, sendo monitorados dois eventos pluviométricos que ocorreram num curto intervalo de tempo. No primeiro evento a área havia sido semeada com aveia preta, a qual se encontrava em estágio de germinação. A precipitação acumulada foi de 23 mm. O evento posterior ocorreu num intervalo de sete dias, com um acumulado de 65 mm e em condição de alta umidade antecedente do solo. A aveia preta havia emergido, mas podemos considerar um momento de baixa cobertura vegetal, devido o desenvolvimento inicial da cultura de inverno. Sendo essa uma situação comum em áreas agrícolas manejadas atualmente, a qual o solo fica em pousio entre a colheita da soja até a plena cobertura das culturas de inverno. Devido à baixa relação C/N dos resíduos da soja, é rapidamente decomposto, deixando o solo exposto aos processos erosivos.

Outro período importante de monitoramento foi em setembro de 2014, onde as precipitações somaram 336 mm, valor acima da média dos últimos três anos. Nesse período a aveia preta encontrava-se em estágio vegetativo, período de maior cobertura do solo em relação aos eventos iniciais acompanhados, mas não se pode considerar uma cobertura de matéria verde ideal para as altas intensidades de chuva que ocorreram (EI30: 2285 mm ha⁻¹ h⁻¹), representado

um período propício para perdas de água e sedimentos. Foram monitorados durante esse período quatro eventos com precipitações de diferentes magnitudes

Tabela 8 - Monitoramento da precipitação e estágio de cobertura do solo, a cada evento monitorado nas duas bacias pareadas de ordem zero em Júlio de Castilhos.

Evento	Cobertura do solo	PPt (mm)
17/07/2014	Aveia preta estágio germinação	23
23/07/2014	Aveia preta em fase inicial de desenvolvimento	65
02/09/2014	Aveia preta estágio vegetativo - 15 cm	65
10/09/2014	Aveia preta estágio vegetativo - 20 cm	31
14/09/2014	Aveia preta estágio vegetativo - 25cm	41
30/09/2014	Aveia preta estágio vegetativo - 30 cm	45
17/10/2014	Aveia 60 cm em estágio de florescimento	26
18/10/2014	Aveia 60cm em estágio de florescimento	14
19/10/2014	Aveia 60cm em estágio de florescimento	19
30/10/2014	Aveia preta em estágio de enchimento de grão	69
03 e 04/11/14	Aveia preta em estágio maturação fisiológica	51
01/01/2015	Soja em estágio vegetativo - V8	25
27/01/2015	Soja em estágio de florescimento	24
29/03/2015	Maturação fisiológica - Colheita	31

ST – sem prática mecânica, CT – com prática mecânica, PPt – precipitação.

Em outubro o solo encontrava-se com uma alta cobertura vegetal, devido ao pleno desenvolvimento da cultura de inverno, período em que a cultura cessa o seu crescimento e destina a sua energia para o estágio reprodutivo. A precipitação acumulada durante esse mês foi de 161 mm e foram monitorados quatro eventos sendo três eventos em sequência (17, 18 e 19 de outubro) com precipitação de 26, 14 e 19 mm. No evento do dia 30/10/2014 a aveia preta se encontrava em estágio de enchimento de grão. Nesse momento, houve um evento com precipitação acumulada de 69 mm, sendo o maior índice de chuva registrado durante o período na condição de maior cobertura vegetal do solo.

Quatro dias após o maior evento monitorado em 30 de outubro ocorreu outro evento de grande magnitude, o qual se caracterizou por um curto período de tempo e alta umidade antecedente do solo. A aveia preta nesse período encontrava-se em estágio de maturação

fisiológica, a qual proporcionava uma boa cobertura ao solo, e amortizava o impacto da gota de chuva.

No mês de dezembro, apesar da precipitação acumulada de 228 mm, não foram registrados eventos de escoamento superficial. Durante o verão as chuvas ocorrem em forma de pancadas rápidas, em condições de solo mais seco devido a elevada evapotranspiração.

No início de janeiro ocorreu uma precipitação de 25 mm que gerou escoamento, pois aconteceu solo próximo a capacidade de campo. No final do mês, a cobertura do solo era maior, um novo evento foi monitorado com precipitação acumulada de 24 mm, bem característico de chuvas de verão, onde ocorrem pancadas de alta intensidade.

Após a colheita da soja ocorreu um evento com uma precipitação acumulada de 31 mm com baixa quantidade de resíduos, período crítico numa condição de elevado volume de precipitação.

Os eventos monitorados representam diferentes magnitudes, as quais foram capazes de gerar escoamento sob, também, condições distintas de uso e cobertura vegetal do solo, apesar do período englobar apenas um ciclo produtivo (desde a implantação da cultura de inverno até a colheita da safra de verão). Apesar do número significativo de eventos acompanhados é importante frisar que do ponto de vista hidrológico o período é curto e extrapolações dos resultados como tendências de longo prazo não devem ser realizadas. Espera-se que experimento para ser conduzido por um longo período, gerando tendência entre as variáveis com menores incertezas devido ao maior tempo de monitoramento.

5.3 Monitoramento da vazão e variáveis relacionadas

Na tabela 9 são apresentados os valores de volume total escoado e vazão máxima em função da precipitação monitorada nas duas bacias. O evento do dia 23/07/2014 foi o evento de maior magnitude considerando as variáveis de resposta. Nesse evento houve uma perda significativa de água na bacia CT, pois um desnível na extremidade do último terraço permitiu que a água transbordasse gerando tal resultado. Mesmo assim, a vazão de pico na bacia ST foi três vezes maior, $117 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ e na CT de $34 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. O problema identificado no referido terraço foi resolvido logo após o evento.

Durante o evento do dia 02/09/2014 a precipitação também foi de 65 mm, mas a resposta hidrológica foi completamente diferente. Nesse evento os volumes totais escoados nas duas áreas foram significativamente menores, mas a relação entre as duas se manteve coerente. Na

bacia ST a perda de água foi de 17 m³ e na CT de 0,9 m³. O mesmo volume de precipitação não gerou as mesmas perdas, sendo outros fatores determinantes como a umidade do solo, cobertura do solo no momento e a intensidade e o tempo de duração da chuva. A vazão de pico na bacia ST foi de 3,4 L.s⁻¹ e na bacia CT de 0,6 L.s⁻¹.

O evento do dia 10/09/2014 (31mm) apesar do curto intervalo da última chuva, apresentou um volume total escoado pequeno (1,45m³ e 0,8m³). Na sequência, após 4 dias (14/09/2014) um volume de 41 mm resultou em elevado volume de escoamento bem como de vazão de pico. Nesse exemplo, nota-se, claramente, a dependência entre os eventos de chuva, onde a magnitude da precipitação não apresenta uma forte correspondência com a magnitude do escoamento.

Por fim, no mês de setembro (30/09/2014) houve outro evento significativo (45 mm) com elevada umidade do solo, condicionando a perdas elevadas na bacia ST (107 m³). Nesse evento a bacia CT apresentou um volume 20 vezes menor (6 m³).

Durante o mês de outubro, os três eventos em sequência apresentaram um incremento na diferença entre as áreas. Isso foi devido, possivelmente, ao umedecimento gradativo do solo ao longo da série de eventos. Mesmo que a precipitação tenha sido menor no fim as respostas foram maiores. Isso mostra claramente, a complexidade da formação do escoamento dependente da umidade antecedente e a importância da medida de controle do escoamento.

A maior pluviosidade acumulada foi de 69 mm, ocorrida no dia 30/10/2014. Apesar da alta precipitação, os valores de perda de água não foram os maiores monitorados, sendo que nas bacias ST o volume escoado foi de 3,2 m³ e na CT de 0,4 m³. Podemos enfatizar que apesar do alto volume de chuva, as características da chuva, umidade e a cobertura vegetal geraram menores valores de escoamento.

O segundo maior evento monitorado (03 a 04 de novembro) apresentou volume total escoado na bacia ST de 144m³, e na bacia CT 14 m³ para uma precipitação acumulada de 51mm, demonstrando claramente uma elevada perda de água na ST, sendo 10 vezes maior em relação a CT. A vazão máxima na bacia ST chegou 110 L.s⁻¹ contra 18 L.s⁻¹ na CT. Esse evento demonstra que, mesmo em condição de boa cobertura e mesmo para uma precipitação intermediária, as perdas de água são significativamente importantes e que uma medida mecânica controlaria esse processo de perda e degradação (Figura 33). Da mesma forma, o evento do dia 01/01/2015 com 25 mm, também resultou num volume total escoado razoável na bacia ST de 98 m³ e na bacia CT de 7 m³, sendo que as perdas na bacia sem prática mecânica foram 14 vezes maiores que na com prática mecânica.

Já o evento do dia 27/01/2015 foi característico das chuvas de verão com uma precipitação acumulada de 24 mm e alta intensidade, resultando num volume total escoado de 8 m³ na bacia ST e de 0,5 m³ na CT, também podemos notar uma larga diferença entre as duas bacias. A pluviosidade de 31 mm ocorrida no dia 29/03/2015 teve um volume total escoado nas duas bacias relativamente baixo.

Os resultados da tabela 9 demonstram que (i) a magnitude das perdas de água no sistema de produção sem terraço é elevado e significativo; (ii) a diferença para com o sistema com terraço variou de 2 a 30 vezes em relação ao sistema sem terraço dependendo da precipitação, umidade e cobertura do solo; e (iii) considerando os valores de vazão máxima, que tem forte relação com a habilidade do escoamento em erodir, também vemos diferenças significativas, indicando que na condição sem terraço, além de perder água essa se propaga com alta velocidade e, conseqüentemente, com alta capacidade de desagregar e transportar.



Figura 33 – Bacia ST após evento pluviométrico 03 e 04 de novembro de 2014.

Tabela 9 - Variáveis de vazão de pico e volume total escoado nas duas bacias pareadas, em Júlio de Castilhos.

Data	PPt		Bacia	Vol, Escoado	Q pico
	mm	5 dias		m ³	L.s ⁻¹
17/07/2014	23	0	ST	1,7	1,1
			CT	Sem dados	
23/07/2014	65	23	ST	300,0	117,0
			CT	78,0	34,3
02/09/2014	65	10	ST	17,0	3,4
			CT	0,9	0,6
10/09/2014	31	60	ST	1,5	1,0
			CT	0,8	1,1
14/09/2014	41	37	ST	101,0	39,4
			CT	3,3	3,0
30/09/2014	45	74	ST	107,0	14,7
			CT	6,0	1,2
17/10/2014	26	13	ST	1,1	0,3
			CT	0,4	0,1
18/10/2014	14	34	ST	2,1	0,2
			CT	0,5	0,1
19/10/2014	19	47	ST	62,2	8,2
			CT	2,1	0,7
30/10/2014	69	0	ST	3,2	0,6
			CT	0,4	0,0
03 e 04/11/14	51	59	ST	144,0	110,0
			CT	14,0	18,4
01/01/2015	25	0	ST	98,0	36
			CT	6,6	11,5
27/01/2015	24	15	ST	8,0	4
			CT	0,5	0,8
29/03/2015	31	21	ST	0,4	0,2
			CT	0,1	0,1

ST – sem prática mecânica, CT – com prática mecânica, PPT – precipitação (mm), Qpico – vazão de pico (L.s⁻¹), 5 dias – precipitação antecedente nos últimos cinco dias.

Na tabela 10 são apresentadas outras variáveis que expressam informações importantes em relação aos totais observados entre os eventos, são elas: tempo de duração da chuva (horas), tempo de duração do escoamento superficial (horas), lâmina de escoamento superficial perdido

(mm), infiltração total aparente (mm) e o coeficiente de escoamento superficial (%) para MST e MCT.

Tabela 10 - Dados do tempo de duração, escoamento superficial e a infiltração aparente.

Data	PPt		Bacia	ES		I	C
	horas	mm		horas	mm		
17/07/2014	03:15	23	ST CT	02:15	0,1	22,9	0,3
					Sem dados		
23/07/2014	17:15	65	ST CT	09:00 08:55	12,0 3,3	53,0 61,7	19 9,1
02/09/2014	05:30	65	ST CT	06:20 03:20	0,7 0,04	64,3 65,0	1,07 0,06
10/09/2014	06:50	31	ST CT	04:20 01:25	0,06 0,03	30,9 31,0	0,2 0,1
14/09/2014	02:20	41	ST CT	04:05 03:50	4,2 0,1	36,9 40,9	10 0,4
30/09/2014	17:15	45	ST CT	18:35 11:55	4,4 0,3	40,6 44,7	9,8 0,6
17/10/2014	08:45	26	ST CT	07:15 07:10	0,05 0,0	26,0 26,0	0,2 0,1
18/10/2014	08:15	14	ST CT	07:35 07:35	0,08 0,0	13,9 14,0	0,6 0,1
19/10/2014	08:30	19	ST CT	11:15 08:50	2,6 0,1	16,4 18,9	13,0 0,4
30/10/2014	12:12	69	ST CT	04:30 03:20	0,1 0,02	68,9 69,0	0,3 0,02
03 e 04/11/14	06:45	51	ST CT	07:00 04:55	6,0 0,6	45,0 50,4	11,0 1,1
01/01/2015	02:45	25	ST CT	03:40 01:26	4,0 0,3	21,0 24,7	16 0,9
27/01/2015	03:15	24	ST CT	01:45 00:20	0,3 0,0	23,7 24,0	1,3 0,1
29/03/2015	04:22	31	ST CT	01:09 01:05	0,02 0,00002	31,0 31,0	0,06 0,02

PPt: precipitação (duração em horas e lâmina em mm), ES: escoamento superficial (duração em horas e lâmina em mm), I: infiltração aparente, C: coeficiente de escoamento.

Podemos observar que o tempo de duração total dos eventos apresentou diferentes magnitudes durante o período de avaliação. Podemos dividir o grupo de eventos em três faixas de duração: 4 eventos com 2 a 4 horas, 7 eventos com 5 a 10 horas, 3 eventos com mais de 10 horas. Os dois eventos de maior duração foram de 17:15 horas, sendo que ocorreram no dia 23/07/2014 e no dia 30/09/2014 com lâmina acumulada de precipitação de 65 e 45 mm respectivamente, os quais resultaram em elevadas perdas de água pelo escoamento superficial.

Podemos considerar o evento do dia 17/07/2014 o de maior magnitude monitorado. O tempo de duração do escoamento superficial na ST e CT foi semelhante, entretanto os valores de C foram sensivelmente diferentes, na bacia ST com 19 % e na CT com 9 %. Consideramos que o valor de C para a bacia sem terraço está muita além do que se espera para um sistema de produção agrícola, indicando o desequilíbrio hidrológico. Podemos destacar que na bacia CT o valor também alto encontrado foi devido à uma falha na execução de um terraço em que houve um transbordamento.

Na bacia ST, dos eventos monitorados, 43% apresentaram coeficiente de escoamento superficial >10%, Refletindo obviamente na menor infiltração aparente. Na bacia CT apenas um evento resultou num C próximo a 10%, o restante dos eventos não atingiram 2%. Podemos considerar que 53% dos eventos monitorados na bacia ST não resultaram em perda de água consideráveis para o sistema agrícola, onde a porcentagem de escoamento superficial não foi superior a 1,5%. Na bacia com prática mecânica 92% dos eventos não obtiveram porcentagem de escoamento superficial superior a 1,5%, indicando a capacidade de reduzir as perdas de água no sistema, situação favorável para o desenvolvimento de práticas agrícolas, sem causar dano aos recursos naturais.

O tempo de duração do escoamento superficial na bacia ST é, naturalmente, superior a CT. Na bacia CT a origem do escoamento refere-se apenas a distância do último terraço e o vertedor (~30m). Na bacia ST a água proveniente de áreas mais altas demoram mais para chegar ao vertedouro da bacia.

5.5 Monitoramento da concentração de sedimento em suspensão e variáveis relacionadas

Na tabela 11 são apresentados os valores da concentração de sedimento em suspensão (CSS) média e máxima e a produção de sedimento total (PS) registrada durante o período de monitoramento para os mesmos eventos mostrados na tabela 10.

Em geral os valores da CSS na bacia CT foram maiores do que na bacia ST. A explicação para isso é a mobilização de solo para a construção dos terraços, disponibilizando sedimento para o seu transporte. O material que chega até o vertedor na CT é proveniente do último terraço.

Tabela 11 - Valores da concentração de sedimentos em suspensão e produção total de sedimentos para os eventos monitorados na bacia ST e CT em Júlio de Castilhos.

Data	Bacia	CSS _{max}	CSS _{med}	PS
		g L ⁻¹		Kg
17/07/2014	ST	6,2	1,8	11,1
	CT		Sem dados	
23/07/2014	ST	3,0	0,6	623,0
	CT	8,1	1,5	295,0
02/09/2014	ST	1,2	0,2	5,7
	CT	1,9	1,3	1,1
10/09/2014	ST	0,6	0,1	0,4
	CT	2,1	0,5	0,7
14/09/2014	ST	0,3	0,1	9,1
	CT	1,5	0,8	3,8
30/09/2014	ST	0,2	0,0	3,5
	CT	0,1	0,4	0,9
17/10/2014	ST	0,2	0,1	0,1
	CT	0,2	0,0	0,0
18/10/2014	ST	0,1	0,1	0,1
	CT	0,1	0,1	0,0
19/10/2014	ST	0,4	0,1	3,9
	CT	2,3	0,4	1,7
30/10/2014	ST	0,0	0,0	0,0
	CT	0,2	0,1	0,0
03 e 04/11/14	ST	0,1	0,1	5,7
	CT	1,3	0,6	12,3
01/01/2015	ST	0,1	0,5	8,3
	CT	0,7	0,3	3,4
27/01/2015	ST	0,2	2,2	2,7
	CT	0,9	1,2	0,3
29/03/2015	ST	0,1	0,4	0,1
	CT	0,1	0,1	0,0

ST – sem pratica mecânica, CT com prática mecânica, CSS máx – concentração sedimento em suspensão máxima, CSS méd – concentração sedimento em suspensão média, PS – produção sedimento total.

No segundo evento (23/07/2014) a CSS atingiu o valor máxima de 3 g.L⁻¹ na bacia ST e de 8 g.L⁻¹ na CT. Gradativamente os valores de CSS na bacia CT foram reduzindo ao longo do período pela exaustão do material mobilizado. O valor de 3 g.L⁻¹ na bacia ST entendemos ser devido aos fatores controladores da erosão e não da interferência na construção dos camalhões divisores, já que não foi evidenciado processo erosivo dentro do camalhão. Essas condições iniciais resultaram numa produção total de sedimentos de 295 Kg na CT e de 623 kg na ST. No mês de julho a aveia preta estava no início do estágio vegetativo, período em que a

área se encontrava com baixa cobertura vegetal e o solo se encontrava úmido devido a evento antecedente, o que favoreceu para a ocorrência de elevadas perdas de solo.

Outros eventos atingiram concentrações altas em diferentes épocas do ano, porém como as vazões não foram expressivas não resultou em valores altos da PS. Podemos considerar o evento do dia 19/10/2014 em que $CSS_{máx}$ na CT atingiu $2,3 \text{ g.L}^{-1}$, mas a vazão não foi significativa, reduzindo a produção final de sedimento. Basicamente, a magnitude da PS é governada pela Q e não pela CSS. Indicando que o processo erosivo é limitado pela desagregação. Isso significa que fatores que aumentem a exposição do solo e que reduzam a estabilidade de agregados podem repercutir em maior erosão e elevadas perdas de solo.

No mês de setembro ocorreram uma série de eventos em sequência com elevadas precipitações, que favoreceu a saturação do solo e a geração do escoamento superficial, porém não gerou elevada produção de sedimento. O solo nesse período apresentava boa cobertura vegetal que aumentou a estabilidade do solo à desagregação. A maior produção de sedimento que ocorreu durante esse período foi no dia 14/09/2014 na bacia ST, sendo o valor total perdido foi de 9 kg.

Durante o mês de outubro ocorreu uma sequência de eventos durante três dias, o que também favoreceu a formação do escoamento superficial. Entretanto, a produção de sedimento foi pequena, 3,9 kg na ST e 1,6 kg na CT. Isso é o reflexo de uma boa cobertura vegetal na área, o que condiciona uma redução na perda de sedimento.

5.5. Análise dos hidrogramas e dos sedimentogramas

Além das diferenças representadas pelo volume total e vazão de pico, esse trabalho também realizou a análise dos hidrogramas e dos sedimentogramas. Entendemos que a medição da variabilidade intraevento da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão pode contribuir para o entendimento do processo de transferência de água e sedimentos em função da precipitação e da cobertura no momento, já que as descargas líquidas e sólidas são um reflexo da dissipação da energia.

Abaixo são apresentados os gráficos dos eventos monitorados, com os objetivos de: (i) mostrar o comportamento da vazão (Q) e da concentração de sedimentos (CSS) ao longo do tempo em resposta à precipitação (Ppt); e (ii) demonstrar as diferenças entre o comportamento das bacias com e sem terraço considerando a Q e a CSS.

Os aspectos que buscamos caracterizar, nos diferentes eventos, identificando padrões distintos entre as bacias foram:

- (i) a reprodução na Q dos picos de PPt;
- (ii) a duração da Q em relação à duração da PPt;
- (iii) a declividade da ascensão e recessão da Q;
- (iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia;
- (v) a exaustão de sedimentos.

Evento 17/07/2014

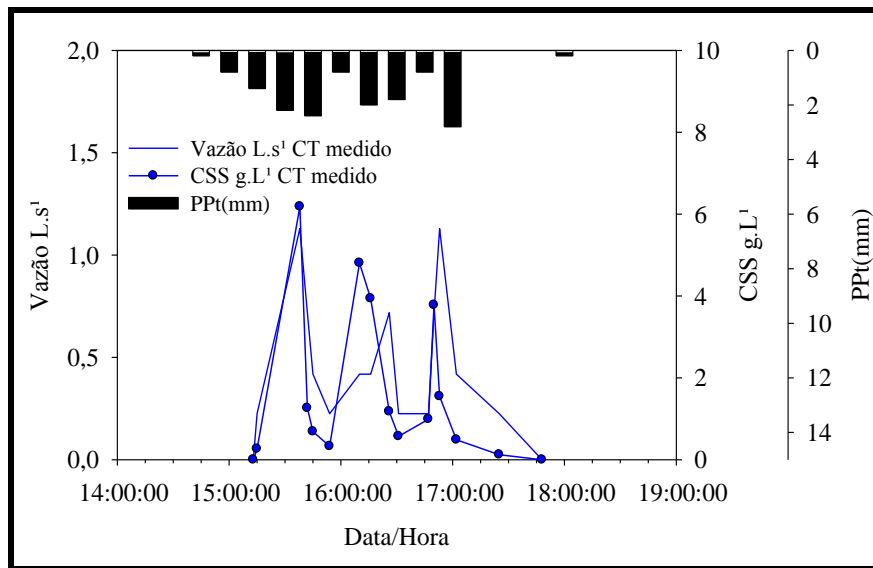


Figura 33 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma de 17/07/2014 na bacia ST.

O primeiro evento monitorado ocorreu no dia 17/07/2014 (Figura 33), logo após o término da instalação das estações de monitoramento. Podemos considerar um evento “teste” perante o comportamento das variáveis hidrossedimentológica. Nesse evento não foi monitorado a bacia CT por problemas na definição dos limites. Nesse evento os equipamentos como linígrafo e o turbidímetro não estavam em operação. Por isso, os valores apresentados são aqueles medidos manualmente durante o evento. A medição da cota ocorreu conforme mudança da altura durante a subida e descida.

(i) A reprodução na Q dos picos de PPt: houve um ótima correspondência entre os picos de Q e de PPt.

(ii) A duração da Q em relação à duração da PPt: a duração da onda de cheia é semelhante à duração do evento pluviométrico.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão foi maior do que a recessão.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: ocorre uma antecipação da onda de sedimentos, indicando uma histerese no sentido horário.

(v) a exaustão de sedimentos: houve uma leve exaustão na terceira onda de cheia.

Como esse evento ocorreu num período crítico de cobertura do solo e com alto volume de escoamento, vemos uma resposta rápida com alta capacidade de desagregação e de transporte. Vemos também hidrogramas triangulares com duração e vazão de pico facilmente definidos.

Evento 23/07/2014

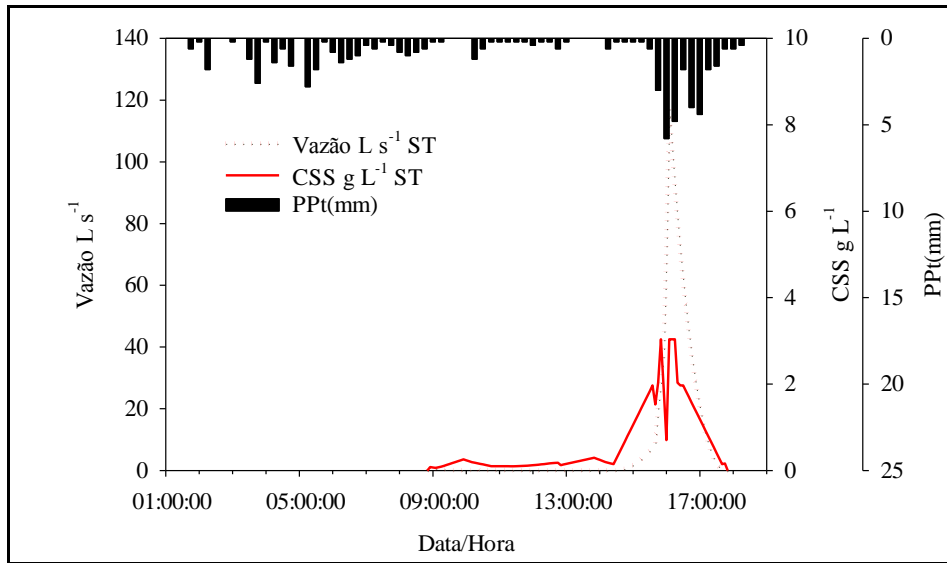


Figura 34 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 na bacia ST.

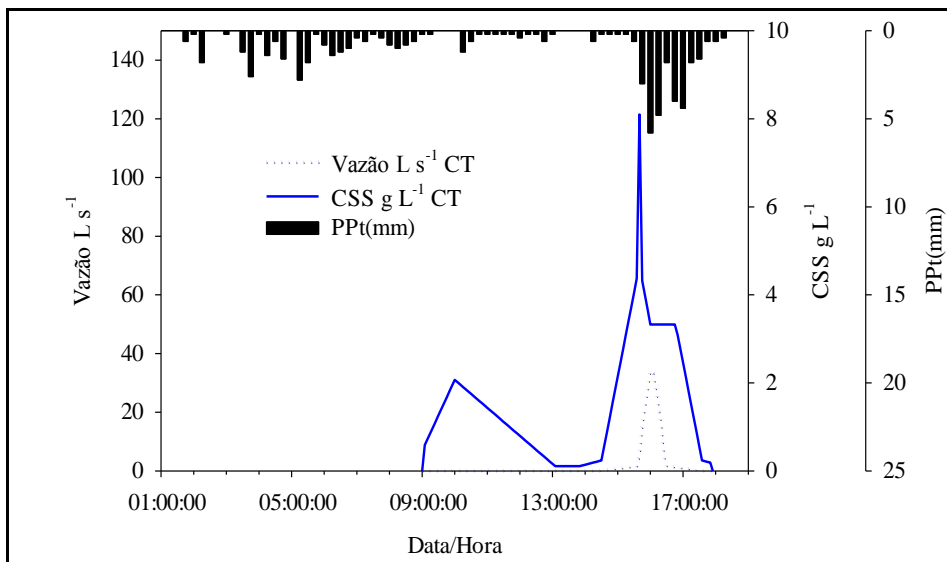


Figura 35 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 na bacia CT.

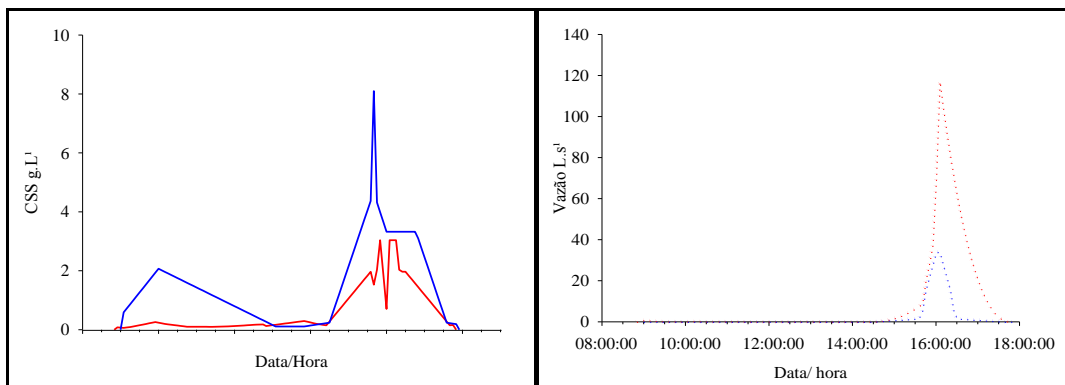


Figura 36 - Hidrograma e sedimentograma do evento 23/07/2014 nas bacias ST e CT.

Esse evento pluviométrico se caracteriza por uma chuva do tipo atrasada, gerando uma condição de umidade antecedente muito importante para o momento de maior intensidade e volume de chuva. Isso determinou sua alta magnitude em ambas as bacias. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve um ótima correspondência entre os picos de Q e de PPt para ambas as bacias, mas evidentemente que na ST o pico foi significativamente maior, mas respeitando o mesmo padrão.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia na ST e menor na CT.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão foi semelhante à recessão em ambas as bacias, mas na ST a declividade é maior indicando maior velocidade no escoamento superficial. O início do escoamento ocorre no mesmo tempo, mas na bacia ST ele perdura por mais tempo devido a maior área de contribuição.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: na bacia ST ocorre uma leve antecipação da onda de sedimentos, mas houve a coincidência dos picos; na bacia CT ocorre uma elevada CSS antes da onda de cheia e na onda de cheia uma nova onda de material mobilizado, consideramos que esse material é o reflexo do material mobilizado na construção dos terraços, sendo a justificativa para os maiores valores de CSS na bacia CT.

(v) a exaustão de sedimentos: aparentemente não há exaustão de sedimentos durante a onda de cheia.

Evento 02/09/2104

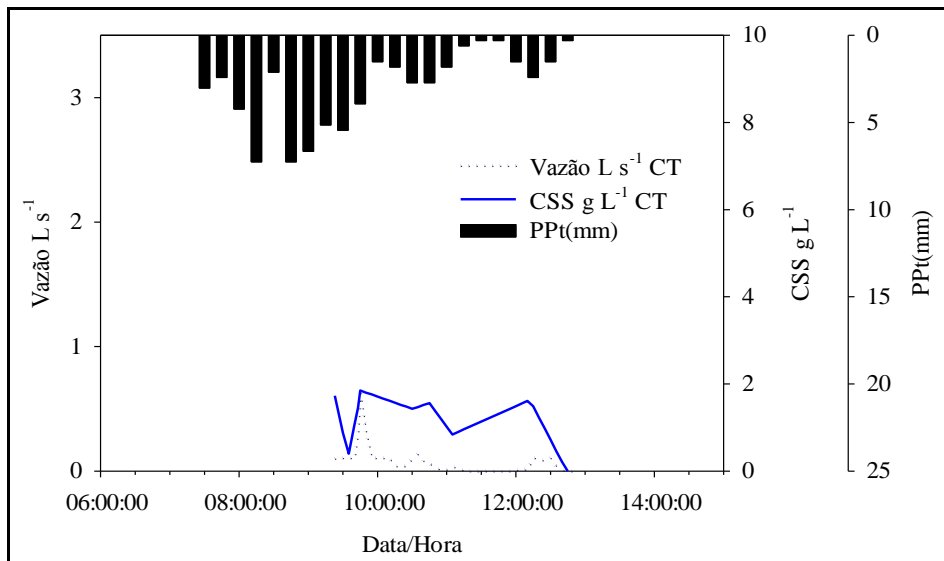


Figura 37 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 na bacia CT.

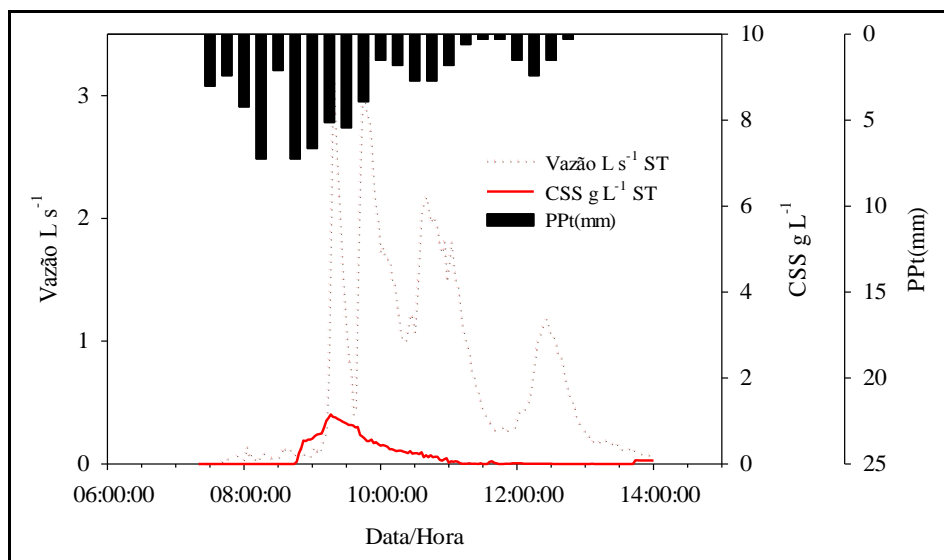


Figura 38 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 na bacia ST.

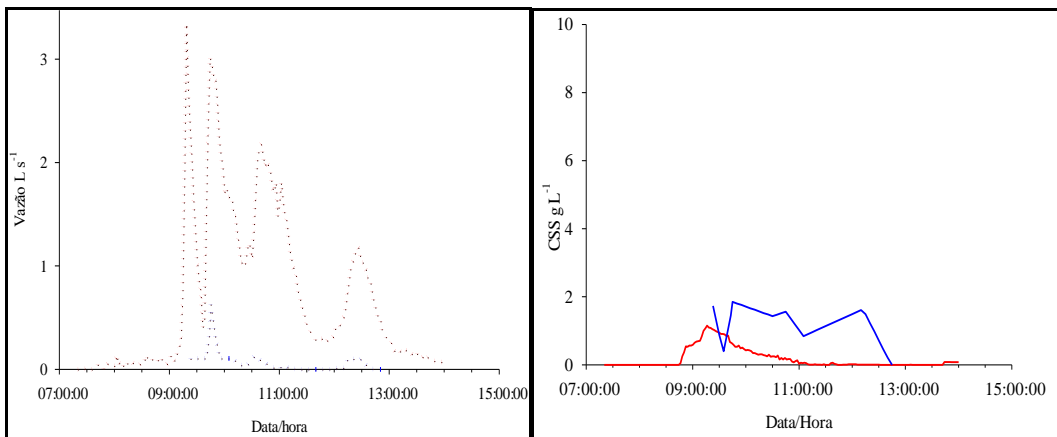


Figura 39 - Hidrograma e sedimentograma do evento 02/09/2014 das bacias ST e CT.

Nesse evento, na bacia ST, já estava em operação o monitoramento automático (linígrafo e turbidímetro). Na bacia CT o monitoramento foi ainda manual e começou 1h após o início do evento. Entretanto como podemos observar na ST os maiores picos aconteceram após as 9:00. Possivelmente, houve a perda de dados do primeiro pico do hidrograma na ST, mas, considerando o comportamento dos eventos anteriores, este deve ter sido equivalente ao primeiro. Nesse mês, a cultura de inverno se encontrava com bom estágio de cobertura vegetal. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve uma ótima correspondência entre os picos de Q e de PPt para a bacia ST, com quatro picos bem definidos para ambas as variáveis. Na bacia CT o primeiro pico foi perdido e o terceiro e quarto pico foram inexpressivos.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia na ST e menor na CT.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão foi maior do que à recessão na ST. Comparativamente aos outros eventos houve um tempo maior para a resposta na elevação da onda de cheia.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: na bacia ST ocorre uma leve antecipação da onda de sedimentos, mas houve a coincidência dos picos; na bacia CT ocorre uma maior CSS, possivelmente, ainda originada do reflexo do material mobilizado na construção dos terraços.

(v) a exaustão de sedimentos: na bacia ST há claramente uma exaustão de sedimentos após o primeiro pico de vazão.

Evento 10/09/2014

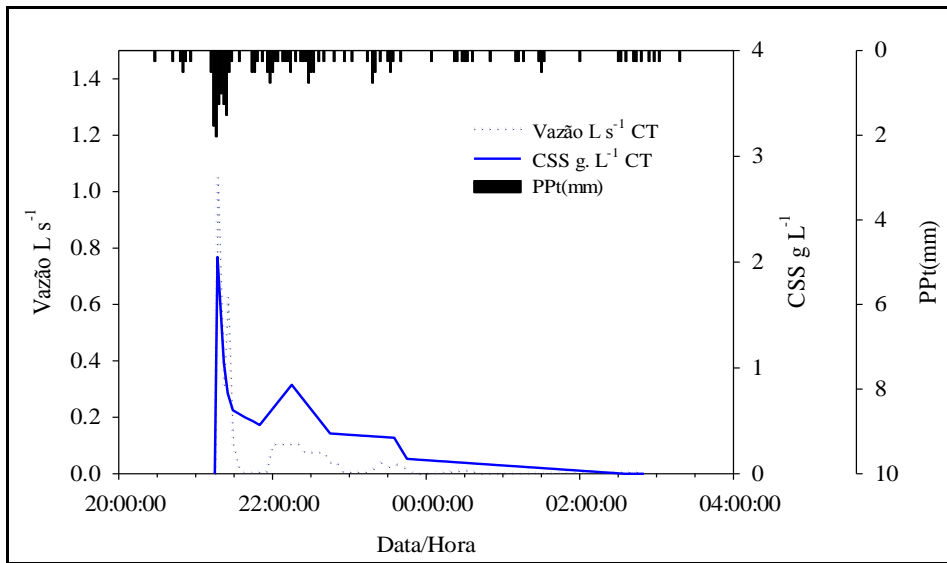


Figura 40 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 na bacia CT.

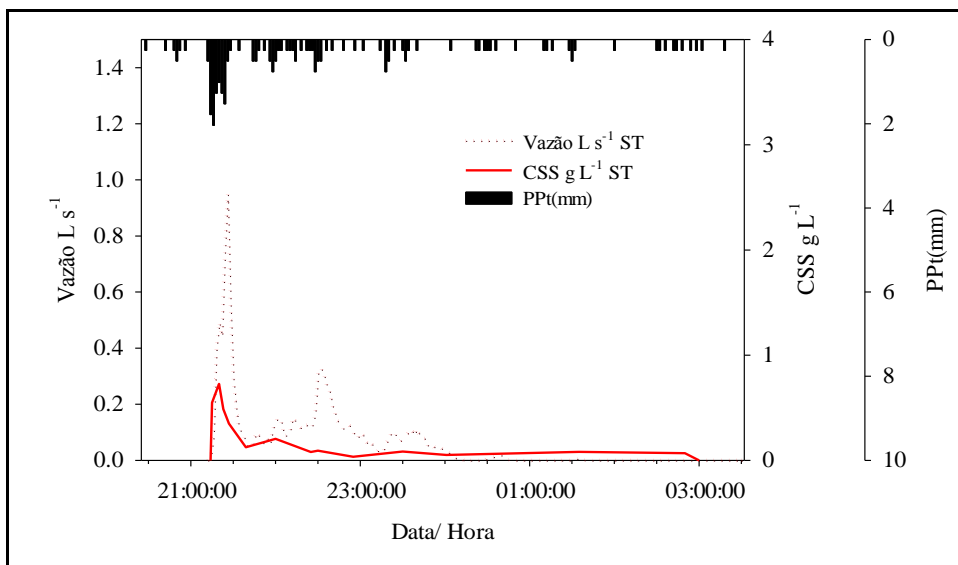


Figura 41 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 na bacia ST.

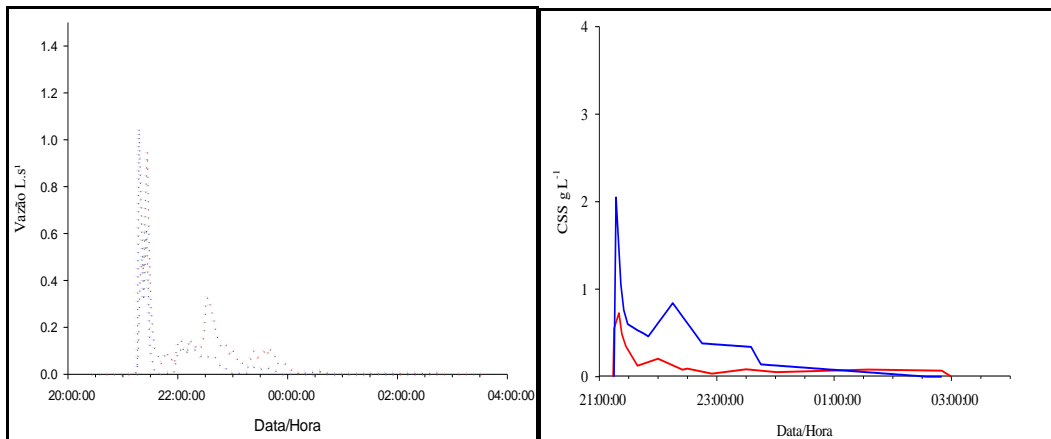


Figura 42 - Hidrograma e sedimentograma do evento 10/09/2014 das bacias ST e CT.

Esse evento foi de pequena magnitude em termos de resposta, basicamente pelo tipo de precipitação (adiantada) onde a maior intensidade ocorreu no início. Possivelmente, o escoamento superficial que atingiu o vertedor das bacias foi aquele proveniente do terço inferior da bacia e, por isso, a semelhança entre os valores de escoamento das duas bacias. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve um ótima correspondência entre os picos de Q e de PPt para as duas bacias no momento de maior precipitação, os outros picos de intensidade de chuva não apresentaram uma correspondência clara em função de sua menor magnitude.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia nas duas bacias para o momento de maior intensidade, mas na CT é relativamente menor considerando todo o evento.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é semelhante à recessão nas duas áreas para o momento de maior intensidade.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: nas duas bacias ocorre uma leve antecipação da onda de sedimentos; na bacia CT ocorre uma maior CSS possivelmente ainda originada do reflexo do material mobilizado na construção dos terraços.

(v) a exaustão de sedimentos: na bacia ST pode ter havido uma exaustão de sedimentos, pois no segundo pico de Q não há resposta na CSS, mas o segundo pico de Q não tem a mesma magnitude e, por isso, a mesma capacidade de desagregação e transporte.

Esse evento de baixa magnitude e com essa condição de cobertura do solo não resultou em expressivas perdas de água e sedimento nas duas condições monitoradas. As perdas são quase nulas se comparadas às outras situações observadas.

Evento 14/09/2014

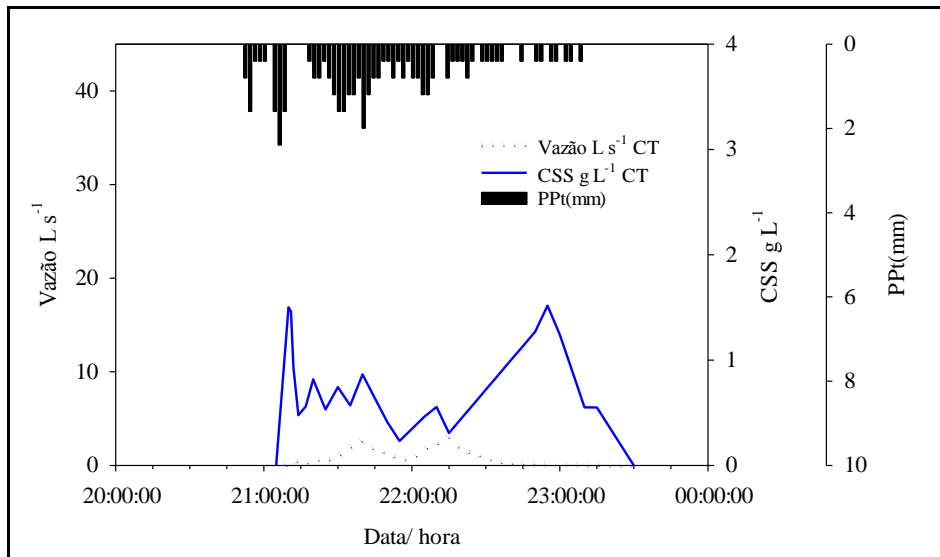


Figura 43 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 na bacia CT.

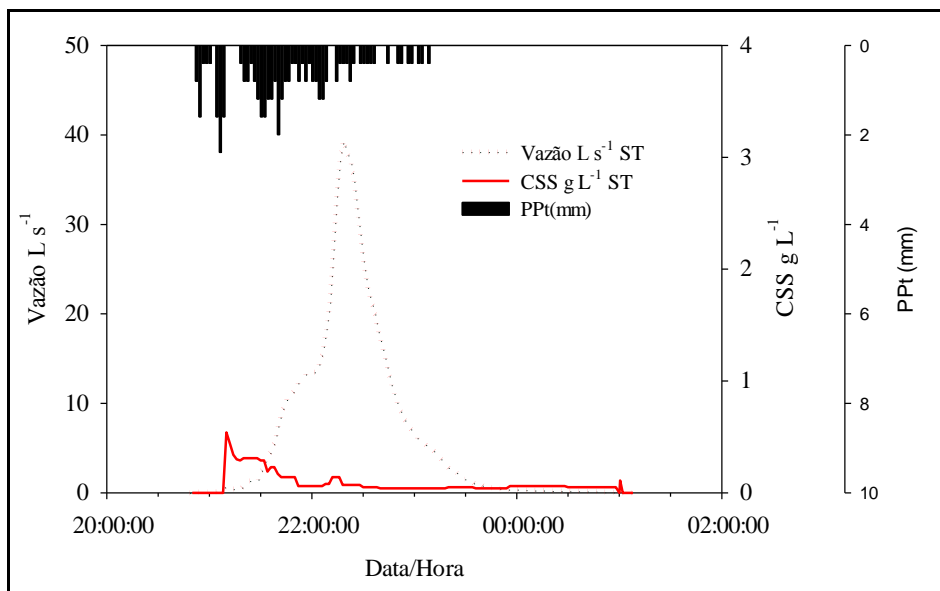


Figura 44 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 na bacia ST.

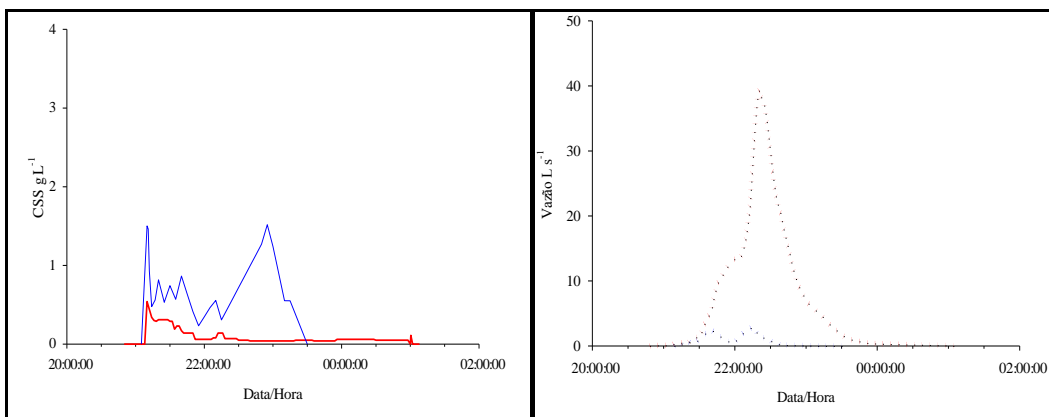


Figura 45 - Hidrograma e sedimentograma do evento 14/09/2014 das bacias ST e CT

Esse, também, é um evento pluviométrico adiantado, mas melhor distribuído em relação ao anterior. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: não houve uma correspondência entre os picos de Q e de PPt para as duas bacias, a razão para isso, possivelmente, está relacionada com o padrão distribuído da chuva.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia nas duas bacias, mas na CT a duração é menor.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é menor do que a recessão na ST e semelhante na CT, importante salientar que a declividade é menor comparando com os eventos anteriores.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: Uma forte antecipação na onda do sedimentograma, respondendo ao primeiro pico de precipitação que não gerou um pico significativo de vazão. O último pico de sedimentos na bacia CT apresenta um comportamento atípico, já que houve um pico de sedimentos no fim do evento.

(v) a exaustão de sedimentos: na bacia ST houve uma clara exaustão de sedimentos, com uma resposta significativa no primeiro evento de PPt, mas no segundo pico de PPt em que houve a resposta na Q, não houve resposta na CSS.

Mesmo que os resultados da CSS tenham sido maiores na bacia CT, a importância dos terraços no controle da Q é evidente. As perdas de água na bacia ST foram elevadas, o que evidência a eficiência dos terraços no controle do escoamento superficial em situações de alta precipitação, mesmo em condição de boa cobertura vegetal. A produção total de sedimentos não representa uma magnitude preocupante para a magnitude desse evento e para essa condição de cobertura.

Evento 30/09/2014

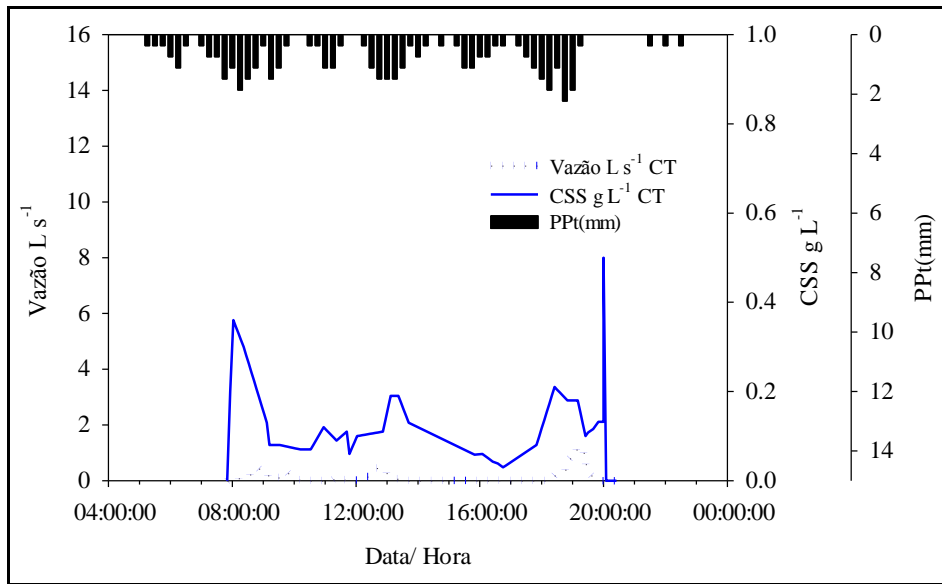


Figura 46 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 na bacia CT.

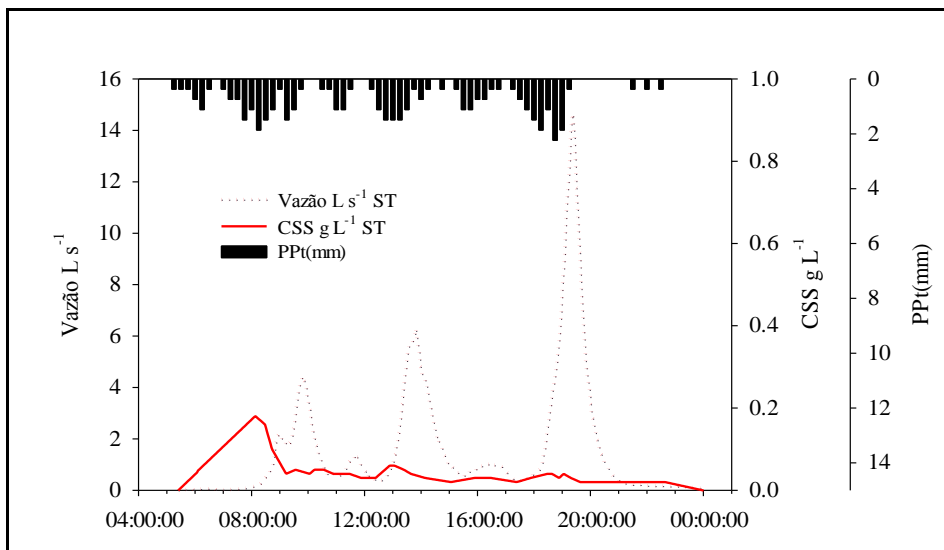


Figura 47 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 na bacia ST.

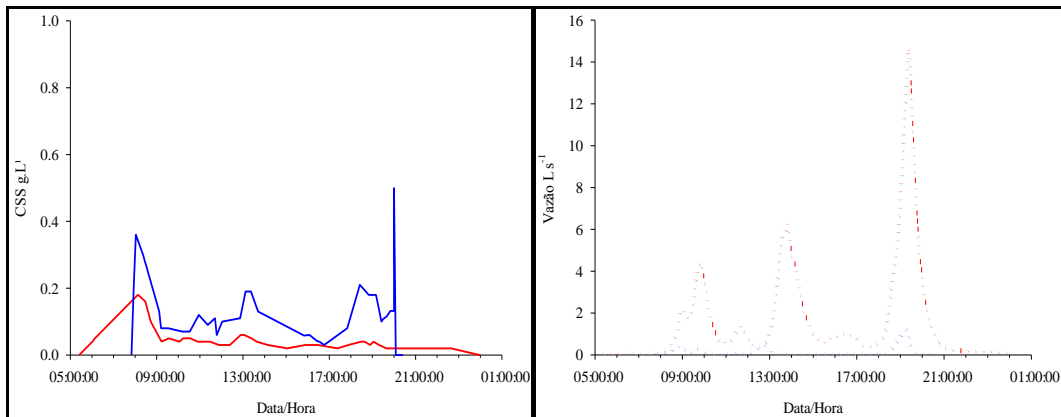


Figura 48 - Hidrograma e sedimentograma do evento 30/09/2014 das bacias ST e CT.

Esse é um evento com múltiplos picos de intensidade de chuva, sendo o maior ocorrendo no final (atrasado). Representando uma condição favorável para a ocorrência de escoamento, Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: ocorre uma boa correspondência entre os picos, sendo mais evidente na bacia ST pela maior magnitude.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia na bacia ST, sendo na CT menor pela menor área de contribuição, que se refere apenas a área abaixo do último terraço.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é semelhante da recessão nas duas áreas.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: ocorre uma antecipação na onda do sedimentograma nas duas bacias, sendo que o último pico de sedimentos na bacia CT apresentou, novamente, um comportamento atípico.

(v) a exaustão de sedimentos: na bacia ST houve uma clara exaustão de sedimentos, com uma resposta significativa no primeiro evento de PPt, mas nos outros a CSS não respondeu a alteração da PPt nem da Q.

Podemos considerar um evento de longa duração, com mais de 17 horas onde a precipitação acumulada atingiu 41 mm. O comportamento das duas bacias demonstra que, com aumento da umidade do solo, os valores da vazão se elevaram no decorrer do evento. A produção de sedimentos não foi elevada na bacia ST, pois o pico de CSS não coincidiu com o pico de Q.

Evento 17/10/2014

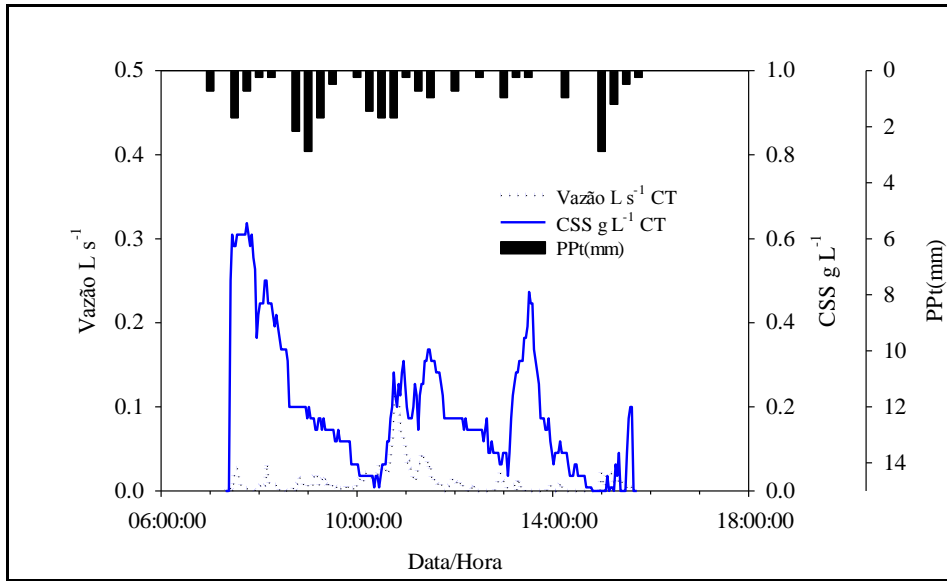


Figura 49 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 na bacia CT.

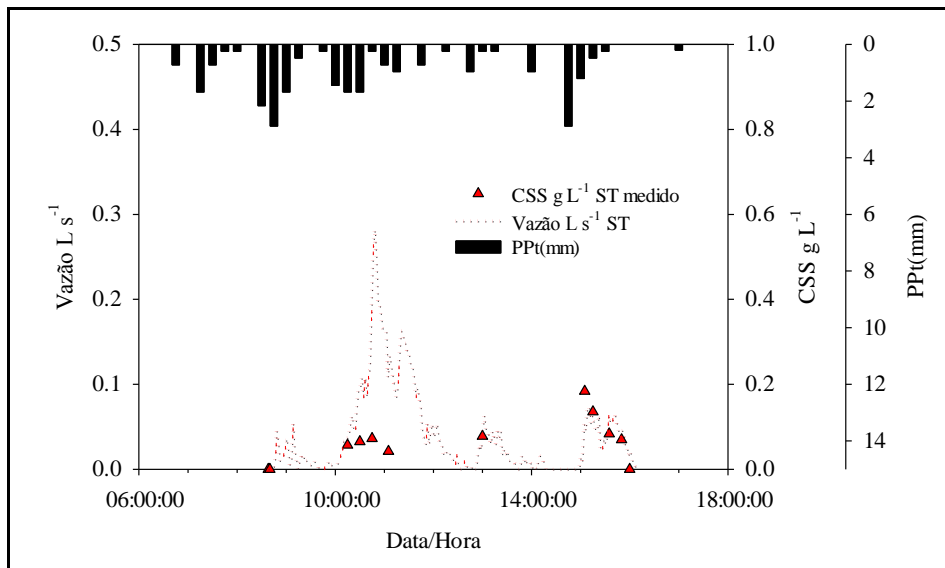


Figura 50 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 na bacia ST.

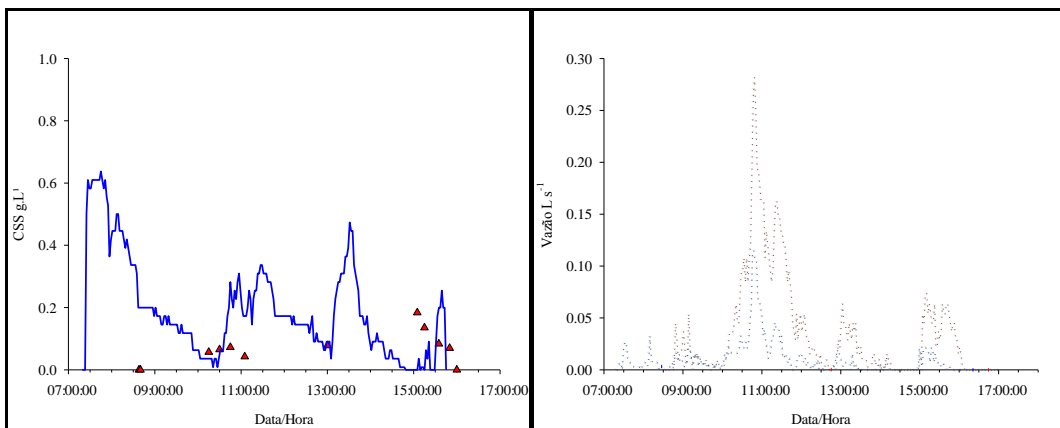


Figura 51 - Hidrograma e sedimentograma do evento 17/10/2014 das bacias ST e CT.

Esse foi evento de baixa magnitude (26 mm) e de longa duração de aproximadamente nove horas. Aparentemente a partir de outubro o efeito da vegetação na forma dos hidrogramas é mais visível aumentando a amortização da propagação do escoamento. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PpT: não ocorreu a correspondência entre os picos, possivelmente controlada pela baixa taxa de precipitação e, também, pela maior cobertura do solo. Tais inferências só poderão ser respondidas por um número maior de eventos monitorados e a utilização de modelos matemáticos validados.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia na bacia ST, sendo na CT menor pela menor área de contribuição.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é semelhante da recessão nas duas áreas.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: ocorre uma antecipação na onda do sedimentograma na bacia ST, e o comportamento da bacia CT foi, novamente, atípico.

(v) a exaustão de sedimentos: na bacia ST houve uma redução ao longo do tempo, mas houve resposta nos picos de vazão subsequentes.

Evento 18/10/2014

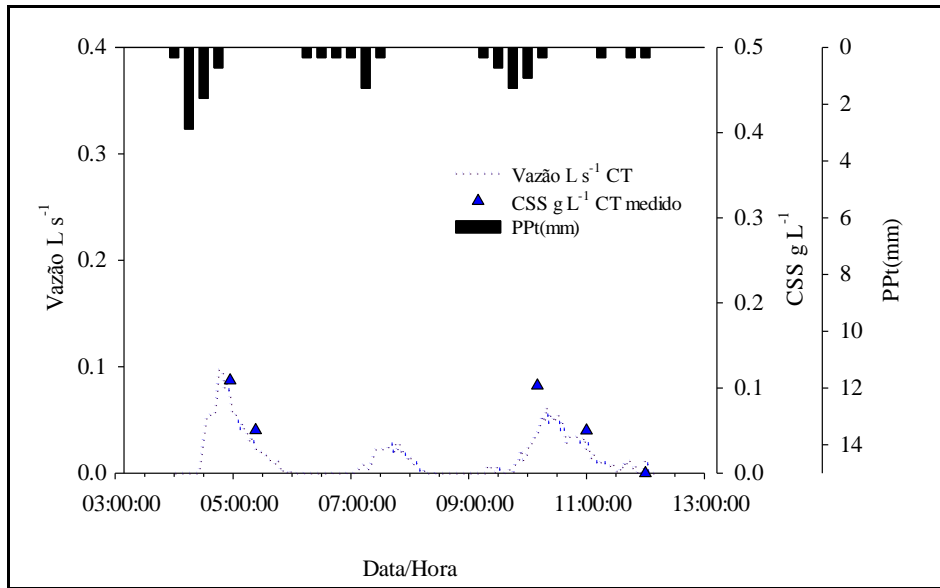


Figura 52 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 na bacia CT.

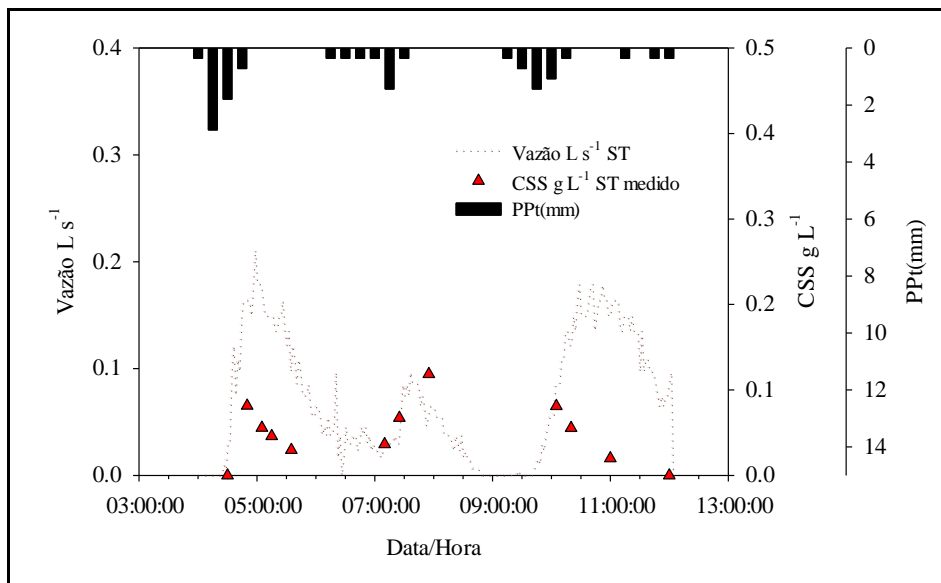


Figura 53 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 na bacia ST.

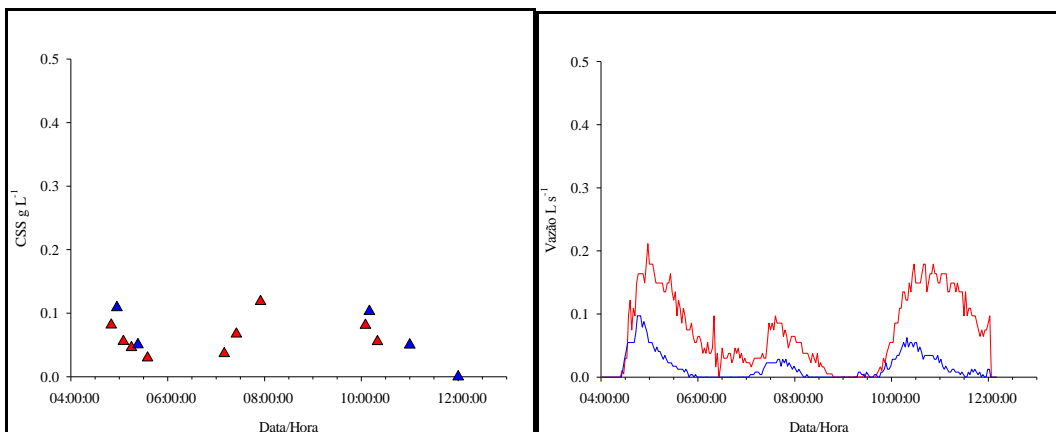


Figura 54 - Hidrograma e sedimentograma do evento 18/10/2014 das bacias ST e CT.

Esse também é um evento de baixa magnitude onde não há grande diferença entre as respostas nas descargas líquidas e sólidas. Mesmo assim, há um comportamento favorável no controle do escoamento na bacia CT. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve correspondência entre os picos para ambas as bacias, entretanto na bacia ST a variação da Q apresentou forte ruído, especialmente na última cheia com fim abrupto.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia nas duas bacias.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é semelhante da recessão nas duas áreas, possivelmente associado a maior cobertura vegetal.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: ocorre uma coincidência no pico do sedimentograma e hidrograma.

(v) a exaustão de sedimentos: não há evidência de exaustão de sedimentos, mas é importante frisar que a magnitude dessa variável é menor do que aqueles eventos apresentados anteriormente com maior magnitude, onde notava-se uma redução significativa na CSS.

Evento 19/10/2014

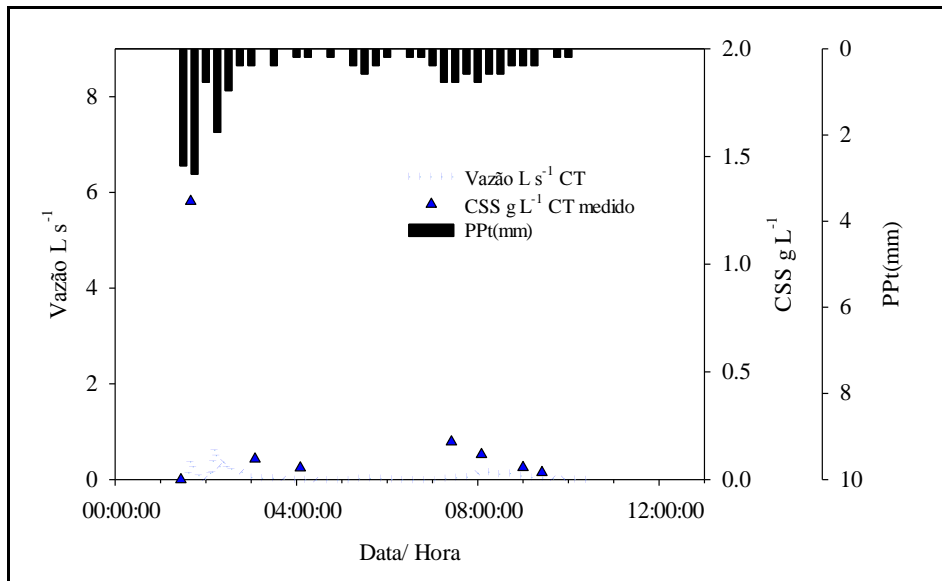


Figura 55 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 na bacia CT.

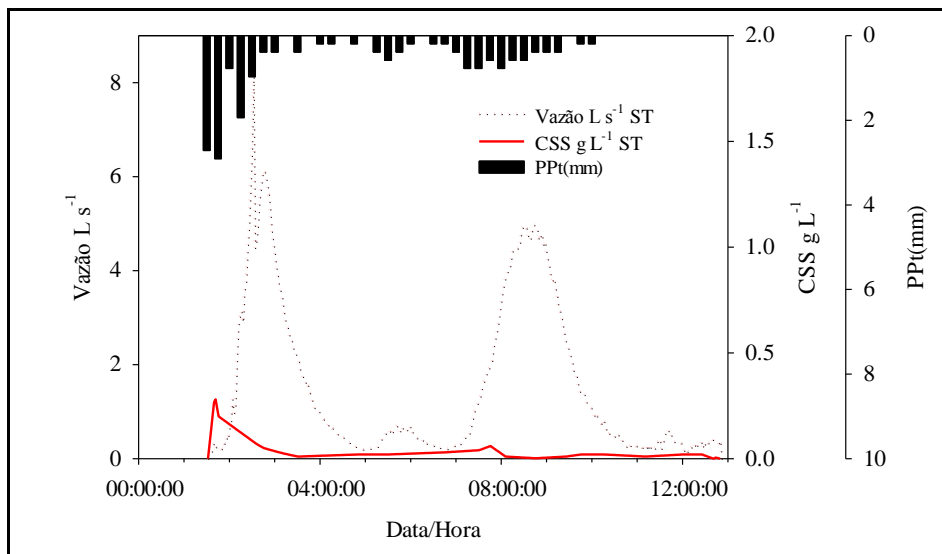


Figura 56 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 na bacia ST.

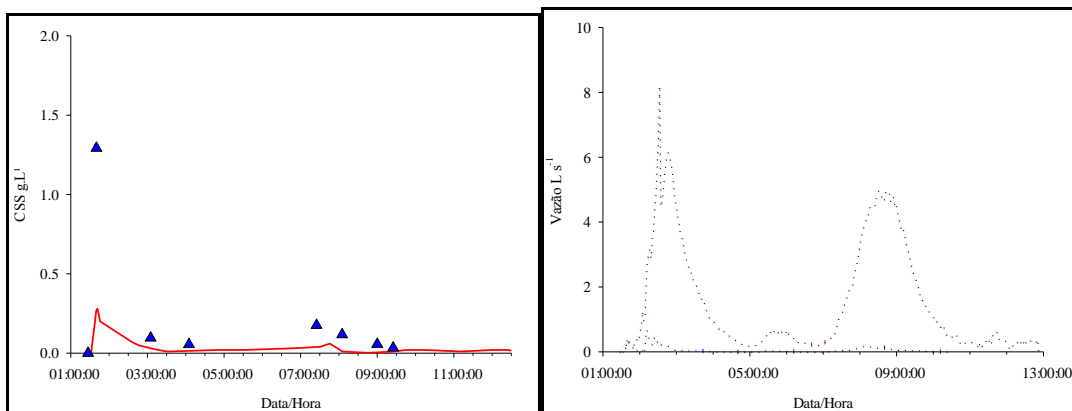


Figura 57 - Hidrograma e sedimentograma do evento 19/10/2014 das bacias ST e CT.

Esse é um evento de maior magnitude (44mm) que encontrou uma condição de alta umidade, Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve um ótima correspondência entre os picos de Q e de PPt para as duas bacias no momento de maior precipitação, o segundo pico de precipitação de menor intensidade também gerou pico de vazão nas duas bacias, mas, obviamente, com diferença na magnitude.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico é semelhante à duração da onda de cheia na bacia CT e maior na bacia ST.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é semelhante à recessão nas duas áreas. No momento de maior intensidade a declividade da Q é maior e no momento de menor intensidade a declividade da Q é menor, tal como esperado.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: nas duas bacias ocorre a antecipação da onda de sedimentos indicando histerese e redução na PS.

(v) a exaustão de sedimentos: nas duas bacias houve a exaustão de sedimentos, a resposta ao segundo pico de Q é incipiente.

Evento 30/10/2014

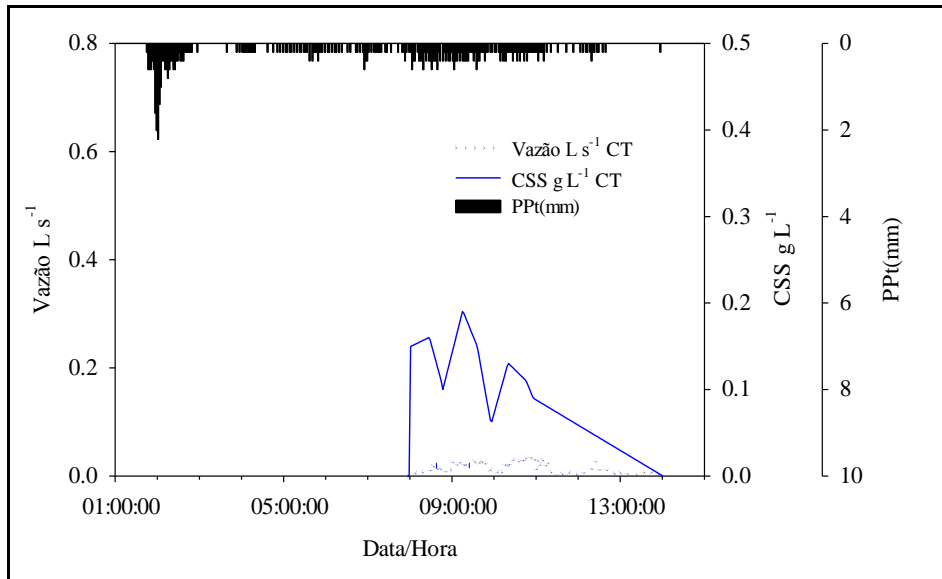


Figura 58 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 na bacia CT.

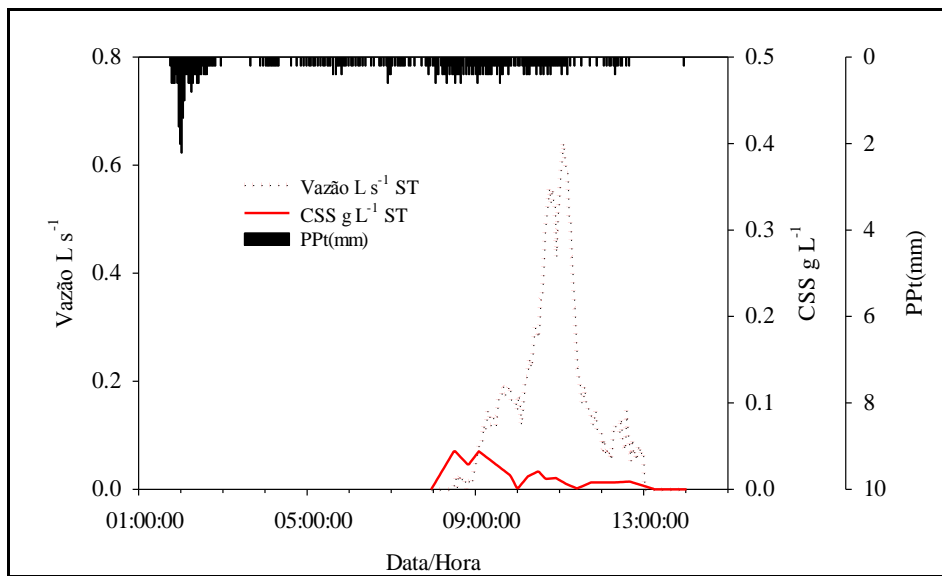


Figura 59 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 na bacia ST.

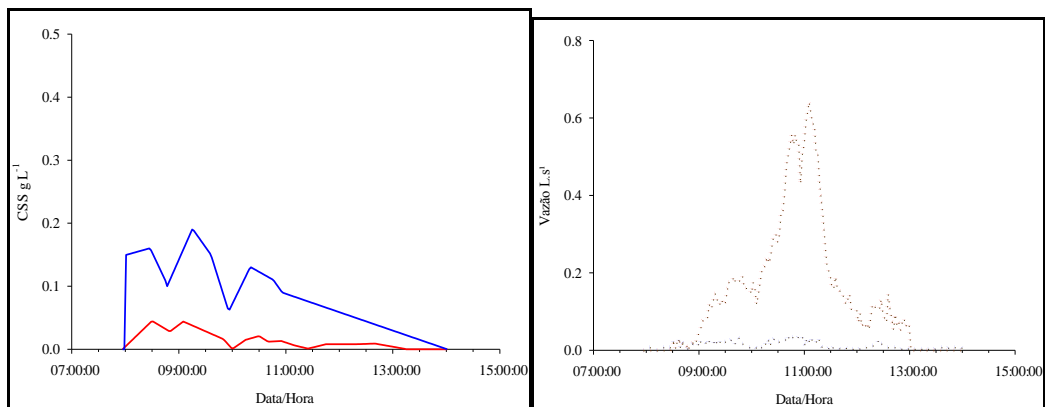


Figura 60 - Hidrograma e sedimentograma do evento 30/10/2014 das bacias ST e CT.

Esse evento tem outro padrão de comportamento. Ele apresentou uma precipitação acumulada de 69 mm, com padrão atrasado, sendo o tempo de duração superior a doze horas, caracterizando um evento de longa duração. A maior intensidade ocorreu logo no início, que não gerou escoamento, mas ao longo do tempo o volume acumulado aumentou até a geração de uma resposta significativa, mas de baixo volume. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: não houve correspondência entre os picos de Q e de PPt para as duas bacias.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração do evento pluviométrico foi muito maior do que a duração da onda de cheia nas duas bacias.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é maior do que a recessão na bacia ST.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: nas duas bacias ocorre a antecipação da onda de sedimentos indicando histerese e redução na PS.

(v) a exaustão de sedimentos: não há elementos para inferir sobre a exaustão de sedimentos nesse caso.

Evento 03 a 04/11/2014

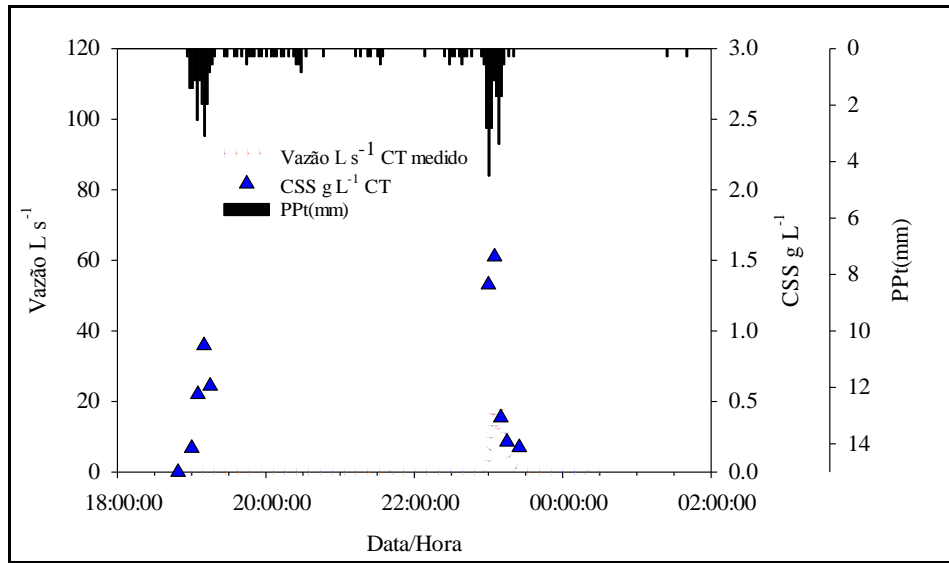


Figura 61 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 na bacia CT.

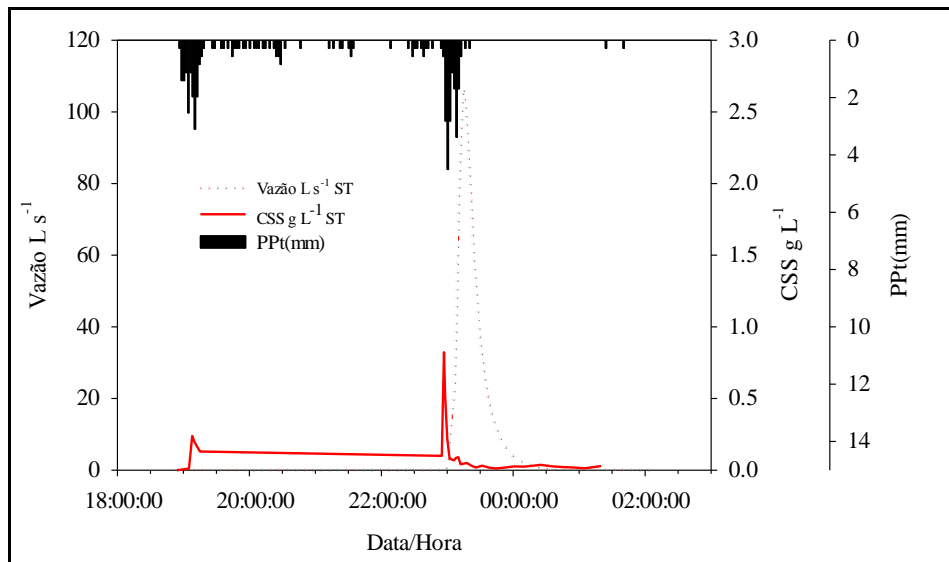


Figura 62 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 na bacia ST.

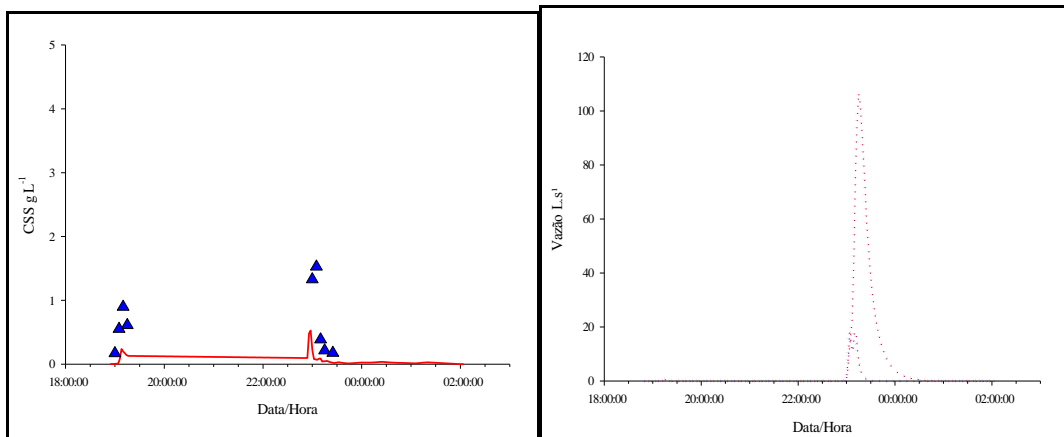


Figura 63 - Hidrograma e sedimentograma do evento 03/11/2014 das bacias ST e CT.

Nesse evento houve dois picos de intensidade de precipitação, um deles no início e o outro no fim. O primeiro de PPT não gerou aumento significativo da Q. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPT: para o segundo pico de PPT houve uma boa correspondência da Q para ambas as bacias.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: considerando apenas o segundo pico de PPT também houve uma boa relação entre a duração das duas variáveis.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é maior do que a recessão na bacia ST.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: nas duas bacias ocorre a antecipação da onda de sedimentos indicando histerese e redução na PS, inclusive no primeiro pico de intensidade de chuva.

(v) a exaustão de sedimentos: não há elementos para inferir sobre a exaustão de sedimentos nesse caso.

Evento 01/01/2015

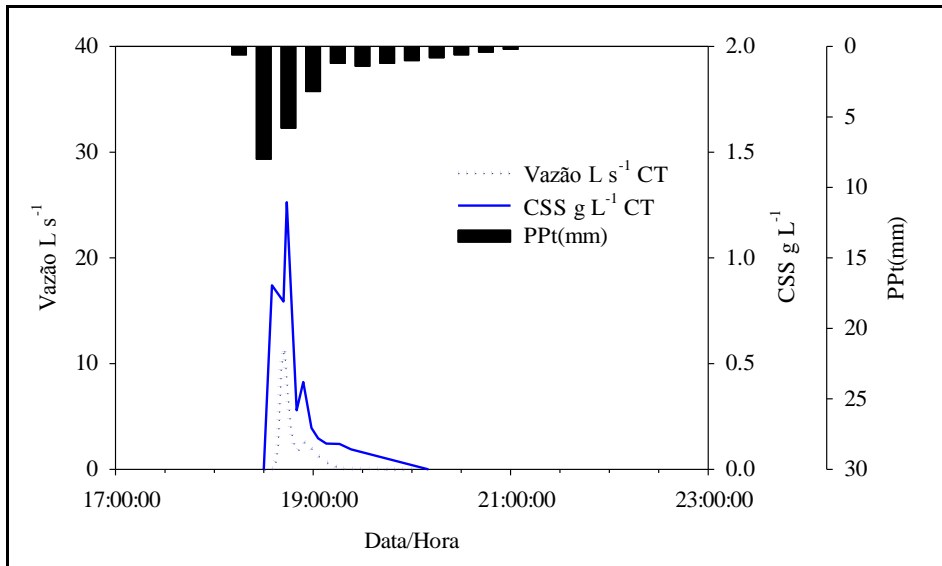


Figura 64 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 na bacia CT.

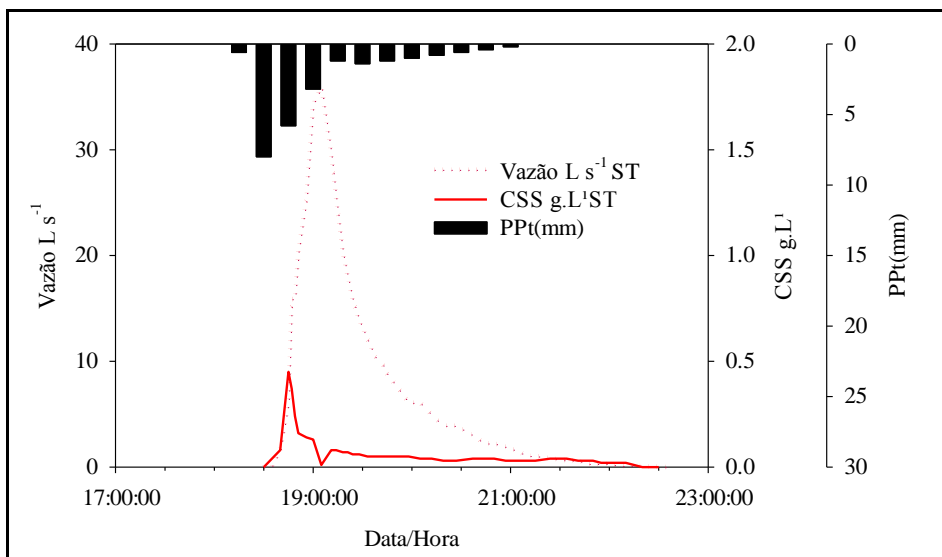


Figura 65- Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 na bacia ST.

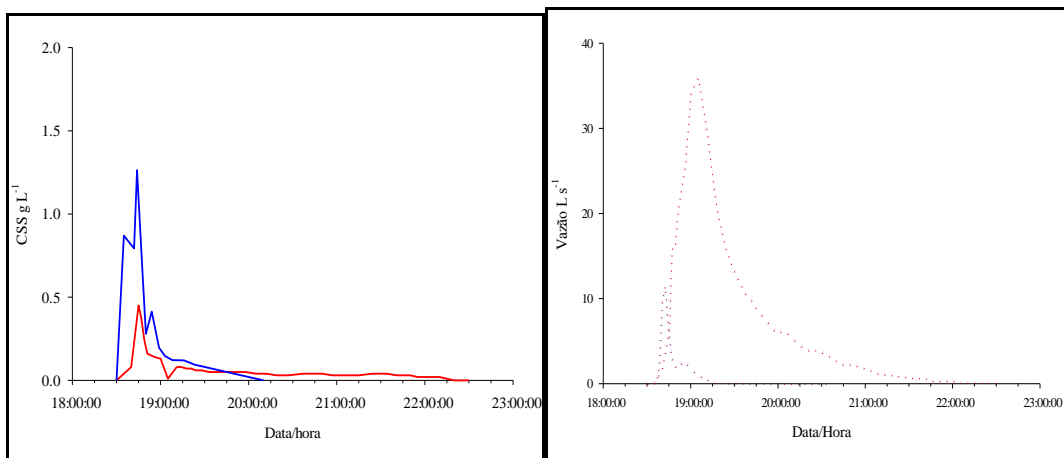


Figura 66 - Hidrograma e sedimentograma do evento 01/01/2015 das bacias ST e CT.

Esse evento tem pequena magnitude de PPt, mas ocorreu numa condição de alta umidade do solo. Nesse momento havia uma boa cobertura dado pela soja. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve uma boa correspondência da Q para ambas as bacias.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração da propagação do escoamento superficial é semelhante à duração da precipitação, com pequeno desvio a mais para a bacia ST, pela mesma razão apresentada anteriormente.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é maior do que a recessão na bacia ST, basicamente pela característica do hietograma de uma chuva adiantada.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: na bacia CT há uma coincidência dos picos de Q e de CSS e na bacia ST ocorre a antecipação da onda de sedimentos indicando histerese e redução na PS.

(v) a exaustão de sedimentos: não há elementos para inferir sobre a exaustão de sedimentos nesse caso.

Evento 27/01/2015

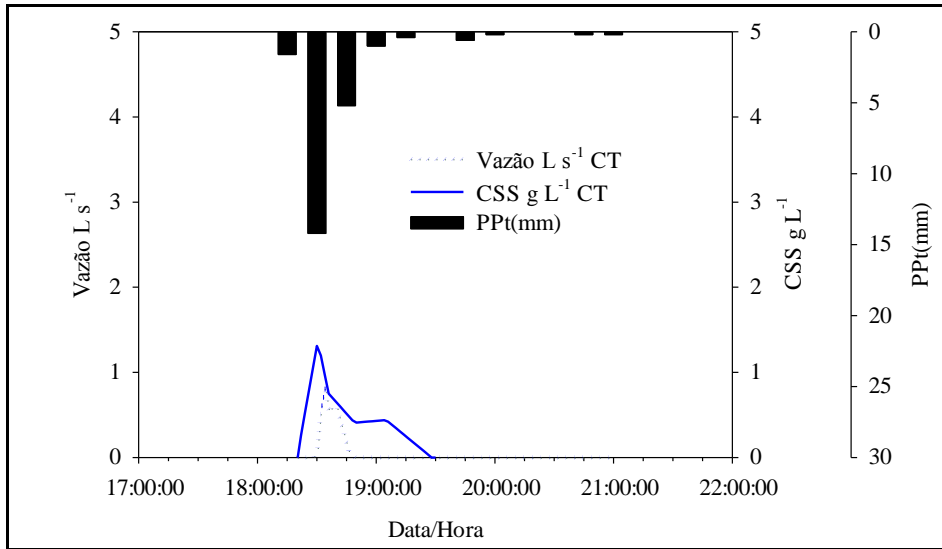


Figura 67 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 na bacia CT.

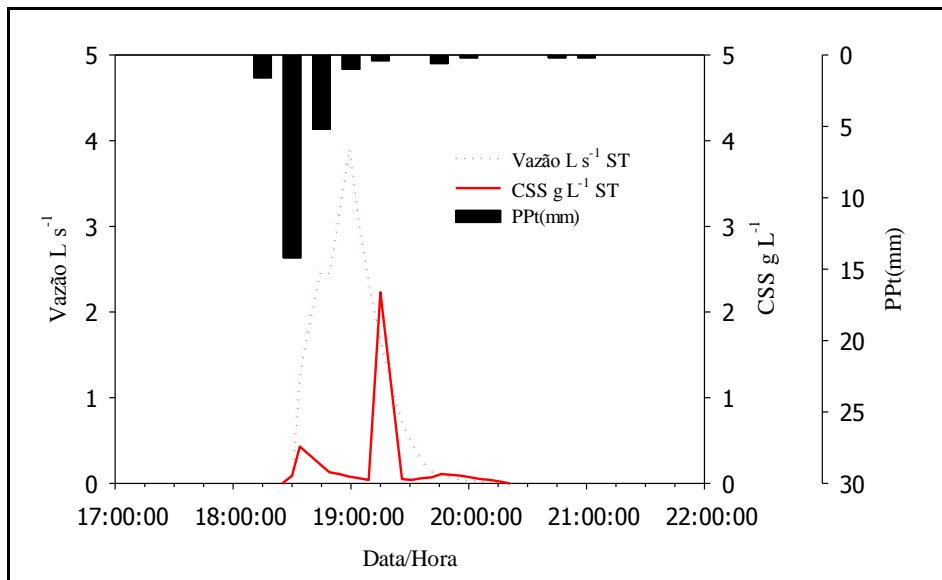


Figura 68 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 na bacia ST.

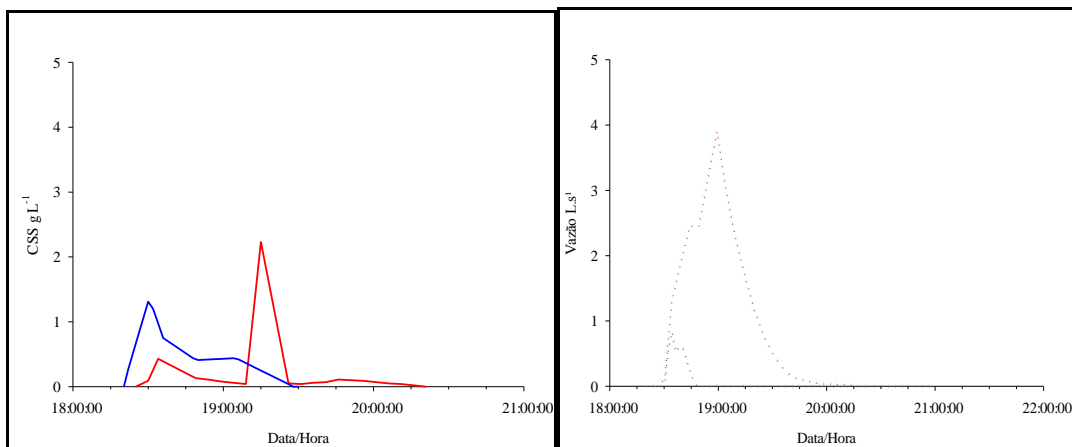


Figura 69 - Hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 das bacias ST e CT.

Esse evento se caracteriza por uma condição típica de chuva de verão, com alta intensidade num curto intervalo de tempo. A cultura da soja se encontrava em estágio de florescimento com boa cobertura vegetal. Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve uma boa correspondência da Q em relação à PPt para ambas as bacias.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração da propagação do escoamento superficial foi menor que a duração da precipitação, já que o terço final da precipitação apresentou pequeno volume e intensidade, favorecendo a infiltração.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é menor do que a recessão na bacia ST, pela característica do hietograma.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: na bacia CT há uma antecipação da CSS em relação à Q (histerese sentido horário) e na bacia ST o contrário (histerese sentido anti-horário). A forte histerese justifica a baixa PS.

(v) a exaustão de sedimentos: não há elementos para inferir sobre a exaustão de sedimentos nesse caso.

Evento 29/03/2015

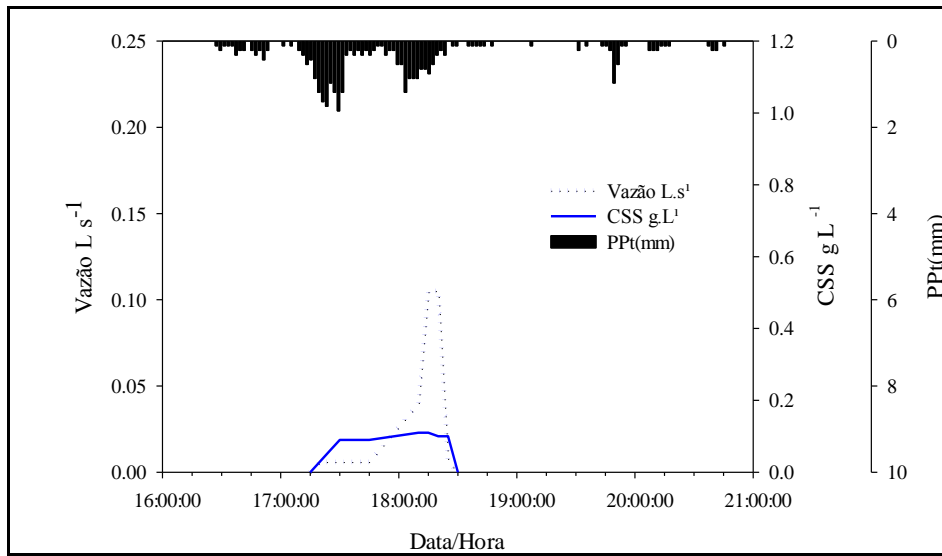


Figura 70 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 29/03/2015 na bacia CT.

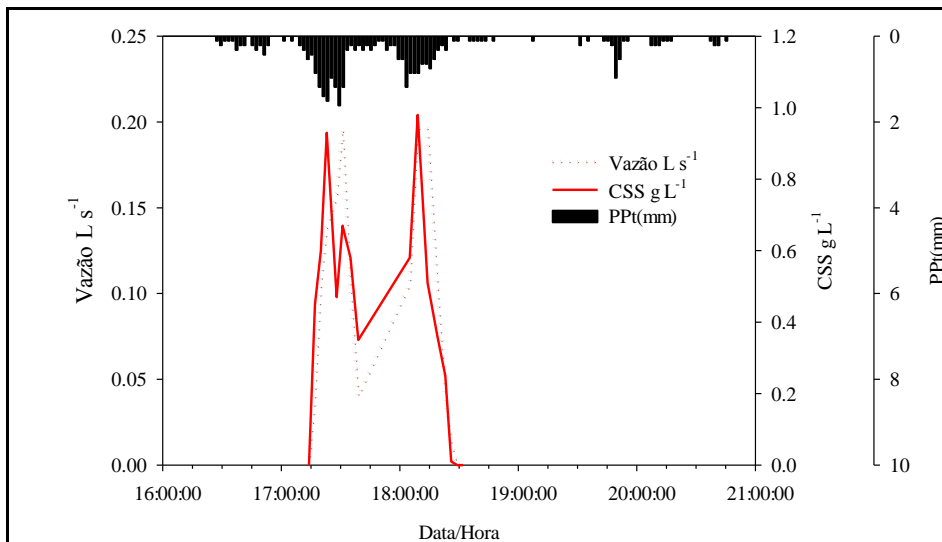


Figura 71 - Hietograma, hidrograma e sedimentograma do evento 29/03/2015 na bacia ST.

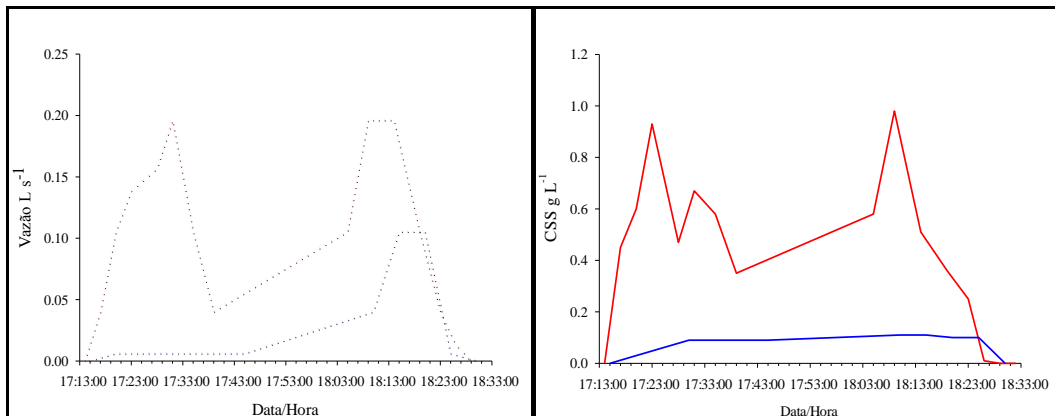


Figura 72 - Hidrograma e sedimentograma do evento 27/01/2015 das bacias ST e CT.

O último evento monitorado aconteceu após a colheita da soja, com uma situação em que o solo se encontra sem a proteção do dossel das plantas e com restos culturais reduzidos em função da natureza dessa cultura. Também foi um evento de baixa magnitude e de longa duração (31mm em mais de 4 horas). Em relação aos pontos a serem observados, podemos inferir que:

(i) a reprodução na Q dos picos de PPt: houve uma boa correspondência da Q em relação à PPt para a bacia ST e durante os momentos de maior intensidade; na bacia CT houve uma boa correspondência no segundo momento de maior intensidade.

(ii) a duração da Q em relação à duração da P: a duração da propagação do escoamento superficial foi semelhante à duração da precipitação, considerando apenas o momento de maior intensidade.

(iii) a declividade da ascensão e recessão da Q: a declividade da ascensão é menor do que a recessão na bacia CT e no segundo pico da bacia ST, no primeiro pico da bacia ST a declividade da recessão é semelhante à ascensão.

(iv) a antecipação ou atraso da onda de sedimentos em função da onda de cheia: na bacia ST há uma antecipação clara da CSS em relação à Q (histerese sentido horário) e na bacia CT a ascensão da CSS foi gradual não caracterizando um formato típico de sedimentograma.

(v) a exaustão de sedimentos: não houve uma exaustão de sedimentos nas duas bacias.

6. DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo mostraram o comportamento hidrológico do escoamento superficial em uma escala de estudo pouco explorada nos estudos de conservação do solo. Mais do que comprovar a eficiência dos terraços no controle do escoamento superficial, esse estudo se propôs a quantificar as perdas de água num sistema de manejo repleto de divergências. Além da quantificação das perdas, o estudo procura descrever o padrão de resposta da vazão e da concentração de sedimentos ao longo do tempo. Essas informações contribuem para o entendimento do agente erosivo, nesse caso o escoamento superficial, bem como a definição de uma direção para o seu controle.

6.1 Caracterização fisiográfica e físico-hídrica.

Primeiramente, foi avaliado o relevo e as propriedades físico-hídricas nas duas encostas, que teoricamente controlam o processo de infiltração e o comportamento hidrológico nas áreas. Podemos ressaltar que as áreas têm características fisiográficas muito parecidas na paisagem, o que possibilita que sejam comparadas entre si, isolando o fator de controle de escoamento que foi o terraço. As propriedades físico-hídricas foram avaliadas em três posições (topo, meia encosta e talvegue) e determinadas variáveis relacionadas com a infiltração. Os resultados não mostraram diferenças estatísticas entre as duas áreas e nem entre as posições da encosta. Esse resultado evidencia se tratar de duas áreas com características homogêneas entre elas e dentro das bacias, sendo o que diferenciou uma da outra foi a prática de manejo adotada.

Em relação à textura, fator determinante para infiltração e erosão, as duas encostas se caracterizam por apresentar grande porcentagem de argila, que quando flocladas resistem à desagregação. Foi possível identificar duas classes texturais, sendo elas, classe argilosa quando os valores ficaram acima de 40% de argila e classe franco-argilosa quando os teores apresentados foram menores que 40%. A densidade do solo nas duas encostas na camada de 0,05-0,09 m obtiveram valores acima de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, podendo indicar uma menor capacidade de infiltração de água no solo. Nas outras duas camadas analisadas os valores também foram elevados variando de $1,36$ a $1,59 \text{ g cm}^{-3}$. Apesar de o sistema plantio direto ser mitigador dos processos de degradação do solo, ao longo do seu desenvolvimento ele pode aumentar os níveis

de densidade do solo, principalmente na camada superficial do solo (ALVES E SUZUKY., 2004). Isso ocorreu devido tráfego de equipamentos agrícolas, baixa rotação de cultura (monocultivo), uso intensivo do solo e manejo inadequado. Sendo que a intensificação da agricultura resultou na compactação do solo e na redução das propriedades físicas, o que condiciona uma menor infiltração de água e capacidade de armazenamento de nutrientes e água no solo, e uma redução na macroporosidade e aumenta da resistência do solo (HAMZA E ANDERSON., 2005).

A porosidade total foi afetada nas duas encostas, pelos maiores valores na densidade do solo. Sendo que os valores encontrados são menores que 10% o que restringem a macroporosidade (REYNOLDS et al, 1992), isso limita o fluxo de água e gases no sistema, o que também interfere no fluxo de água no perfil do solo. Isso está relacionado adoção de técnicas inadequadas de cultivo que alteram a porosidade do solo. Com isso, a velocidade de infiltração é mais lenta, o que promove o escoamento superficial. O aumento na PT resultaria numa melhoria da capacidade do solo de armazenar água e na redução da perda de água, sendo esse uma fator importante para conservação do solo. Para isso, seria necessário melhorar as práticas de manejo na área com rotação de cultura e utilização de culturas com sistema radicular mais agressivo, outra maneira seria rompimento da camada compactada através da escarificação.

A elevada porcentagem de argila, no solo das duas bacias ST e CT, resulta numa maior força de coesão entre as partículas, o que aumenta a resistência à erosão. Isso pode ser observado nos eventos monitorados que tiveram energia suficiente pelo escoamento superficial para transportar os sedimentos, mas isso foi limitado pela desagregação que não resultou em consideráveis produção de sedimento e exaustão do mesmo ao longo do evento, portanto, podemos destacar a resistência desse solo aos processos erosivos e ação da cobertura vegetal.

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) apresentou uma grande variação nas duas encostas. Esse é um parâmetro altamente variável, sendo que para solos argilosos essa variação pode chegar 300% (ELRICK e REYNOLDS, 1992). Isso ocorre devido a variabilidade espacial do solo (SOUZA e ALVES, 2003). Os maiores valores de condutividade hidráulica saturada ocorreram na camada de 0,05-0,09 m nas diferentes posições da encosta e foram diminuindo gradativamente com a profundidade. Segundo Suzuki et al. (2007), o aumento da densidade solo reduz a macroporosidade e a condutividade hidráulica saturada. A taxa de infiltração de água no solo é uma das principais variáveis a ser analisada quando se busca entender os fluxos de escoamento superficial nas diferentes posições da encosta nas duas bacias ST e CT.

Na bacia ST apesar das diferenças topográficas influenciarem na geração do escoamento superficial, gerando maiores velocidades de escoamento em declives acentuados, o impedimento sub superficial ocasionado pelos altos teores de argila, foi determinante para que os valores da taxa de infiltração ficassem baixos, entre 4 a 8 mm/h e não variassem em função da posição na encosta (topo, meia encosta e talvegue). Entretanto, devido a maior declividade na meia encosta e no talvegue, o volume escoado nesses pontos será maior que no topo, pois no topo a declividade é menor, diminuindo a velocidade do escoamento, possibilitando maior volume infiltrado. As curvaturas (perfil e plano) das bacias são variáveis importantes para determinar pontos de maior e menor ou aceleração do escoamento superficial. Podemos destacar que na bacia ST, temos um grande número de áreas côncavas que retardam um pouco o escoamento e podem afetar na resposta do hidrograma, porém tem uma região convexa bem definida, a qual acelera o escoamento e o conduz para o vertedouro da bacia e também regiões retilínea que possuem um fluxo contínuo. Na bacia CT essa áreas são delimitadas pelo terraço que contem esse escoamento.

Na bacia ST existe um talvegue principal ele e alimentado por outros secundário, sendo ele responsável pela condução do fluxo de água até o vertedouro da bacia. Podemos destacar uma certa exaustão de sedimento no talvegue, devido, baixas concentrações ao longo do período do evento. Isso pode ocorrer devido, o canal se encontrar em condições de compactação, sendo que todo o material possível de ser carregado já tenha sido transportado em outros eventos.

Na bacia CT foram avaliadas duas posições na encosta, sendo uma no canal do terraço e a outra na parte jusante do terraço, podemos observar diferença entre ambas. No canal do terraço a taxa de infiltração foi maior em relação a posição abaixo do terraço. Isso pode ser explicado devido, todo material que e desagregado pela energia cinética da gota de chuva e consegue ser transportado fica depositado no canal do terraço, o que aumenta a camada de solo e a capacidade de infiltração de água, em relação à camada inicial do solo. E também no canal do terraço foi realizada a escarificação antes do plantio da soja, para romper as camadas compactadas que foram formadas durante a construção dos mesmos, devido, tráfego de tratores. Sendo esses fatores determinantes para melhorar o papel do canal de infiltrar toda água que acumulada durante eventos pluviométricos. Podemos considerar que era esperado uma melhor resposta da infiltração de água no solo no canal do terraço em relação ao seu jusante, sendo, que esses resultados expressam a importância do rompimento de camadas compactadas para melhorar a capacidade de infiltração.

Quando comparamos os valores de K_{sat} com os dados obtidos nos testes com anéis concêntricos e com a infiltração aparente, pode-se observar que os valores da condutividade

hidráulica saturada são maiores que os valores de infiltração, isso se deve a grande variação das amostras por ser uma amostragem pontual, podendo ser coletado em áreas que não representam a unidade experimental.

Através dos resultados de infiltração de água no solo, podemos determinar que as duas áreas possuem uma baixa capacidade de infiltração de água, o que favorece o escoamento superficial e o arraste de partículas, que pode condicionar sérios problemas de perda de água e solo para o sistema. Sendo que na bacia CT o terraço cumpre o seu objetivo de conter e armazenar essa água escoada, para sua posterior infiltração.

A maneira mais eficaz para determinar a capacidade de infiltração do solo é através da determinação da infiltração aparente, onde a partir do valor acumulado de chuva e do escoamento superficial determina-se, para cada evento, a diferença encontrando a infiltração aparente. E com isso podemos traçar estratégias para aumentar a capacidade do solo em infiltrar água.

6.2 Perdas de água e de solo

Os resultados de perda de água na bacia ST representam um significativo impacto do ambiente agrícola ao ambiente fluvial. Podemos considerar que devido à baixa capacidade de infiltração, mesmo em eventos de baixa magnitude, há escoamento superficial. A maior perda de sedimento ocorreu no início do período de avaliação, situação de baixa cobertura vegetal onde não ocorreu uma amortização da energia cinética da gota de chuva, período também de alta mobilização na área devido à construção dos terraços.

O escoamento superficial monitorado indicou a faixa de magnitude para as condições de estudo com coeficientes de escoamento atingindo facilmente valores maiores de 10%, mesmo para eventos de baixa e média magnitude, com o máximo observado de 19%. Interessante observar que todas as chuvas dos eventos monitorados apresentam tempo de retorno menor que 2 anos, indicando que mesmo com uma condição de precipitação próxima à normalidade as perdas de água foram significativas. Isso é um indicativo que o sistema é altamente susceptível à formação de enxurradas e em situações extremas, que tem ocorrido frequentemente, mas não acontecido nesse estudo, o escoamento e a erosão podem atingir valores extremos.

Os valores de perda de solo não atingiram magnitudes elevadas. Importante frisar que não foram quantificados todos os eventos pluviométricos e também o período de

monitoramento não cobre 12 meses. Podemos destacar o trabalho de Tommer et al. (2005), que num estudo de 25 anos monitorou 2 pequenas bacias hidrográficas indicando claramente que práticas conservacionistas diminuem o escoamento superficial. Outro estudo em diferentes escalas que monitorou as perdas de água e solo, pode identificar que em comparação ao SC, o SPD reduziu em 70% as perdas de solo, mas em relação as perdas de água ele não foi tão eficiente, indicando que práticas conservacionistas devem ser implementadas.

Podemos destacar que em alguns eventos monitorados tivemos elevadas vazões, indicando uma alta capacidade para o transporte de sedimento, com uma exaustão no sedimento que é rapidamente carregado, por isso, não temos elevadas produções de sedimentos especialmente em condições de maior cobertura vegetal. Entretanto para condições de alta disponibilidade de sedimentos, a perda seria muito maior.

6.3 Comportamento da vazão e da concentração de sedimentos

O comportamento da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão durante os eventos (intravariabilidade) e entre os eventos ou entre as bacias (intervariabilidade) contribuiu para o entendimento do processo de geração e transferência de água e sedimentos em distintas condições de precipitação e da cobertura do solo nas duas bacias. Apesar do curto período de tempo, o monitoramento englobou os eventos com diferentes condições de cobertura do solo e também diferentes magnitudes de precipitação. A precipitação acumulada no segundo semestre de 2014 foi elevada, o que possibilitou o monitoramento de bons eventos. A magnitude dos volumes perdidos e das vazões de pico reflete a capacidade erosiva do escoamento (desagregação e transporte),

Podemos considerar que houve uma boa correspondência da resposta da vazão (Q) aos picos de precipitação (PPt), que foi mais evidentemente na bacia ST. Mesmo em eventos de PPt complexa a Q apresentou uma resposta imediata e padrão temporal semelhante, indicando a pequena capacidade de amortização da onda de cheia. Na bacia CT as ondas de cheia foram de pequena magnitude, obviamente, e os valores observados são o resultado do escoamento entre o último terraço e o vertedor. A umidade antecedente do solo influenciou fortemente a geração do escoamento, obviamente em condição de solo úmido a precipitação gerou maiores perdas e a ascensão do hidrograma é mais rápida.

O tempo de duração da vazão em função da precipitação variou entre os eventos, mas é relativamente previsível, especialmente nos eventos de precipitação adiantados e com picos de intensidade definidos. Podemos considerar sem acarretar em grande erro que a duração do hidrograma é semelhante à duração da precipitação. A partir desse pressuposto nota-se, claramente, o maior controle da formação do escoamento na bacia CT.

A declividade de ascensão e recessão nas duas áreas foi semelhante, mas com distinta magnitude entre elas. Isso reforça a menor capacidade do SPD sem práticas mecânicas complementares de controlar o volume e a energia do escoamento superficial. A concentração de sedimentos em suspensão (CSS) apresentou variantes interessantes, na maioria dos casos houve leve antecipação da onda de sedimentos com histerese sentido horário e com nítida exaustão de sedimento. O comportamento da CSS na bacia CT, possivelmente, foi afetado pela construção dos terraços. Durante os primeiros eventos os valores da CSS foram altos devido à mobilização de solo durante a construção dos terraços. Mesmo assim a produção de sedimentos na bacia ST é notadamente maior comandada pela vazão.

Na maioria dos eventos ocorre a antecipação da onda de sedimentos em relação a onda de água. Não há a coincidência dos picos de Q e CSS e isso determina uma menor produção de sedimento. Podemos enfatizar que as perdas durante eventos com boa cobertura vegetal foram menores comparando os eventos de mesma magnitude que ocorreram no período após a colheita da soja. Em alguns eventos ocorreu a exaustão na produção de sedimento, indicando a capacidade da cobertura vegetal em amortizar a energia da chuva e do escoamento superficial, impedindo a desagregação do solo. Em trabalho realizado no Paraná Merten et al. (2015) encontrou valores semelhantes tanto de perda de sedimento e como na perda de água em SPD. Nesse estudo as parcelas foram cultivadas com soja e trigo em SPD e observou-se uma redução das perdas de solo de 80% em relação ao manejo convencional.

Períodos com baixa cobertura do solo associados à precipitação de maior intensidade geraram elevado escoamento superficial e produção de sedimentos elevados. Por isso, a importância de manter os solos agrícolas cobertos durante todo o ciclo de cultivo, especialmente após a colheita da soja.

6.4 Sistema plantio direto vs. semeadura direta

É de consenso geral que o sistema plantio direto é manejo de extrema importância para a agricultura no sul do Brasil. Entretanto, a simplificação e o desvirtuamento do sistema transformou um sistema complexo e integrado numa prática sustentada na semeadura direta, reduzida adição de fitomassa e negligência em relação ao manejo da infiltração e do escoamento. Isso tem resultado num sistema de produção frágil e sensível às variantes climáticas e econômicas. A produtividade é fortemente dependente do uso de insumos, tecnologia e preço das commodities, e cada vez menos das características e funcionalidades do solo, considerando suas funções físicas, químicas e biológicas. Nesse sentido prioriza-se a produtividade “real” ao invés da produtividade “potencial” dos solos.

Os dados apresentados nesse trabalho sustentam essa afirmação considerando, apenas o efeito de uma prática no controle das perdas de água e comprovando a eficiência dos terraços.

A bacia ST representa o sistema de manejo comumente entre os agricultores no sul do Brasil. As elevadas perdas de água e dos processos associados, quantificados nessa condição, geram prejuízos ao agricultor e à sociedade como um todo devido ao mal planejamento das glebas e o desinteresse aos princípios conservacionistas. O controle do escoamento é uma prática conservacionista complementar que deve ser adotada, trazendo benefícios para o agricultor, pois a água pode ser armazenada no solo (zona de raízes e em profundidade), bem como evitar a perda de nutrientes, matéria orgânica e sedimentos pelo escoamento e erosão aumentando a lucratividade dos agricultores e melhorando a capacidade produtiva dos solos. Além desses aspectos, as práticas conservacionistas também trazem benefícios para a sociedade, pois reduz as enxurradas/enchentes, reduz o assoreamento de rios e reservatórios com impactos positivos para as hidrelétricas, navegação e controle de cheias, e a melhoria da qualidade da água com impactos positivos para o custo de tratamento de água e para a saúde da população. Esses aspectos são de importância fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura altamente produtiva, moderna, conservacionista, parcimoniosa quanto aos gastos com insumos e integrada com os anseios da população e outros setores produtivos (disponibilidade de água para a energia) e de prestação de serviço (oferta de água para consumo humano e irrigação).

O “sistema plantio direto” foi criado embasado num conjunto princípios (proteção da superfície, adição de fitomassa, maximização da infiltração e controle do escoamento). Essa foi uma experiência extraordinária na redução da erosão e melhoria das propriedades do solo exemplar para a agricultura tropical e subtropical. Entretanto, nos últimos anos o sistema de produção atual é simplificado e não atende aos preceitos inicialmente estabelecidos com repercussões danosas ao solo, aos recursos hídricos, aos agricultores e à sociedade. Nota-se

claramente que apenas o não revolvimento do solo e a manutenção da palha na superfície não é suficiente para o controle do escoamento e elementos dissolvidos (nutrientes e agroquímicos), tal como é para a erosão.

A água perdida carrega resíduos de agroquímicos, que são prejudiciais aos recursos naturais e também nutrientes que eutrofizam as águas. Sendo necessário o desenvolvimento de meios de cultivo mais conservacionistas para evitar a contaminação dos recursos hídricos oriunda de escoamento superficial de áreas de lavoura (BURWELL et al. 1974, PFISTER, et al., 2011).

A partir dos resultados obtidos nesse documento nota-se claramente que as perdas de água e dos processos associados são importantes e que há necessidade de controle do escoamento superficial, principalmente em encostas com elevado comprimento de rampa ou declivosas ou com convergência marcante.

Mesmo que a adoção dos terraços seja retomada, a metodologia para a definição dos espaçamentos talvez precise de uma revisão. A metodologia utilizada até então tem sido embasada na estimativa da perda de solo (RUSLE) em função dos comprimentos de rampa críticos. Entretanto, atualmente, a dinâmica do processo de degradação é distinta e comandada por outros fatores. Isso indica que os espaçamentos entre terraços precisam levar em consideração a dinâmica hidrológica das encostas e, por isso, deve-se evoluir na proposição de um novo espaçamento entre terraços para SPD, levando em consideração a perda de água pelo escoamento superficial na área.

7. CONCLUSÃO

Considerando a escala de trabalho e as características de solo e relevo que definem esse estudo, podemos concluir que:

1- O uso o terraçamento reduziu em quase 90% o volume de escoamento superficial e reduziu em quase 80% a vazão máxima, indicando ser uma boa prática conservacionista no controle do escoamento superficial.

2- Na bacia sem terraço e para precipitações de média e grande magnitude o elevado volume de escoamento superficial indica um desequilíbrio hidrológico na magnitude do escoamento superficial com valores de coeficientes de escoamento de até 19%

3 – As características dos hidrogramas demonstram que as glebas se comportam como um sistema altamente responsivo às chuvas, com hidrogramas com curto tempo de duração, semelhante à duração da chuva, e alta declividade na subida e na descida do hidrograma.

4 – As perdas de solo são significativas para os eventos de grande magnitude. As magnitudes das vazões monitoradas indicam alta capacidade de desagregação e transporte de sedimento no talvegue da encosta.

8. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Apesar do monitoramento hidrológico ter abrangido menos de um ano (julho de 2014 a março de 2015) a estratégia de realizar um estudo de hidrologia comparativa com bacias pareadas, possibilitou a amostragem de um número significativo de eventos sob diferentes coberturas vegetais e magnitudes pluviométricas. A partir disso, houve uma boa compreensão dos processos hidrológicos e sedimentológicos envolvidos na escala de encosta e foram alcançados os objetivos iniciais do trabalho que foi instalar a estrutura de monitoramento, compor e conduzir os tratamentos, acompanhar os eventos e analisar os eventos no período disponível para realizar um mestrado. A continuidade do monitoramento seguirá na busca de um melhor entendimento a partir de um maior período de monitoramento, obtendo um conjunto de eventos cada vez mais robusto das duas bacias pareadas. Gostaríamos de salientar a importância do acompanhamento a campo de um número representativo de eventos de diferentes magnitudes, perante diferentes condições de manejo e época do ano, para identificar períodos de maior alerta às perdas de água e sedimento perante processos hidrológicos e erosivos.

Através desse estudo identificamos uma baixa capacidade infiltração de água no solo e uma baixa capacidade de dissipar a energia de formação de escoamento superficial ao longo da encosta. Isso gerou, mesmo para chuvas de média magnitude, respostas muito significativa na vazão e no volume. Isso indica que para eventos climáticos extremos ou de maior magnitude, os danos ao solo e aos recursos hídricos serão desastrosos.

Apesar da maioria dos eventos apresentar PS pequena, em um médio evento (65 mm em 17h) a produção de sedimento foi considerável. Isso indica que no sistema de manejo atual as perdas de solo são governadas por eventos de menor frequência, mas com alta capacidade de degradação e transporte. Salientamos que nesse período de monitoramento tivemos respostas extremas, mas não houve eventos pluviométricos extremos, por exemplo, com tempo de retorno de 5 anos ou mais.

Finalmente, consideramos como fundamental que, para as condições semelhantes a desse estudo haja impreterivelmente a melhora na estrutura do solo para aumentar a infiltração, melhora na adição da biomassa para aumentar a micro rugosidade e também a estrutura do solo pela matéria orgânica; e uma prática mecânica de controle do escoamento que pode ser o terraceamento. O estudo, ainda preliminar, indica claramente que o regime hidrológico apresenta elevada taxa de escoamento superficial no sistema ST. Foi demonstrado que práticas

conservacionistas complementares trazem benefícios para o sistema agrícola. As características do sistema produtivo avaliado na bacia sem terraço não foi capaz de conter o escoamento superficial, isso é ainda mais agravante em situações de baixa cobertura vegetal e baixa capacidade de infiltração. Estratégias essas que devem anteceder a construção de medidas mecânicas. Importante frisar que o manejo de solo e o manejo da cobertura são prioritários, mas não dispensa a necessidade do manejo de gleba (práticas complementares de controle do escoamento).

A continuação desse projeto de monitoramento e a replicação de outros no sul do Brasil é importante para a melhor compreensão da hidrologia e processos associados (erosão, transferência de agroquímicos, perda de carbono, etc) na escala de bacias devido à falta de informação científica para avançar no manejo do solo e da água frente as necessidades dos agricultores e da sociedade.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.C. e SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Sci**, 26:27-34, 2004.
- AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. Plantio direto na palha – rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p, 49-66, jul/dez 2003.
- AMARAL, A. J. do et al. Erosão hídrica e escoamento superficial em função de tipos e doses de resíduo cultural em dois modos de semeadura direta. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v.12, n. 2, p.163-174, 2013.
- ARMAND, R. et al. Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability: Application to conservation tillage context, **Soil Till, Res.**, 102(1):27-37, 2009.
- BARBOSA, F.T. et al. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em três tipos e doses de resíduos em duas direções de semeadura. **R. Bras. Ci. Solo**, 36: 1279-1290, 2012.
- BARROS, C. A. P. de. **Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural utilizando técnicas de monitoramento e modelagem**. Dissertação de Mestrado, 189f., Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, UFSM, 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**, 8ª ed. Viçosa: UFV, 625 p, 2008.
- BERTOL, I. e ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 657-668, 2000.
- BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. 31:781-792, 2007.
- BERTOL, I. et al. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionistas de solo. **R. Bras. Ciência do Solo**, 24:417-425, 2000.
- BERTONI, J. E.; LOMBARDI, F. **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone, 60 Editora, São Paulo, 1998.

BEVEN, K. J.; KIRBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, **Bulletin Hydrologiques**, v. 24, n.1, p, 43-69, 1979.

BEYENE, T; LETTENMAIER, D. P.; KABAT, P. Hydrologic impacts of climate change on the Nile River Basin: implications of the IPCC scenarios 2007. **Climate Change** 100: 433-461, 2010.

BONILLA, C. A. et al. Instrumentation for Measuring Runoff, Sediment, and Chemical Losses from Agricultural Fields. **J. Environ Qual.** VOL. 35, january–february 2006,

BRUM, A.C.R., LOVATTO, T., ELTZ, F., AMADO, T.J.C. **Apostila de Conservação do solo.** Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, CCR, Santa Maria,2013.

BURWELL, R. E. et al. Quality of Water Discharged From Two Agricultural Watersheds in Southwestern Iowa. **Water Resources Research.** VOL1. 0, NO. 2, april 1974.

CASSOL, E. A. et al. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993, **Rev. Bras. de Agromet.** Piracicaba, v.15, n.3, p. 220-231, 2007.

CAVIGLIONE, J. H. et al. Espaçamento entre terraços em plantio direto. **IAPAR, Boletim Técnico**, 71, 59 p.il, Londrina: IAPAR, 2010.

CHARTIN, C. et al. Quantifying and modelling the impact of land consolidation and field borders on soil redistribution in agricultural landscapes. **Catena** 110, 184–195 (2013).

CHEVALLIER, P. As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS - Brasil), **Instituto de Pesquisas Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)**, caixa postal 530 90001 - Porto Alegre,1992.

COGO N. P., LEVIEN R., SCHWARZ R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciada por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira em Ciência do Solo**, 27:743-753, 2003, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>> Acesso em: 27 de janeiro 2015.

COGO, N. P. et al, **Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção de semeadura e pela cobertura superficial do solo**, In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, 2007, Gramado, Resumos. Gramado: SBCS, 2007, CD-ROM.

COUTO, J. L.V. **Irrigação e Drenagem**, Imprensa Universitária da UFRRJ, Seropédica, 1990.

CUNHA, F. F de, et al. Planejamento de sistemas de terraceamento utilizando o software Terraço 3,0. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia, v. 2, n.1, p, 182-196, jan/jun, 2011.

DE MARIA, I. C. Erosão e terraços em plantio direto. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, p.17-22, 1999.

DELMAS, M. et al. Erosion and sediment budget across scale: A case study in a catchment of the European loess belt. **Journal of Hydrology** 420–421, 255–263, 2012.

DENARDIN, J. E. et al. "vertical mulching" Como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2847-2852, 2008.

DENARDIN, J. E. e FREITAS, P. L. de. Características Fundamentais da Chuva no Brasil. ' **Pesq. agropec. bras., Brasília**, 17(10): 1409-1416, out. 1982.

DERPSCH, R. et al. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits, **Int J Agric & Biol Eng**. Vol. 3, N.1, Março, 2010.

DERPSCH, R. et al. Why do we need to standardize notillage research? **Soil Till, Res**, 137, 16–22, 2014.

DIDONÉ, E. J. **Erosão bruta e produção de sedimento em bacia hidrográfica sob plantio direto no planalto do Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, 228p, 2013.

DIDONE, E. J. et al. Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchment in Southern Brazil. **J. Soil Sediments**, 2014.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1714-1723, 2012.

DRESCHER, M. S. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 35:1713-1722, 2011.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D. Methods for analyzing constant head well permeameter data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 320-323, jan. 1992.

ELTZ, F. L. F. et al. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em Laterítico Bruno avermelhado distrófico (São Jeronimo) sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 8, 117–125, 1984.

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, 306 p, 2006.

FAO Statistical Yearbook 2013 World Food and Agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2013.

FAO: Se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água, Disponível em: <<http://nacoesunidas.org/?s=produ%C3%A7%C3%A3o+de+alimentos>>, Acesso em 27 de janeiro, 2015.

FAYOS, C. B. et al, Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation, **Earth-Science Reviews** 78 267–285, 2006.

FEBRAPDP- Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>> Acesso em: 23 jun. 2015.

GUBIANI, P. I. et al. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **R. Bras. Ci. Solo**. 39:100-108, 2015.

GRIEBELER, N. P. et al. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas. Estudo de caso: Bacia do rio Caxangá, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. PB, DEAg/UFPB v.4, n.2, p.299-303, 2000.

HAMMAD, A. A. et al Effects of stonewalled terracing techniques on soil-water conservation and wheat production under mediterranean conditions. **Environmental Management**. Vol. 34, No, 5. P. 701–710, 2004.

HAMZA, M.A. e ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.**, 82:121-145, 2005.

HERNANI, L, C, et al, **A erosão e seu impacto** IN: PRUSKI, F,F, Conservação do solo e águas: Práticas mecânicas para o controle da erosão, 2 ed, Atual e ampl- Viçosa: ED, UFV, pág, 13-23, 2009.

Hernani, L.C. et al. Erosão e seu impacto no Brasil. In: Uso agrícola dos solos Brasileiros. EMBRAPA, Rio de Janeiro, pp 47-60, 2002.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 413 p, 1980.

HORTON, R, E, Erosion development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 56, p, 275-370, 1945.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006) Censo Agropecuário Brasileiro, Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/>> Acesso em: 25 maio de 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no Estado do Paraná**, Londrina: IAPAR, (IAPAR, Circular Técnica, 23), 1981.

...:

JETTEN, V. et al Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. **Catena** 37, 521-541, 1999.

JUNIOR, R. C. et al. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina : IAPAR 77 p, 2012.

KRAMER, L. A. et al. Field scale watershed evaluations on deep loess soils. II Hydrologic responses to different agricultural land management systems. **J. Soil Water Conserv.** 54: 704-710, 1999.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans, 6th comm, Intern, **Society Soil Science**, Moscou, Part A. 17-21, 1932.

KUROTHE, R.S. Effect of tillage and cropping systems on runoff: Soil loss and e crop yields under semiarid rainfed agriculture in India. **Soil Till. Res.**140, 126-134, 2014.

LAL, R. Soil degradative effects of slope length and tillage methods on alfisols in western nigeria, I Runoff, erosion and crop response. **Land degradation & development**, vol. 8, 201-219, 1997.

LAL, R. Soil erosion from tropical arable lands and its control'. **Advances in Agronomy**, 37, 183-248, 1984.

LANDERS, J. N. **Histórico, característica e benefícios do plantio direto**. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, ABEAS; Brasília, DF: Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2005, 113p, (ABEAS, Curso Plantio Direto, Módulo 1).

LEVIEN, R. et al. Semeadura direta de Milho com dois tipos de sulcadores de adubo, em nível e no sentido do declive do terreno. **Ciência Rural** 41, 1003–1010, 2011.

LOMBARDI N. F. et al. **Terraceamento agrícola**. Campinas, SP: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado de São Paulo – Coordenadoria de Assistência técnica Integral, 39 p, 1994.

LOVATTO, T. e ELTZ, F. **Apostila de Conservação do Solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Centro De Ciências Rurais, Departamento de Solos, Santa Maria, novembro de 2013.

MAETENS, W. et al. Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. **Progress in Physical Geography**, vol.36 (5) 599–653, 2012.

MARCELO, A.V. et al. Crop sequences in no-tillage system: Effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield, **Rev. Bras. Ci. Solo**. 33:417-428, 2009.

MARTIN, E. O plantio direto no Estado do Rio Grande do Sul. In: **Encontro Nacional De Plantio Direto**, 3, Posta Grossa, 1985. Anais. Ponta Grossa. Batavo. Fundação ABC, P. 15-16, 1985.

MERTEN, G. H. et al. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research** 152, 85–93, 2015.

MERTEN, G. H. **A visão norte-americana da conservação do solo e da água, Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, Porto Alegre, v.6, n.1/2, p, 56-66, jan/nov, 2013.

MERTEN, G. H. et al. **The effects of soil conservation on sediment yield and sediment source dynamics in a watershed in southern Brazil**, In: **Sediment Dynamics for a Changing Future**. IAHS Publ. 337, IAHS Press, 2010.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. G. **The expansion of Brazilian agriculture: Soil erosion scenarios**, The 2nd WASWAC World conference the threats to land and water resources in the 21st century: Prevention, mitigation and restoration, 4 - 7 September, 2013.

MINELLA, J. P. G. et al. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology** 519, 2189–2201, 2014.

MINELLA, J. P.G.; WALLING, D. E.; MERTEN, G. H. Establishing a sediment budget for a small agricultural catchment in southern Brazil, to support the development of effective sediment management strategies. **Journal of Hydrology** 519, 2189–2201, 2014.

MINELLA, J. P.G. et al. **Processos e modelagem da erosão**: da parcela à bacia hidrográfica, in Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças climáticas. Orgs, PRADO, R. B. et al, Rio de Janeiro: Embrapa Solo, p,105-121, 2010.

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

MIRANDA, A. C. R. et al. Assessment of Efficiency and Adequacy of Retention Terraces, **Revista Brasileira de Ciência do Solo** vol. 36, n.2, Viçosa Mar/Apr, 2012.

MONTGOMERY, D. R. **Soil erosion and agricultural sustainability**. PNAS 2007 104 (33) 13268-13272; published ahead of print August 8, 2007.

MORGAN, R. P. C. et al. **The European soil erosion model (EUROSEM)**: documentation and user guide, Silso e College, Cranfield University, July 1998.

MORGAN, R. P.C. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell, Oxford, 304 p, 2005.

NETTO, A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**, Ed Edgard Blucher, 8ª ed. 669 p. 1998.

PFISTER, S., et al. Projected water consumption in future global agriculture: Scenarios and related impacts. **Science of the Total Environment** 409 4206–4216, 2011.

POESEN, J. et al. **Gully erosion in Europe**, In: Boardman J and Poesen J (eds) Soil Erosion in Europe, Chichester: Wiley, 515–536, 2006.

POESEN J. W. et al. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: A review, **Catena** 23(1–2): 141–166, 1994.

POESEN, J. W. et al. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review, **Catena** 23 141-166, 1994.

PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica 2ª ed. Atual e ampl. – Viçosa: ED. UFV, 279, 2009.

PRUSKI, F. F. et al. Hidros- Dimensionamento de sistemas hidro- agrícolas. Ed. UFV, Viçosa 259 p., 2006

RACZKOWSK, C.W. et al. Comparison of conventional and no-tillage corn and soybean production on runoff and erosion in the southeastern US Piedmont. **Journal of soil and water conservation**. Vol. 64, no 1, Jan/feb – 2009.

REYNOLDS, W. D. et al. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 489-501, nov. 1992

REICHARDT, K. e TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. São Paulo, Manole, 478p, 2004.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 36, n.6, p.1931-1935, nov/dez, 2006.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *R. Bras. Ci Solo*, 32: 1805-1816, 2008.

RENSCHLER, C. S.; HARBOR, J. Soil erosion assessment tools from point to regional scales- the role of geomorphologists in land management research and implementation. **Geomorphology**, 189–209, 2002.

RESCK, D. V. S. A conservação da água via terraceamento em sistemas de plantio direto e convencional do cerrado. Embrapa Cerrado. **Circular técnico**. Planaltina, DF, Setembro 2002.

ROLOFF, G. e BERTOL, J. O. Método para a estimativa da cobertura do solo e da altura do dossel de algumas culturas de verão. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:319-327, 1998.

RUFINO, R. L. Terraceamento. In: PEREIRA, L. R. (Ed.). Manual Técnico do Programa de Manejo e conservação do Solo. 2. ed. Curitiba: IAPAR/Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Paraná, v.1. p. 218-235, 1994.

RUHE, R. V. **Geomorphology**, Boston: Houghton Mifflin, 1975.

SMETS, T. et al. Spatial scale effects on the effectiveness of organic mulches in reducing soil erosion by water. **Earth-Science Reviews** 89, 1–12, 2008.

STRECK, E. V. Mitos e verdades sobre a conservação do solo no Rio Grande do Sul, p.31-38 IN: **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Revista quadrimestral publicada pela Emater/RS-Ascar, Porto Alegre, v.5, n.1, jan/abr. 2012.

SILVA, R. L. e DE MARIA, C. Erosão em sistema plantio direto: Influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.6, p.554–561, 2011.

SOUZA, Z. M. e ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 1823, jan./mar. 2003.

SURYATMOJOA, H. et al. Effects of selective logging methods on runoff characteristics in paired small headwater catchment. **Procedia Environmental Sciences** 17, 221-229, 2013.

SUZUKI, L. E. A. S. et al. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:963-973, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. Análise de Solo, plantas e outros materiais, 2 ed, Porto Alegre: Departamento de Solos – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174 p, **Boletim Técnico**, 5, 1995.

THOMAZ, E. L. e VESTENA L. R. **Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil)**. Department of Geography,

Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Guarapuava, Brazil, *Earth Surf, Process, Landforms* 37, 363–373, 2012.

TOMMER, M. D. et al. Agricultural Practices Influence Flow Regimes of Headwater Streams in Western Iowa. **J. ENVIRON. QUAL.**, VOL. 34, september–october 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2ed Porto Alegre: Ed Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Capítulo 2, 2004.

Wang, E. L. et al. Monthly and seasonal streamflow forecasts using rainfall-runoff modeling and historical weather data, **Water Resources Research** 47, W05516, Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2010WR009922>> Acesso em 27 janeiro de 2015.

WISCHMEIER W. D. e SMITH D. D. Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Agriculture handbook number 537, p.58, 1978.

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. Efeito da Aplicação Sucessiva de Precipitações pluviais com Diferentes Perfis na Taxa de Infiltração de Água no Solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 36:377-388, 2012.

ANEXOS

Anexo A - Implantação do experimento



Visão Geral da bacia sem terraço a frente e a bacia com terraço ao fundo.



Visão do vertedor e camalhões para a convergência dos fluxos.



Terraços após eventos de chuva.



Primeiro evento após construção.



Estação de Monitoramento durante a construção.



Estação de monitoramento indicando a calha, vertedouro, canal, divisores Geib e caixas de acúmulo.



Vertedouro tipo H logo após um evento indicando o pluviógrafo, painel solar e caixa do datalogger.

Anexo B – Monitoramento de eventos



Vertedouro CT após evento do dia 03/11/2014.



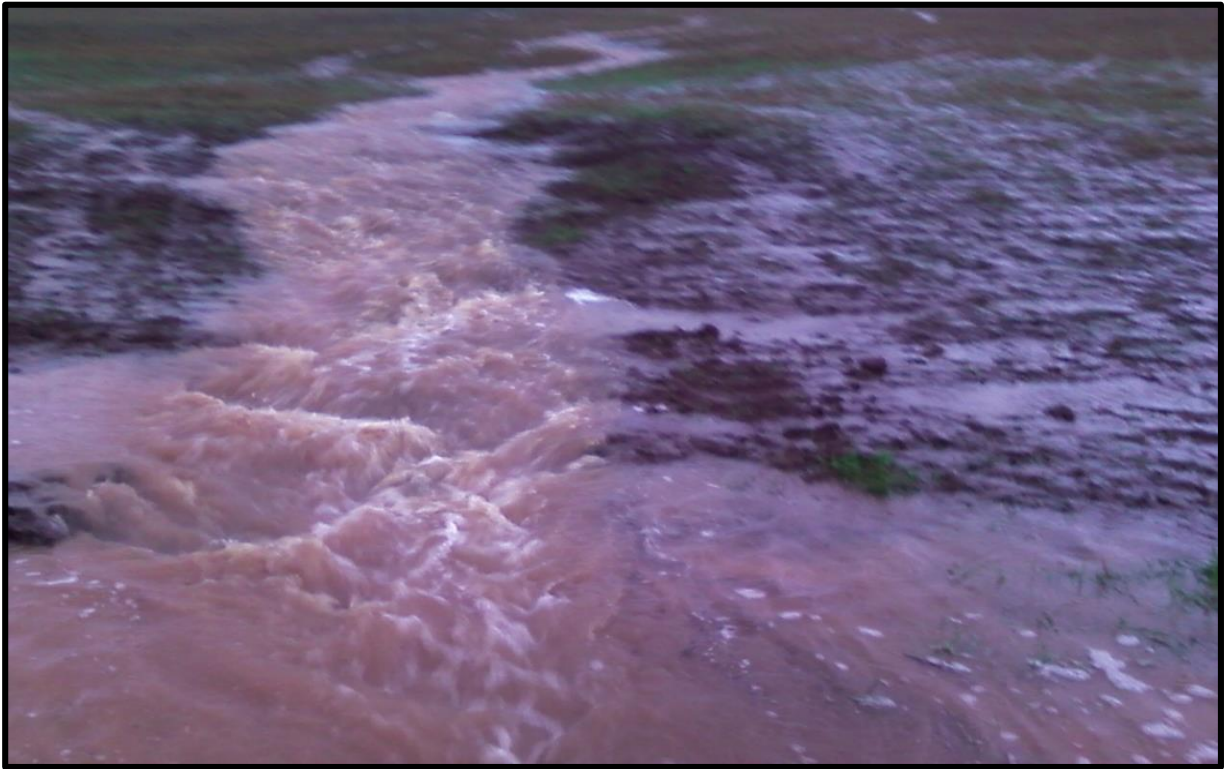
Vertedouro ST após evento 03/11/2014.



Onda cheia na MST 23/07/2014.



Fluxo entrada de água no vertedouro na bacia ST



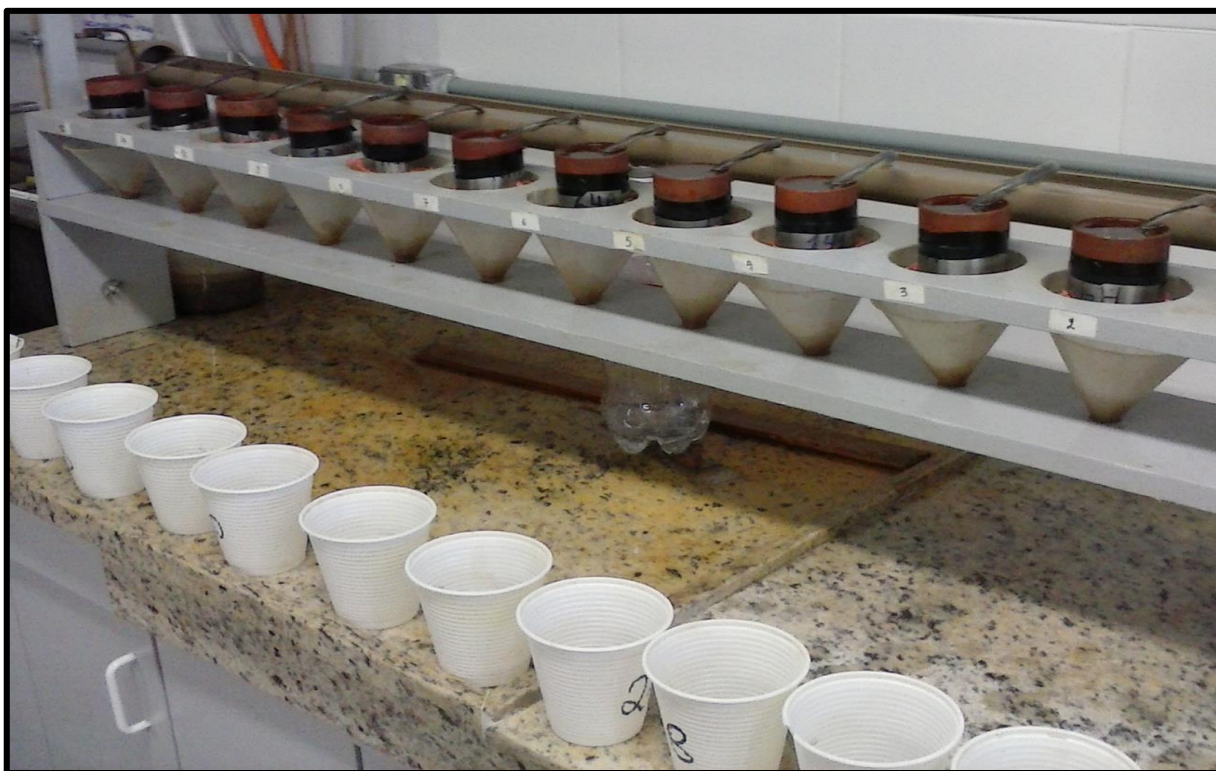
Talvegue na Bacia ST.

‘

Anexo C – Caracterização físico-hídrica



Trincheiras abertas para coletas.



Análise da Condutividade Hidráulica Saturada (K_{sat}).



Análise da textura.



Amostras em Decantação para análise de CSS.i