

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

Dinis Deuschle

**CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS
PERDAS DE SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA
ESCALA DE LAVOURA**

Santa Maria, RS

2016

PPGCS/UFSM, RS, Dinis Deuschle - Mestre 2016

Dinis Deuschle

**CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO EM
SISTEMA PLANTIO DIRETO NA ESCALA DE LAVOURA**

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

Orientador: Prof. Dr. Jean Paolo Gomes Minella

**Santa Maria, RS
2016**

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

Deuschle, Dinis

CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA ESCALA DE LAVOURA / Dinis Deuschle.- 2016.

84 p.; 30 cm

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, 2016

1. Conservação do Solo 2. Plantio Direto 3. Manejo do Solo 4. Monitoramento 5. Produção de Sedimentos I. Minella, Jean Paolo Gomes II. Título.

Dinis Deuschle

**CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO EM
SISTEMA PLANTIO DIRETO NA ESCALA DE LAVOURA**

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

Aprovado em 29 de julho de 2016:

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

Ricardo Bergamo Schenato, Dr. (UFSM)

Madalena Boeni, Dr^a (FEPAGRO)

Santa Maria, RS,
2016

"Dedico este trabalho a minha mãe, Blondina Deuschle (in memoriam), que enquanto esteve entre nós sempre demonstrou o seu amor e afeto inigualáveis. Sem dúvida alguma, o maior legado que deixou foi o seu exemplo de vida, repleto de fé e perseverança em meio aos desafios".

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos a Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, dar saúde e por mostrar os caminhos nas horas incertas, suprimindo todas as minhas necessidades.

À minha família, pelo carinho, paciência e incentivo. Em especial à minha esposa Agnes e minha filha Rebeca que nasceu durante este percurso e, embora tão pequena, precisou aprender a conviver com a distância e a saudade.

Ao meu orientador e amigo Jean Paolo Gomes Minella, por acreditar em mim e me mostrar o caminho da ciência. Pelo exemplo de profissional competente e dedicado que é, suas contribuições foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores, funcionários, bolsistas de iniciação científica e colegas do Programa de Pós-Graduação, pelas boas relações durante esse período de amizade e crescimento profissional.

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

A todos os professores da Pós-graduação em Ciência do Solo pelo convívio e aprendizado. Aos meus colegas e amigos que participaram diretamente deste trabalho e me ajudaram em todos os momentos.

Aos colegas do projeto, os “caçadores de chuva” que tornaram inesquecíveis os eventos no campo.

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

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

Aos amigos Cláudio, Anderson e Luiz Fernando pelas caronas de Santa Maria a Júlio de Castilhos.

Enfim, um agradecimento especial a todos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

Muito obrigado!

RESUMO

CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA ESCALA DE LAVOURA

AUTOR: Dinis Deuschle

ORIENTADOR: Jean Paolo Gomes Minella

As evidências de formação de escoamento superficial e dos processos associados como a erosão, a transferência de solutos, de matéria orgânica e de nutrientes, são reflexos de que o manejo do solo não tem contribuído para a manutenção das funções do solo, especialmente daquelas associadas à regulação dos fluxos hidrológicos. Essa situação conduz à degradação dos solos, à degradação dos recursos hídricos e ao desperdício de insumos. Considerando os preceitos da agricultura conservacionista, inúmeras práticas de manejo de solo, de planta e de gleba são passíveis de serem utilizadas para solucionar os problemas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da quantidade de adição de fitomassa e da escarificação no controle do escoamento superficial e das perdas de solo em áreas de produção de grão sob plantio direto na escala de encosta durante eventos significativos de chuva. O monitoramento foi conduzido em seis macroparcelsas retilíneas, com dimensões de 70x80m e declividade média de 9%, em um Latossolo Vermelho. O estudo foi realizado em Júlio de Castilhos/RS, entre 2014 e 2016 observando as respostas no escoamento superficial e concentração de sedimentos em suspensão durante eventos significativos de chuva. Em cada uma das macroparcelsas, diferentes manejos de solo (três sem e três com escarificação) e de cobertura em função da rotação de culturas (duas de baixa e quatro de média adição de fitomassa). As práticas agrícolas na condução das parcelas seguiram as recomendações técnicas para a produção de grãos (soja/trigo/aveia) no sul do Brasil. Foram monitorados nove eventos significativos de chuva durante 12 meses. Os dados do monitoramento foram avaliados para caracterizar a magnitude das respostas hidrológica e erosiva entre os tratamentos ao longo do tempo. Os resultados demonstram que ambas as práticas, reduzem o escoamento superficial e as perdas de solo. Entretanto, a adição de fitomassa demonstrou maior eficiência do que a escarificação. Os resultados também demonstram que para eventos extremos de precipitação as duas práticas não são capazes de controlar todo o escoamento superficial. Além disso, o monitoramento ao longo dos eventos demonstrou o comportamento da vazão e da concentração de sedimentos, possibilitando compreender o mecanismo de resposta hidrológica dos diferentes eventos de chuva para as diferentes condições de manejo ao longo do ano e entre os eventos.

Palavras-chave: Conservação do Solo. Plantio Direto. Manejo do Solo. Monitoramento. Produção de Sedimentos. Vazão

ABSTRACT

AUTHOR: Dinis Deuschle

ADVISOR: Jean Paolo Gomes Minella

Surface flow and soil loss control in no-tillage system at farm scale

ABSTRACT

The evidence of the formation of surface flow and associated processes such as erosion, transfer of solutes, organic matter and nutrients, are the consequences of soil management not contributing to the maintenance of soil functions, especially those associated to the regulation of hydrological flows. This situation leads to soil degradation, degradation of water resources and waste inputs. Considering the principles of conservation agriculture, numerous practices of soil, plant and field management are likely to be used in order to solve problems. Given this, the objective of this work was to evaluate the influence of the addition phytomass and scarification in the control of surface flow and soil losses in grain production areas using direct planting at slope scale during significant rain events. The monitoring was conducted in six rectilinear macro plots, with dimensions of 70x80m and average steepness of 9%, in a Red Latosol. The study was carried out between 2014 and 2016 in the city of Júlio de Castilho, RS, and observed the responses in surface flow and suspended sediment concentration during significant rain events. There were different systems of soil management (three with scarification and three without) and coverage depending on crop rotation (two with low addition and 4 with medium addition of phytomass) in each of the macro plots. Agricultural practices in the plots followed technical recommendations for grain production (soy/wheat/oats) in southern Brazil. During 12 months, nine significant rain events were monitored. The monitoring data were evaluated to characterize the magnitude of hydrological and erosive responses between treatments over the course of time. Not surprisingly, results show that both practices reduce surface flow and soil losses. However, the addition of biomass presented higher efficiency than scarification. Results also show that for extreme precipitation events the two practices are unable to control all of the surface flow. Moreover, the monitoring of events over time revealed the behavior of the flow and sediment concentration, thus making it possible to understand the mechanism hydrologic response of the different rain events to different handling conditions throughout the year and between events.

Keywords: Soil Conservation. No Tillage. Soil Management. Monitoring. Sediments Yield. Runoff

LISTA FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 – Área plantada com os principais grãos no Brasil.....	16
Figura 2 – Evolução anual da adoção do Plantio Direto no Brasil.....	19

ARTIGO

Figura 1 - Área Experimental	37
Figura 2 - Alocação das macroparcelas na encosta	38
Figura 3 - Modelo numérico de elevação das macroparcelas.....	39
Figura 4 - Modelo numérico de declividade das macroparcelas.	39
Figura 5 - Direção de fluxo acumulado das macroparcelas.....	40
Figura 6 -. Vertedor tipo H e tanques de coleta.....	41
Figura 7 - Diferentes condições de adição de fitomassa	42
Figura 8 - Adições de fitomassa para os períodos em análise.	43
Figura 9. Proteção da superfície ao longo do tempo pela cobertura viva e morta. –.....	43
Figura 10 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 08/07/2015.....	55
Figura 11 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 08/07/2015.	56
Figura 12 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 13/07/2015.....	57
Figura 13 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 13/07/2015.	58
Figura 14 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 14/07/2015.....	59
Figura 15 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 14/07/2015.	60
Figura 16 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 20/07/2015.....	61
Figura 17 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 20/07/2015.	62
Figura 18 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 08/10/2015.....	64
Figura 19 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 08/10/2015.	65
Figura 20 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 14/12/2015.....	67
Figura 21 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 14/12/2015.	68
Figura 22 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 18/12/2015.....	69
Figura 23 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 23/12/2015.....	70
Figura 24 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 23/12/2015.	71
Figura 25 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 24/12/2015.....	72
Figura 26 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 24/12/2015.	73
Figura 27 - Resumo dos eventos monitorados.....	74

LISTA TABELAS

Tabela 1 - Manejos de cobertura e de solo utilizados nas macroparcelas.	42
Tabela 2- Estratégia de comparação dos resultados do monitoramento.....	45
Tabela 3 Precipitações ocorridas no período de monitoramento e a frequência de acompanhamento.	46
Tabela 4 - Resultados da análise estatística para as diferentes variáveis analisadas. ...	47
Tabela 5 - escoamento superficial (Q) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.....	49
Tabela 6 - Coeficiente de escoamento superficial (Q) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.	50
Tabela 7 - Vazão máxima (Qpico) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelas, no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.....	51
Tabela 8 - Concentração de sedimentos em suspensão (C _{ss}) em função das precipitações (P) nas macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.	52
Tabela 9 - Produção de sedimentos (PS) em função das precipitações (P) nas macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS

PD	Plantio Direto
C	Carbono
N	Nitrogênio
P	Fósforo
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
SPD	Sistema de Plantio Direto
SC	Sistema Convencional
PIB	Produto Interno Bruto
FAO	Organização das Nações Unidas
AC	Agricultura Conservacionista
BH	Bacia Hidrográfica
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação
CSS	Concentração de sedimento em suspensão
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
Ds	Descarga sólida
Q	Vazão
PS	Produção de Sedimento
Ppt	Precipitação
V	Volume
M1	Macroparcela 1
M2	Macroparcela 2
M3	Macroparcela 3
M4	Macroparcela 4
M5	Macroparcela 5
M6	Macroparcela 6
MST	Megaparcela sem terraço
MCT	Megaparcela com terraço

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	A EXPANSÃO AGRÍCOLA NO SUL DO BRASIL	14
2.2	AGRICULTURA CONSERVACIONISTA E O SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	17
2.3	A SIMPLIFICAÇÃO DO SISTEMA	22
2.4	NA BUSCA DE SOLUÇÕES.....	24
3	ARTIGO	33
3.1	INTRODUÇÃO	35
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.2.1	Descrição do local e da área experimental	37
3.2.2	Caracterização e delimitação das macroparcelas	38
3.2.3	Uso e manejo do solo nas macroparcelas	41
3.2.4	Monitoramento hidrológico e erosivo	43
3.2.5	Análise dos dados	44
3.3	RESULTADOS.....	46
3.3.1	Quantificação das perdas de água e sedimentos	47
3.3.2	Análise do comportamento da vazão e da concentração de sedimentos durante os eventos 53	
3.4	DISCUSSÃO	74
3.5	CONCLUSÕES	77
3.6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
	ANEXO A – FOTOS DO EVENTO DO DIA 08/10/2015	79
	ANEXO B – FOTOS DO EVENTO DO DIA 23 E 24/12/2015	80
	ANEXO C – FOTOS DAS OPERAÇÕES REALIZADAS NO EXPERIMENTO	81
	ANEXO D – FOTOS DAS CULTURAS IMPLANTADAS	82

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Solo encontra-se no centro dos principais desafios do planeta da atualidade: a produção de alimentos, de fibras e de bioenergia, e das suas funções ambientais. Além da produção agrícola, tem ainda, papel fundamental na mitigação de efeitos de mudanças climáticas, na manutenção e qualidade dos mananciais e na sustentação da biodiversidade.

O Brasil tem sido pioneiro no desenvolvimento e utilização do plantio direto (PD), como uma das principais estratégias da agricultura conservacionista, que abrange, atualmente, uma área de cerca de 32,0 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2016). Com o Sistema Plantio Direto (SPD), conceitualmente semelhante ao termo Agricultura Conservacionista, além dos princípios da proteção do solo contra o impacto da gota da chuva, têm-se o aumento da infiltração e o controle do escoamento superficial. Esses princípios asseguram o aumento e estabilidade da produtividade com menor custo e reduzem os problemas hidrológicos e erosivos condicionados pela atividade agrícola. A agricultura conservacionista é uma forma mais sustentável de produção agrícola, desde que se observem todos os princípios conservacionistas, compondo um conjunto de práticas capaz de atingir as demandas da produção agrícola e minimizando os impactos ambientais.

No entanto, apesar da grande experiência e contribuição do PD no Brasil para o controle da erosão, a maneira pela qual os agricultores conduzem suas lavouras, nem sempre fornece suficiente proteção à erosão do solo e conservação da água. Em grande parte das lavouras de terras altas, tem-se observado estagnação nos rendimentos de grãos obtidos e até mesmo redução em anos de ocorrência de déficit hídrico, mesmo com a adoção de cultivares com alto potencial produtivo e de altos níveis tecnológicos. Em determinadas situações, com disponibilidade de irrigação ou em anos em que não ocorre déficit hídrico, é possível atingir aumento de produtividade, porém, a produtividade real dos solos está muito aquém da produtividade potencial. Os agricultores têm substituído o recomendado, por novos sistemas de manejo do solo. A necessidade de aumentar o rendimento do trabalho e de aproveitar as oportunidades de mercado agrícola tem levado a alterações que buscam a simplificação das práticas recomendadas, e estas alterações, em muitos casos tem se mostrado incompatíveis com a conservação do solo (escoamento, erosão hídrica e fluxo de poluentes para os corpos d'água). A causa mais visível da ocorrência de degradação do solo pode ser decorrente do abandono pelos agricultores dos fundamentos da agricultura conservacionista, também chamada de "SPD". As quais são o não revolvimento do solo, o cultivo em rotação de uma sequência de

culturas capazes de produzir cobertura do solo adequada, o cultivo em nível e o controle do escoamento.

A cobertura permanente do solo e em quantidade suficiente para manter a quantidade e qualidade da matéria orgânica (MO) no solo é o princípio mais importante no manejo do solo, para que esse mantenha suas funções produtivas, de caráter hidrológico, ambiental, etc., trazendo múltiplos benefícios como a redução da erosão hídrica, aumento da taxa de infiltração de água no solo e capacidade de retenção da umidade, redução da perda de umidade por evaporação, redução da temperatura, melhoria das condições para germinação, aumento no conteúdo de MO em superfície, aumento da estabilidade dos agregados das camadas superficiais, estímulo à atividade biológica do solo, aumento da porosidade, estímulo ao controle biológico, supressão do crescimento de ervas daninhas, etc. A inexpressiva utilização atual de plantas de cobertura de solo (espécies que produzam grandes quantidades de biomassa e de rápido desenvolvimento), no estabelecimento de rotação de culturas demonstra a falta de interesse e entendimento para melhor aproveitamento de suas potencialidades e, assim, contribuir para que os sistemas de produção atinjam maior produtividade a partir das características intrínsecas do solo, a menor custo, e, também, que o solo cumpra suas funções ambientais para benefício da sociedade.

O não revolvimento dos solos, associado à utilização de maquinários pesados e em alta frequência com teor excessivo de umidade e excedendo a capacidade de suporte do solo, normalmente resulta em compactação na camada superficial de solos em PD. Em muitos casos, na busca de solução a problemas específicos decorrentes do manejo de cobertura, por exemplo, a compactação, utiliza-se técnicas mecânicas para melhorar a estrutura do solo. As quais são consideradas, aparentemente, mais simples e rápidas para serem utilizadas na rotina de condução das lavouras.

Na busca de alternativas para o aprimoramento da agricultura conservacionista no sul do Brasil, esse trabalho teve como objetivo central acompanhar, por meio do monitoramento hidrológico em macroparcelsas, a eficiência da adição de diferentes incrementos de fitomassa e da escarificação no controle do escoamento superficial e dos processos associados em área sob PD. Em muitos casos, os agricultores são resistentes ao uso de estruturas mecânicas de controle de escoamento como os terraços. Entretanto, há poucas informações quantitativas do efeito do manejo de cobertura e da escarificação na hidrologia das encostas sob PD. Sendo assim, esse trabalho apresenta os resultados preliminares de um programa de monitoramento do impacto da atividade agrícola na escala de encosta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A EXPANSÃO AGRÍCOLA NO SUL DO BRASIL

A agricultura no Brasil foi impulsionada com a chegada dos imigrantes europeus nas décadas de 50 e 60. Áreas de mata nativa foram derrubadas e cultivadas de forma intensiva, o que ocasionou a expansão das fronteiras agrícolas no país, a qual não se preocupava com uso e manejo adequado do solo, mas sim com a sua resposta produtiva. Isso resultou numa perda de produtividade dos solos agrícolas devido ao decréscimo nos atributos químicos do solo (MIELNICZUK, 1999).

Para converter esse problema, em 1966, um conjunto de projetos intitulados “Operação Tatu”, iniciados na Região de Ibirubá, foram agrupados em um programa denominado Plano Estadual de Melhoramento de Fertilidade do Solo. Iniciou-se uma intensa pesquisa em fertilidade do solo em todo o Estado, chegando às Recomendações de Adubação e Calagem (MIELNIKZUK. et. al, 1969). A partir disto, a produtividade das principais culturas aumentou e áreas já abandonadas voltaram a ser produtivas. Com a expansão do uso de calcário e adubo, em função da implantação da “Operação Tatu”, expandiu-se também o cultivo da cultura da soja no Estado.

Nos anos 70, a chegada da mecanização agrícola revolucionou o plantio e a colheita com operações rápidas e eficientes e também facilitou o preparo do solo para semeadura das culturas principalmente no verão (soja) e no inverno (trigo), o qual denominamos preparo convencional (PC), que consiste no revolvimento solo para o controle de plantas invasoras, incorporação dos resíduos culturais, fertilizantes e corretivos e também aumentar o contato da semente com o solo. Porém, nesse sistema, o solo sem cobertura fica exposto ao impacto da gota de chuva, resultando em perdas de solo que chegava a 10 t ha⁻¹ de solo (AMADO e ELTZ, 2003). Essas perdas eram agravadas com ocorrência de chuvas de alta intensidade, as quais ocorreram em 1978 e geraram perdas superiores a 30 milhões de dólares em fertilizantes, corretivos, sementes, combustível, trabalho e produtividade, sem considerar os prejuízos ambientais causados pela erosão (CASSOL, 1984).

Essa situação de elevadas perdas de solo motivou pesquisadores a realizar estudos testando novas alternativas de sistemas de manejo para controlar a degradação dos solos agrícolas. Estudos com chuva simulada mostravam a necessidade de reduzir o revolvimento do solo e de se manter o solo com cobertura vegetal, para controlar a erosão hídrica (CASSOL et al, 1976; CINTRA et al., 1983; WUNSHE et al., 1981), sendo apontadas as principais causas

da erosão acelerada nos solos do Planalto Médio e Missões: a) excessivo preparo com lavração e gradagem; b) manejo do solo com umidade inadequada; c) queima da palha deixada pela cultura anterior; d) áreas em pousio sem cobertura de solo e com reduzida vegetação espontânea pelo uso de gradagem no inverno e primavera; e) terraceamento como única prática conservacionista, sendo os terraços mal projetados e construídos com equipamentos inadequados (MIELNICZUK, 1999).

Surge a necessidade de adoção de um sistema mais conservacionista apropriado para condições subtropicais do Brasil, visando redução da degradação das terras agrícolas. O IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) e o IAC (instituto Agrônomo de Campinas) foram pioneiros no desenvolvimento de pesquisas para promover SPD com qualidade.

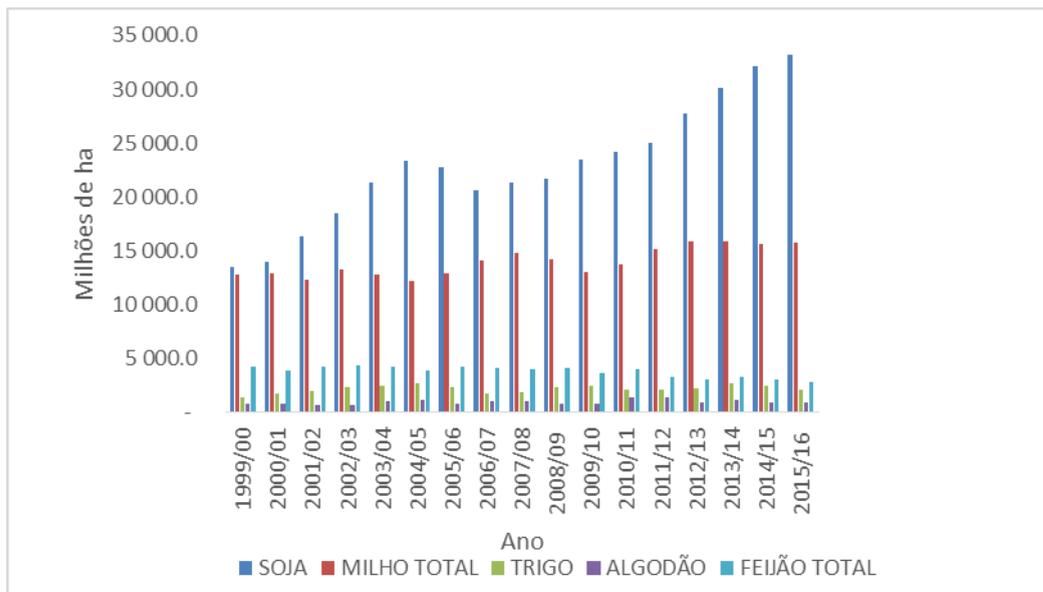
A proposição de práticas conservacionistas visava o terraceamento para conter o escoamento superficial em encostas agrícolas, a implantação de plantas em cobertura durante o período de pousio no inverno para: manter o solo coberto, aumentar os teores de MO, diminuir o ataque de pragas e doenças, reduzir a infestação de plantas invasoras e ser uma fonte de forragem em sistemas de integração lavoura-pecuária, além de incentivar os produtores a utilizar espécies em sistema de rotação de culturas para melhorar estrutura física, química e biológica do solo entre outros benefícios (JUNIOR et al. 2012; CAVIGLIONE et al., 2010; LANDERS, 2005).

O SPD e o PC (Plantio Convencional) foram comparados em diferentes regiões na escala de parcelas padrões de perda de solo (parcelas com área = ou $>77\text{m}^2$), sendo que os resultados são bem difundidos entre o meio científico, os quais demonstram redução nas perdas de solo no SPD (IAPAR, 1981; BERTOL et al., 2007; DENARDIN et al., 2008, SILVA et al., 2005). Esses sistemas foram comparados também no âmbito de bacias hidrográficas, sendo avaliado o comportamento das perdas de solo após implantação do novo sistema (MINELLA et al., 2007; RACZKOWSKI et al., 2009; KUROTHE et al., 2014). São poucos os trabalhos que abordam o estudo na escala de encosta agrícola, sendo está uma escala de forte influência sobre as perdas por escoamento em relação ao manejo adotado pelo produtor (WILLIAMS et al., 2014; MERTEN et al., 2015; ALI et al., 2016)

O Brasil foi pioneiro no desenvolvimento da técnica do SPD, a qual demorou cerca de 20 anos para ser difundida entre os produtores, sendo que atualmente, cerca de 32 milhões de hectares são cultivados com SPD no Brasil (FEBRAPDP, 2016). O manejo adotado pelos produtores varia de acordo com o nível de investimento e tecnologia, desde um sistema simples que explora apenas a semeadura direta até sistemas complexos e eficientes tal como o SPD visando uma agricultura conservacionista e sustentável.

O Brasil é considerado mundialmente o celeiro da Produção Agrícola. Sendo que a cultura da soja ocupa maior área no cenário produtivo conforme apresentada na Figura 1. Podemos destacar a expansão da produção da soja nos últimos anos, sendo uma das principais que movimenta o PIB brasileiro.

Figura 1 - Área plantada com os principais grãos no Brasil.



Fonte: Conab Safra 2016.

Atualmente, as práticas que caracterizam a agricultura conservacionista são negligenciadas. Apenas o cultivo conservacionista “PD” vem sendo utilizado, sendo que um dos principais problemas resultantes é a compactação do solo e as consequências hidrológicas disso. O uso excessivo de máquinas, cultivo intensivo, falta de rotação de culturas, pastejo intensivo e o manejo inadequado do solo, leva à compactação, que resulta na diminuição da infiltração e retenção de água no solo (HAMZA e ANDERSON, 2005). Isso ressalta a discussão da importância de técnicas conservacionistas no sistema atual produtivo.

Dados da FAO apontam que para 2015 a população mundial chegará a nove bilhões de habitantes, o que impulsiona a produção de alimentos. Por isso estudos em solo ganham destaque nesse cenário devido à preocupação em produzir em sistemas mais conservacionistas que resultam em menor impacto para os recursos naturais (DUVERT et al., 2010; CHARTIN et al., 2013).

O tema “preservação do solo” ainda é tratado de modo parcial e secundário. Apesar de tamanha importância, o tema é negligenciado tanto em nível nacional como internacional. Cabe

o desenvolvimento de novos estudos em encosta agrícola que é a escala de interesse do produtor rural no atual sistema praticado, para compreender a dinâmica hidrológica no SPD, sendo que técnicas conservacionistas foram testadas, na maioria dos estudos, na escala de parcelas padrões de perdas de solo e água, sob condição de chuva natural ou simulada (MAETENS et al, 2012).

Diante desse contexto, soluções padronizadas e simplificadas não se mostram adequadas para os problemas atuais de erosão. A necessidade da governança do solo se apresenta como estratégia de ampliação das discussões dos problemas existentes e para a tomada de decisões, como forma de solução regionalizada para problemas complexos.

2.2 AGRICULTURA CONSERVACIONISTA E O SISTEMA PLANTIO DIRETO

O início do PD no Brasil ocorreu devido às taxas de perda de solo que estavam extremamente altas, pois a expansão das fronteiras agrícolas crescia sem qualquer controle da exploração dos recursos naturais (solo, água, biodiversidade). Essa constatação foi observada por produtores na região sul do país, mais especificadamente no estado do Paraná.

Assim, em 1972 o produtor rural Bartz, na cidade de Rolândia – PR, tornou-se pioneiro na implementação de um preparo do solo que buscava a melhoria da qualidade do mesmo sob os aspectos físicos, químicos e biológicos como forma de promover maior rendimento às culturas e proteção ao solo. Podemos considerar o Brasil como um país pioneiro na conservação do solo e da água por meio do PD (LANDERS, 2005).

Todavia, a consolidação do PD não ocorreu rapidamente, isto é, para alcançar sua consolidação, passou por três grandes fases iniciando pela sua implementação em Rolândia e em outras cidades do estado do PR devido a degradação do solo pela erosão, período de 1972 - 1985; a segunda fase, de 1985 - 1992, caracterizada pelo retorno financeiro devido a troca do PC para o PD; e a terceira fase de 1993 - 1999 quando o PD torna-se além de um sistema conservacionista, lucrativo aos produtores rurais (LANDERS, 2005).

Cabe ressaltar que nesse período, desde o preparo da primeira lavoura em PD, em 1972, até sua consolidação (início da década de 90), foram necessárias adaptações e/ou modificações em importantes setores agrícolas como por exemplo, o desenvolvimento de semeadoras específicas para a semeadura direta (JUNIOR et al. 2012). Um dos grandes entraves à consolidação do PD era o manejo das Plantas Invasoras, que se encontravam em diferentes estádios de desenvolvimento. Todavia, o desenvolvimento de herbicidas, principalmente o Glifosato, para controle destas plantas, antes incorporadas ao solo, propiciou a consolidação do PD.

A Figura 2 apresenta a evolução da implementação do PD no Brasil segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha até o ano de 2012, onde mais de 30 milhões de hectares são cultivados em PD (<http://febrapdp.org.br>).

O PD foi desenvolvido para promover melhorias nas propriedades do solo e para a planta, visando maior produtividade, menos insumos e proteção ao solo, devido à presença permanente de cobertura sobre o mesmo. Desta forma, os índices e a eficiência do PD em relação ao antigo sistema de preparo do solo PC, começaram a demonstrar seus objetivos de desenvolvimento, como por exemplo, redução nas taxas de perdas de solo e água superficial (SCHICK et al. 2000; COGO et al. 2003; BERTOL et al. 2008) e melhoria das propriedades do solo, incrementando a produtividade agrícola (DEBARBA & AMADO 1997; BARCELOS et al. 1999; AMADO et al. 2001).

O PD foi considerado uma técnica conservacionista revolucionária para agricultura brasileira por meio de um conjunto de medidas que objetivava as melhorias das funcionalidades do solo tanto do ponto de vista de produção como ambiental. Dessa forma, para atender os preceitos de qualidade do solo e assim promover proteção contra processos de degradação do solo, como por exemplo, a erosão, o PD passou a ser designado por um sistema baseado em três princípios básicos, os quais lhe caracterizam, então, por SPD, são eles: (I) ausência do revolvimento ou mínima mobilização do solo, (II) presença permanente da cobertura do solo viva ou morta e (III) rotação de culturas. São esses três princípios básicos, que quando adotados em sua concepção, atuam na proteção e na melhoria da qualidade do solo.

Primeiro, o mínimo ou não revolvimento do solo permitirá a qualidade estrutural do solo devido a não ruptura dos agregados como ocorre pelo PC. A estabilidade de agregados é uma propriedade do solo de grande impacto sob a proteção do solo, pois expressa a resistência do solo aos agentes externos como o impacto da gota da chuva.

Segundo, a cobertura permanente sobre o solo é uma prática de manejo para controle da depauperação dos solos que atua assiduamente na concepção do PD, principalmente para o controle da erosão do solo. Além de interceptar e absorver o impacto das gotas da chuva, promove estruturação do solo (HAJABBASI; HEMMAT, 2000), evitando o selamento e encrostamento superficial (SILVA; KATO, 1997), aumentando a infiltração e diminuindo o escoamento superficial (WILLIAMS et al. 2014; THIERFELDER; WALL, 2009). Para isso, a cobertura do solo deve ser obtida através da rotação intensa das culturas, dos resíduos de colheita e da parte aérea das culturas em desenvolvimento.

Terceiro, a rotação de culturas deve ser baseada na inserção de culturas comerciais e de cobertura. As culturas de cobertura de solo possuem papel fundamental no sucesso do PD, por

isso deve-se planejar sua inserção na propriedade para alcançar êxito no sistema de produção. Assim, além de mantermos o solo sempre protegido, estaremos promovendo diversidade quanto ao incremento de nutrientes no solo, diferentes sistemas radiculares, os quais exploram diferentes profundidades no perfil e, ainda, reduzindo a infestação de pragas, doenças e plantas invasoras pela cobertura e diversidade de culturas. Portanto, elas devem fornecer algumas características como, por exemplo, fixação biológica de nitrogênio (N), adição de carbono (C) no solo, alta quantidade de palha (8 - 15t ha⁻¹), melhoria na estrutura do solo, sistema radicular capaz de promover descompactação e/ou formação de bioporos, melhorando a infiltração de água no solo, entre outros.

Amado et al. (2001) testando o potencial de diferentes plantas de cobertura como aveia (*Avena sativa*) + ervilhaca (*Vicia sativa*), tremoço (*Lupinus*), azevém (*Lolium multiflorum*) + ervilhaca e mucuna (*Mucuna pruriens*) + feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) no incremento de N e C ao solo em comparação ao PC com milho (*Zea mays*) + pousio concluíram que os sistemas com culturas de cobertura promoveram maiores teores de N e acúmulo de C, sendo que o cultivo de mucuna + milho foi mais eficiente no estoque desses dois elementos.

Figura 2 - Evolução anual da adoção do Plantio Direto no Brasil.



Fonte: Federação brasileira de plantio direto na palha e CONAB, 2012.

Podemos então supor que o conceito do termo “Sistema Plantio Direto” seria um conceito semelhante do termo “Agricultura Conservacionista”. Esses dois termos são diferentes do termo “Plantio Direto” que define apenas um tipo de prática de cultivo conservacionista, ou seja, o PD tem cumprido com sua proposição, mas como outras práticas conservacionistas não são utilizadas, nós ainda estamos distantes do conceito de agricultura conservacionista.

Os princípios da agricultura conservacionista (AC) ou SPD asseguram o aumento da produtividade com menor custo e reduzem os problemas hidrológicos e erosivos condicionados pela atividade agrícola. Embora haja uma significativa área cultivada com PD (cultivo conservacionista e não agricultura conservacionista) no Brasil (Figura 2), observa-se que a qualidade do sistema está aquém do esperado para mitigar problemas de natureza conservacionista e ambiental, relativos ao aumento da infiltração e ao controle do escoamento superficial e da erosão (DENARDIN et al. 2008).

Tais problemas entendem-se, a adoção incompleta da AC e os efeitos climáticos adversos, vêm se traduzindo em prejuízos econômicos e ambientais, em decorrência da degradação estrutural, redução da taxa de infiltração e de retenção de água no solo, ocorrência de perdas de solo, água e agroquímicos por erosão, perda de fertilidade integral, frustrações de safra, motivadas por déficit hídrico e redução da vazão de base em rios nos períodos de estiagem. Perdas de fósforo (P) dissolvido foram marcadamente maiores em uma pequena bacia hidrográfica - BH (< 1 ha) sob PD em comparação a outra sob PC, entretanto, maiores perdas de P total e nitrato (N-NO₃) foram maiores na BH com PC, sugerindo que produtores com adequado manejo do PD não devem incorporar os fertilizantes para evitar maiores perdas de nutrientes (SHIPITALO et al. 2013). Os impactos econômicos em lavouras (propriedade rural), devido à erosão, podem ser minimizados se práticas conservacionistas forem instaladas, pois os custos com a perda de nutrientes são significativamente reduzidos (BERTOL et al. 2007).

Importante ressaltar que o processo erosivo é fortemente influenciado pela energia disponível no sistema formado por um componente energético vertical (impacto da gota d' chuva) e o componente horizontal conhecido por enxurrada. O SPD é muito eficiente no controle do componente vertical devido à presença de cobertura vegetal durante todo o ano, pelos resíduos vegetais e culturas em desenvolvimento. Todavia, no controle da velocidade das enxurradas, o SPD não apresenta a mesma eficácia, sendo necessárias outras medidas. Dessa forma, a inserção de práticas mecânicas conservacionistas, por exemplo, o terraceamento, pode ser uma medida complementar de grande impacto sobre o desencadeamento da erosão do solo.

Cabe destacar que por muito tempo ou ao longo do período de consolidação, considerou-se o SPD como suficiente para reduzir os problemas do processo erosivo. Um estudo realizado no Paraná em 2010 alertou técnicos e produtores para a manutenção ou construção de terraços, mesmo em lavouras sob PD, pois os terraços são as medidas mais eficazes no controle da erosão, principalmente em anos com chuvas de elevada erosividade (CAVIGLIONE et al., 2010).

Não obstante, a técnica do terraceamento ainda é considerada onerosa quanto aos custos de implementação e manutenção (combustível, máquinas, etc) além da perda de área devido à

construção do canal e camalhão. Nesse contexto, outras práticas e/ou técnicas são utilizadas com maior aceitabilidade por parte dos produtores como por exemplo, a escarificação do solo. Práticas como essa podem ser adotadas junto ao SPD de forma a propiciar maior infiltração de água no solo. Já se sabe que o não revolvimento do solo pelo SPD gera, em condições inadequadas de trafegabilidade (por exemplo, umidade do solo elevada e pouca palha sobre o solo) o estado de compactação do solo (HAMZA; ANDERSON, 2005).

A compactação resulta na maior densidade do solo reduzindo o espaço poroso e gerando uma camada subsuperficial (a partir dos 5 cm) compactada, a qual é crítica para outro processo de degradação do solo, isto é, a erosão. Estudos na Europa apontaram que as linhas de tráfego estão sendo as vias preferenciais na geração de escoamento superficial e na transferência de sedimentos e elementos como P e N para os rios (SILGRAM et al., 2010). Todavia, é quando a escarificação ou outras práticas de manejo do solo podem melhorar a porosidade do solo facilitando o processo de infiltração e consequentemente vir a diminuir o escoamento superficial. Drescher et al. (2016) em Latossolo argiloso sob SPD verificou as alterações em diferentes propriedades físico-hídricas do solo em função da descompactação pela prática de escarificação do solo. Os autores concluíram que as propriedades relativas ao fluxo de água no solo, como por exemplo, a condutividade hidráulica do solo saturado e taxa de infiltração, tiveram por um período de 24 meses, efeitos da descompactação por meio da escarificação.

Além do manejo do solo, o manejo de cobertura, dentro dos princípios do SPD, também deve assegurar a proteção do solo. Vários estudos foram conduzidos para observar os efeitos da cobertura vegetal na redução do escoamento superficial e da erosão. Nesse sentido, Lal et al. (1980) in (FAO, 2012) concluíram que resíduos de culturas poderiam prevenir a erosão e sustentar a produção em solos que são difíceis de manejar, sendo que a magnitude destes efeitos depende da qualidade dos resíduos e também da melhoria das condições físicas e químicas do solo. No entanto, os autores destacam que os resultados podem diferir das regiões tropicais a temperadas. A inclusão de culturas de cobertura na rotação de culturas (princípio do SPD) afeta diretamente a proteção do solo e também, indiretamente, a decomposição de resíduos, como mostrado em Varela et al. (2014) em que a introdução das culturas de cobertura aumentaram a decomposição de resíduos de soja. Isso é importante, pois a inserção de resíduos e a taxa de decomposição irão determinar a quantidade de MO no solo em SPD e, portanto, a escolha das culturas de cobertura deveria ser considerada quando houver a seleção de culturas para a rotação, promovendo sempre a cobertura permanente do solo e sua proteção. Ramos et al. (2014) avaliaram perdas de água e solo em função das características de superfície e preparo de solo por meio de duas culturas de cobertura, ervilhaca (*Vicia sativa*) e azevém (*Lolium*

multiflorum) além da escarificação realizada nos tratamentos apenas quando havia raízes. As perdas de água e solo foram maiores no tratamento com ervilhaca tanto escarificado ou não em relação aos tratamentos com azevém, mostrando que o tipo de cobertura utilizada no SPD pode ser determinante para a produção de biomassa e proteção do solo.

Por fim, passados mais de 40 anos desde a implementação da primeira lavoura sob PD e posteriormente sua consolidação do PD como SPD, vivenciamos um novo momento ou ainda uma nova fase do SPD. Na última década há um indicativo da sua simplificação como sistema baseado nos princípios e ainda sobre o que tangencia a proteção do solo contra os processos de degradação, principalmente a erosão do solo. O SPD foi desenvolvido como uma técnica conservacionista para maximização das funcionalidades do solo tanto do ponto de vista agrícola como ambiental. Nesse sistema, além dos princípios da proteção do solo contra o impacto da gota da chuva, têm-se o aumento da infiltração e o controle do escoamento superficial. Esses princípios asseguram o aumento da produtividade com menor custo e reduzem os problemas hidrológicos e erosivos condicionados pela atividade agrícola.

2.3 A SIMPLIFICAÇÃO DO SISTEMA

O novo sistema agrícola de produção de grãos, baseado em espécies transgênicas, possibilitou a simplificação das operações mecânicas e o controle de plantas invasoras em grandes extensões de áreas. Entretanto, a simplificação das operações agrícolas marginalizou o conceito de agricultura conservacionista, que deveria ser caracterizado por um conjunto de práticas já não mais realizadas. O SPD, em muitas condições, se resumiu num cultivo conservacionista, em muitos casos, com baixa adição de biomassa e solos adensados/compactados.

A partir da evidente e significativa redução da erosão condicionada pelo não revolvimento do solo e a presença de palha na superfície, algumas práticas foram deixadas de lado, como os terraços e a rotação de culturas. Em consequência a alguns problemas resultantes do não revolvimento e baixa adição de fitomassa, criou-se um cenário distinto de degradação, com o aumento do escoamento superficial em detrimento da infiltração e retorno gradativo da erosão hídrica e da elevada transferência de fertilizantes e agroquímicos para os corpos de água. Importante enfatizar que, mesmo em áreas onde a erosão não se manifesta em intensidade, observa-se a formação do escoamento devido à compactação do solo, como reflexo negativo da baixa taxa de infiltração. Esse fenômeno cria duas preocupações importantes ao setor produtivo e interesses ambientais: a) para o primeiro, a perda de fertilizantes que afeta o custo da produção

e baixo armazenamento de água no solo que afetará a produtividade nos anos mais secos, e b) para o segundo, o aumento das enchentes, a redução da vazão de base dos rios e a contaminação por poluentes agrícolas (fertilizantes e agrotóxicos).

Há evidências claras que as negligências e a ausência de práticas mecânicas de controle de escoamento e a redução sensível das taxas de infiltração causam forte impacto na hidrologia das áreas agrícolas condicionando ao elevado escoamento superficial e erosão hídrica, os quais afetam a produtividade agrícola e os recursos hídricos (BEYENE et al., 2007; WANG et al., 2011). Considerando que a dinâmica da degradação segue uma dinâmica distinta atualmente, entendemos que, com base na descrição dos fenômenos na escala de encosta, poderemos traçar estratégias melhores de conservação do solo para superar as deficiências da agricultura atualmente praticada, considerando as demandas dos agricultores e da sociedade como um todo.

Com o desuso das práticas conservacionistas o solo passa a ser mais susceptível à desagregação e a erosão, causando problemas econômicos, sociais e ambientais. Estudos que visam a conservação e melhorias de práticas de uso e manejo do solo têm impulsionado vários estudos na área, devido à grande demanda na produção de alimentos (DELGADO e LI 2016).

Embora o SPD seja mais eficiente no controle e na prevenção do escoamento superficial, quando comparado com o PC (MERTEN, 2015) em chuvas de precipitações elevadas e de grande intensidade ainda ocorre perdas de água com perdas de solo significativas (KUROTE et al. 2014; ALI et al 2016)

O baixo aporte de C no PD ocasionado principalmente pela falta da rotação de culturas devido ao monocultivo soja-trigo causa redução na estabilidade de agregados que deixa o solo mais susceptível à erosão hídrica. No sistema atual, as cultivares usadas apresentam ciclo de cultivo precoce a médio, deixando assim um significativo intervalo de tempo entre um cultivo agrícola e outro, sendo este período propício à implantação de culturas de cobertura. (GROFF, 2015)

Outro fator agravante é o excessivo tráfego de máquinas agrícolas pesadas, devido ao seu tamanho e capacidade de carga, gerando assim a compactação do solo, onde há o contato solo/pneu, acarretando maiores níveis de compactação quando estas operações forem realizadas em condições impróprias de umidade.

Um fator importante quando se fala de biomassa, está relacionado à quantidade e qualidade da mesma. Isso sugere que se utilize rotação de culturas fazendo a inclusão de diferentes espécies leguminosas, gramíneas etc; para incrementarmos não somente a adição de biomassa mas também a qualidade desta, promovendo assim uma melhor estruturação do solo devido ao sistema radicular das mesmas. Além destas vantagens contamos ainda com aumento

no sequestro de C, fixação e reciclagem de N e nutrientes aumentando a atividade da fauna e flora do solo. (LAL 2015a; LAL 2015b LAL 2015c).

A agregação do solo também é prejudicada pelo baixo aporte de C, fazendo com que a água tenha menos espaço para percolar pelo perfil, se comparado com solos com alta quantidade de C e melhor estruturado, apresentando maiores tamanhos e continuidade de poros. Estes fatores causam a redução da infiltração de água aumentando desta forma o escoamento superficial (DERPSH et al., 2014).

Quando a taxa de precipitação é maior que a taxa de infiltração excedendo a capacidade de infiltração do solo ocorre a geração do escoamento superficial. Este escoamento pode arrastar a palha que está depositada sobre o solo e se continuar a ter energia suficiente e o solo apresentar baixo aporte de C deixando o solo mais susceptível à desagregação e causando, portanto, a perda de solo. Este efeito é potencializado em áreas com maior comprimento de declividade e comprimento de rampa (COGO et al., 2003).

2.4 NA BUSCA DE SOLUÇÕES

O uso agrícola das terras está causando grandes perdas de solo por erosão em muitos lugares do mundo, devido ao seu manejo inadequado. A perda de solo através da erosão é somente parte do problema. A água que deixa de infiltrar nos solos agrícolas pode causar sérias consequências a longo prazo. Infelizmente não há equipamento mecânico que seja capaz de criar uma estrutura estável de solo. Uma estrutura estável para o desenvolvimento das plantas e que garanta boa infiltração, minimizando perdas de solo e água por erosão, pode ser maximizada através da ativação biológica do solo via MO, entretanto, necessita também planejamento para direcionar o excesso de água durante eventos extremos.

O controle dos processos hidrológicos que causam erosão e a consequente perda/transferência de nutrientes e agrotóxicos depende da adoção de práticas de manejo de solo (plantio direto, cultivo mínimo, correção da acidez, nutrição), manejo de cobertura (cobertura permanente, rotação de culturas, adição de biomassa para incremento de C no solo, melhoria da qualidade da MO, ativação da biologia, (LAL 2015 a)) e manejo de gleba (terraceamento, plantio em nível, cultivo em faixas, canais vegetados, adequação de estradas,). Entretanto, pouco se conhece sobre a capacidade do manejo de cobertura e do manejo de solo em atender as exigências do controle do escoamento superficial, especialmente nos eventos de grande magnitude.

Prando et al. (2010), em Nitossolo Vermelho distrófico com três sistemas de rotação de culturas sob semeadura direta com e sem escarificação inicial, constataram que o manejo do solo com escarificação proporcionou maior infiltração de água no solo apenas no primeiro ano e que o manejo de cobertura aumentou a velocidade de infiltração da água no solo nas parcelas sem escarificação inicial. Isso demonstra que o efeito da descompactação mecânica, como comprovado por inúmeros trabalhos de pesquisa (DRESHER et al., 2016; GIRARDELLO et al., 2011.), pode apenas aliviar temporariamente a compactação, exigindo a repetição da operação regularmente, o que pode ser indesejável técnica e economicamente. Demonstra também que a melhoria, a médio e longo prazo, na qualidade do solo, somente pode ser alcançada através de descompactação biológica.

A escarificação mecânica como método isolado de descompactação não favoreceu a infiltração de água no solo, no entanto, o uso do consórcio de nabo-forrageiro e aveia-preta em SPD, e após a escarificação mecânica do solo, aumentou significativamente a lâmina de água infiltrada no solo, estas constatações foram feitas em estudo que avaliou a eficiência do método mecânico (escarificador) e do método biológico (nabo-forrageiro) de descompactação do solo (NICOLOSO et al., 2008).

Cabe ressaltar que a descompactação mecânica é uma operação de elevada demanda de potência, alto consumo de combustível e de tempo, sendo portanto, preferencialmente, aplicada onde a compactação é severa (GIRARDELLO et al., 2011) e constatada através de análises físicas do solo e de desenvolvimento de plantas.

Modificações na cobertura vegetal das encostas podem alterar as propriedades físico-hídricas do solo e também influenciar o seu comportamento hidrológico. O impacto dessas alterações vai depender da grande variabilidade do solo (tipos de solo), cobertura vegetal (cultura, estágio de desenvolvimento e período de permanência) e da variabilidade climática, ou seja, a interface entre solo-vegetação-atmosfera tem forte influência no ciclo hidrológico.

Cultura de cobertura de solo como o nabo forrageiro é recomendado para descompactar (desde que semeado em alta densidade) e melhorar a estrutura do solo. Devido ao seu sistema radicular pivotante, essa crucífera proporciona aumento na porosidade do solo, favorecendo a infiltração de água (PITOL et al, 1995). Já a aveia preta, da família das poáceas, por ter elevada produção de fitomassa, denso e fasciculado sistema radicular, protege o solo, promovendo sua qualidade através da melhoria da estrutura do solo, tornando-o mais poroso e arejado. Com isso, dá-se maior infiltração e armazenamento de água no perfil do solo (HERNANI et al., 1995).

Portanto, é desejável incluir no sistema de produção espécies que tenham como característica um sistema radicular bem desenvolvido, de crescimento rápido. Tal sistema

radicular pode proporcionar significativas melhorias ao solo, especialmente nos aspectos relacionados à estrutura e no acúmulo de MO no solo. Aspectos relativos à decomposição da palha e seus efeitos na MO do solo, reciclagem e disponibilidade de nutrientes, atividade e diversidade biológica do solo, entre outros efeitos, devem também ser observados. A existência de intensa atividade no interior do solo, decorrente do desenvolvimento e decomposição de raízes de plantas, constitui-se em um grande aliado do produtor rural, com o objetivo de melhorar as condições de produção das plantas. A opção de utilizar estes fenômenos a seu favor é dependente da correta adoção do SPD (SALTON & TOMAZI, 2014).

Definindo erosão do solo como a translocação de partículas de solo por processos relacionados ao clima, solo, topografia e vegetação, a atividade humana pode maximizar, minimizar ou prevenir a operação desses processos naturais (BORK & FRIELINGHAUS, 1997). No atual sistema de produção, as demandas técnicas e socioeconômicas têm aumentado a necessidade de intensificação de uso dos recursos de produção, aumentando também, os impactos negativos sobre o ambiente, sendo que pouco se conhece sobre a magnitude desses impactos na condição de lavoura conduzida em PD, ou seja, em escala de encosta.

O estudo da dinâmica dos fluxos de água na escala de encosta é uma demanda importante no entendimento do impacto da agricultura na infiltração, escoamento superficial, e nos processos associados (erosão, transferência de poluentes), contribuindo na representação de fatores mensuráveis que estão relacionados à extensão em que esses processos ocorrem na escala real.

Grande parte das pesquisas tem se dedicado a demonstrar o efeito do manejo de cobertura e de solo na escala de pequenas parcelas. Entretanto, na escala de encosta os processos hidrológicos operantes são distintos, envolvendo outros fenômenos que podem criar um comportamento distinto. Além disso, os resultados obtidos em parcelas padrões não são diretamente extrapoláveis.

Em estudo de monitoramento hidrossedimentológico em uma pequena (1,19 km²) bacia rural do Sul do Brasil, antes e após a introdução de práticas de manejo conservacionista (uso de culturas de cobertura de solo de inverno e sistema de cultivo mínimo de fumo) implementadas pelo RS-RURAL – Programa contra a pobreza rural, Minella et al. (2009) constataram impacto positivo da melhoria do manejo em termos de redução do fluxo máximo, do volume escoado e da produção de sedimentos. O cultivo sob PD é vulnerável à erosão, particularmente durante eventos pluviométricos extremos (MINELLA et al., 2009), em condições onde a declividade é maior do que 10% e onde resíduos culturais são insuficientes para reduzir o escoamento superficial (< 4-6 Mg ha⁻¹ de MS), havendo a necessidade de práticas mecânicas, tais como os

terraços, que complementam o PD, em controlar perdas por escoamento superficial (MERTEN et al., 2015).

Contudo, o estudo em escala de macroparcela com comprimento de rampa retilíneo é pouco estudado no meio científico, pois precisamos de longos períodos de monitoramento de chuva-vazão, além da similaridade entre parcelas alocadas numa mesma encosta, diminuindo os efeitos espaço temporais e com isso testar os efeitos entre diferentes sistemas de uso e manejo a nível de produtor. Estudos realizados (BONILLA et al, 2006; MERTEN et al, 2015) realizaram monitoramento hidrossedimentológico em diferentes escalas de parcela em áreas agrícolas com o propósito de quantificar as perdas de água e sedimento durante eventos pluviométricos.

A complexidade do processo erosivo, dada à quantidade de fatores que influenciam neste fenômeno, reforça a necessidade de serem realizados mais estudos de campo sobre este fenômeno com vistas à validação de modelos de predição de perda de solo a serem aplicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S. et al. **Quantification of Hydrologic Response of Staggered Contour Trenching for Horti-Pastoral Land Use System in Small Ravine Watersheds: a Paired Watershed Approach.** Land Degradation & Development, p. n/a–n/a, 2016.

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.

AMADO, J. T.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. **Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental,** R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.

BARCELOS, A.A.; CASSOL, E.A.; DENARDIM, J.E. **Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo,** R. Bras. Ci. Solo, 23:35-43, 1999.

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.

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

BONILLA, C. A et al. **Instrumentation for measuring runoff, sediment, and chemical losses from agricultural fields**. *Journal of environmental quality*, v. 35, n. 1, p. 216–223, 2006.

CASSOL, E.A.; **Erosão do solo-influência do uso agrícola, do manejo e do preparo do solo**. Publicação IPRNR 15. Instituto de Pesquisa e Recursos Naturais Renováveis “AP” 40. IPRNR, Porto Alegre, 1984.

CASSOL , E. A., COGO , N. P., DREWS, C. R. (1976). **Informe preliminar sobre um estudo de perdas de solo e água, utilizando simulador de chuvas** . In: Seminário da Integração da Pesquisa Agropecuária E Extensão Rural do Estado do Rio Grande do Sul, 1. Anais.. . Porto Alegre: Corag . p.23-26.

CAVIGLIONE, J. H.; et al., **Espaçamento entre terraços em plantio direto**, Boletim Técnico n° 71, Agosto de 2010, Paraná.

CHARTIN, C. et al. **Quantifying and modelling the impact of land consolidation and field borders on soil redistribution in agricultural landscapes (1954-2009)**. *Catena*, v. 110, p. 184–195, 2013.

CINTRA, F.LD. & MIELNICZUK, J. **Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas**. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:197- 201, 1983.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. **Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo**, *R. Bras. Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.

DEBARBA, L.; AMADO, T.J.C. **Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade**, *R. bras. Ci. Solo*, Viçosa, 21:473-480, 1997.

DELGADO, J. A.; LI, R. **The Nanchang Communication about the potential for**

implementation of conservation practices for climate change mitigation and adaptation to achieve food security in the 21st century. International Soil and Water Conservation Research, p. 1–3, 2016.

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.; KOCHHANN, R. **Sistemas de produção em PD.** A Granja, Porto Alegre, v.55, n.605, p.45-47, maio 1999.

DERPSCH, R. et al. **Why do we need to standardize no-tillage research?** Soil Till, Res, 137, 16–22, 2014.

DUVERT, C. et al. **Drivers of erosion and suspended sediment transport in three headwater catchments of the Mexican Central Highlands.** Geomorphology, v. 123, n. 3-4, p. 243–256, 2010.

DRESCHER, M. S. et al. **Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.51, n.2, p.159-168, fev. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

FEBRAPDP -**Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha.** Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>> Acesso em: 20 Maio 2016.

GIRARDELLO, V. C. et al. **Alterações nos atributos físicos de um latossolo vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, p. 2115–2126, 2011.

GROFF, S. **The past, present, and future of the cover crop industry.** Journal of Soil and Water Conservation, v. 70, n. 6, p. 130A–133A, 2015.

HAMZAA, M. A.; W.K. ANDERSON, **Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions** Soil & Tillage Research 82 (2005) 121–145.

HAJABBASI, I. M.A, HEMMAT A. **Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central.** Soil & Tillage Research 56, p. 205±212 (2000).

HERNANI, L. C. et al. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul.** Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93 p. (Embrapa-CPAO. Documentos, 4).

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

JUNIOR, R. C., ARAÚJO, A. G. de LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista.** Londrina: IAPAR 77 p, 2012.

KUROTHE, R. S. et al. **Effect of tillage and cropping systems on runoff, soil loss and crop yields under semiarid rainfed agriculture in India.** Soil and Tillage Research, v. 140, p. 126–134, 2014.

LANDERS, J. N. **Plantio direto- Módulo 1: Histórico, características e benefícios do plantio direto,** Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior ABEAS, Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV, 2005, 113p

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

LAL, R. **Cover cropping and the “4 per Thousand” proposal.** Journal of Soil and Water Conservation, v. 70, n. 6, p. 141A–141A, 2015a.

LAL, R. **Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture.** Journal of Soil and Water Conservation, v. 70, n. 3, p. 55A–62A, 2015b

MAETENS, W.; POESEN, J.; VANMAERCCKE, M. **How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean?** Earth-Science Reviews, v. 115, n. 1-2, p. 21–36, 2012.

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

MIELNICZUK, J. **Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas.** In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A. & BOHNEN, H. **Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado** do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1969. 36p. (Boletim Técnico, 2)

MINELLA, J.O. G. et al. **Identificação E Implicações Para a Conservação.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 31, n. 1, p. 1637–1646, 2007.

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.

MYERS, R.; WATTS, C. **Progress and perspectives with cover crops: Interpreting three years of farmer surveys on cover crops.** Journal of Soil and Water Conservation, v. 70, n. 6, p. 125A–129A, 2015.

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

NICOLOSSO, R. S. et al **Eficiência da Escarificação Mecânica e Biológica na Melhoria dos Atributos Físicos de Um Latossolo Muito Argiloso e no Incremento do Rendimento De Soja** R. Bras. Ci. Solo,n.32, p. 1723–1734, 2008.

PITOL, C et al . **Nabo Forrageiro Sistemas de Manejo.** 1995.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. **Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p. 693-700, 2010.

RACZKOWSKI, 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, v. 64, n. 1, p. 53–60, 2009.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo.** Comunicado Técnico 198, n. 1, p. 1–6, 2014.

SCHICK, J. BERTOL, I.; BATISTELA, O.; Júnior, A.A.B. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. Perdas de solo e água, *Revista Brasileira em Ciência do Solo*, 24: 427-436, 2000

SHIPITALO, M. J. LLOYD B. O, JAMES V. B, WILLIAM M. E, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:1329–1337, 2013. **Soil and water conservation in the Pacific Northwest through no-tillage and intensified crop rotations**, J.D. Williams, S.B. Wuest, and D.S. Long, *Journal Of Soil And Water Conservation*, Nov/Dec 2014—VOL. 69, NO. 6, páginas 495 – 504, 2014.

SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. **Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U. S.** Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory. [s.l: s.n.].

SILGRAM, M.; JACKSON, D.R.; BAILEY, A.; QUINTON, J.; STEVENS, C. **Hillslope scale surface runoff, sediment and nutrient losses associated with tramline wheelings**, *Earth surface processes and landforms*, p. 699-706, 2010.

SILVA R. R. et al **Atributos Físicos Indicadores da Qualidade do solo sob Sistemas de Manejo na Bacia do alto do Rio Grande- MG.** *Cienc. agrotec.*, Lavras, V.29, n. 4, p. 719-730, jul/ago.,2005.

THIERFELDER, C.; WALL, P. C. **Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe.** *Soil and Tillage Research*, v. 105, n. 2, p. 217–227, 2009.

WANG, E. L.; ZHANG, Y. Q.; LUO, J.M.; CHIEW, F. H.S.; WANG, Q. J. **Monthly and seasona streamflow forecasts using rainfall-runoff modeling and historical weather data**, *Water Resources Research*, Vol. 47, W05401, doi:10.1029/2010WR009624, 2011

WILLIAMS, J. D.; WUEST, S. B.; LONG, D. S. **Soil and water conservation in the Pacific Northwest through no-tillage and intensified crop rotations.** *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 69, n. 6, p. 495–504, 2014.

3 ARTIGO

CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DAS PERDAS DE SOLO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO NA ESCALA DE LAVOURA ¹

RESUMO

As evidências de formação de escoamento superficial e dos processos associados como a erosão, a transferência de solutos, de matéria orgânica e de nutrientes, são reflexos de que o manejo do solo não tem contribuído para a manutenção das funções do solo, especialmente daquelas associadas à regulação dos fluxos hidrológicos. Essa situação conduz à degradação dos solos, à degradação dos recursos hídricos e ao desperdício de insumos. Considerando os preceitos da agricultura conservacionista, inúmeras práticas de manejo de solo, de planta e de gleba são passíveis de serem utilizadas para solucionar os problemas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da quantidade de adição de fitomassa e da escarificação no controle do escoamento superficial e das perdas de solo em áreas de produção de grão sob plantio direto na escala de encosta durante eventos significativos de chuva. O monitoramento foi conduzido em seis macroparcelas retilíneas, com dimensões de 70x80m e declividade média de 9%, em um Latossolo Vermelho. O estudo foi realizado em Júlio de Castilhos/RS, entre 2014 e 2016 observando as respostas no escoamento superficial e concentração de sedimentos em suspensão durante eventos significativos de chuva. Em cada uma das macroparcelas, diferentes manejos de solo (três sem e três com escarificação) e de cobertura em função da rotação de culturas (duas de baixa e quatro de média adição de fitomassa). As práticas agrícolas na condução das parcelas seguiram as recomendações técnicas para a produção de grãos (soja/trigo/aveia) no sul do Brasil. Foram monitorados nove eventos significativos de chuva durante 12 meses. Os dados do monitoramento foram avaliados para caracterizar a magnitude das respostas hidrológica e erosiva entre os tratamentos ao longo do tempo. Os resultados demonstram que ambas as práticas, reduzem o escoamento superficial e as perdas de solo. Entretanto, a adição de fitomassa demonstrou maior eficiência do que a escarificação. Os resultados também demonstram que para eventos extremos de precipitação as duas práticas não são capazes de controlar todo o escoamento superficial. Além disso, o monitoramento ao longo dos eventos demonstrou o comportamento da vazão e da concentração de sedimentos, possibilitando compreender o mecanismo de resposta hidrológica dos diferentes eventos de chuva para as diferentes condições de manejo ao longo do ano e entre os eventos.

¹ Este artigo foi elaborado de acordo com as normas da revista *Journal of Soil and Sediments*.

Palavras-chave: conservação do solo, plantio direto, manejo do solo, monitoramento, produção de sedimentos, vazão

ABSTRACT

Surface flow and soil loss control in no-tillage system at farm scale

The evidence of the formation of surface flow and associated processes such as erosion, transfer of solutes, organic matter and nutrients, are the consequences of soil management not contributing to the maintenance of soil functions, especially those associated to the regulation of hydrological flows. This situation leads to soil degradation, degradation of water resources and waste inputs. Considering the principles of conservation agriculture, numerous practices of soil, plant and field management are likely to be used in order to solve problems. Given this, the objective of this work was to evaluate the influence of the addition phytomass and scarification in the control of surface flow and soil losses in grain production areas using direct planting at slope scale during significant rain events. The monitoring was conducted in six rectilinear macro plots, with dimensions of 70x80m and average steepness of 9%, in a Red Latosol. The study was carried out between 2014 and 2016 in the city of Júlio de Castilho, RS, and observed the responses in surface flow and suspended sediment concentration during significant rain events. There were different systems of soil management (three with scarification and three without) and coverage depending on crop rotation (two with low addition and 4 with medium addition of phytomass) in each of the macro plots. Agricultural practices in the plots followed technical recommendations for grain production (soy/wheat/oats) in southern Brazil. During 12 months, nine significant rain events were monitored. The monitoring data were evaluated to characterize the magnitude of hydrological and erosive responses between treatments over the course of time. Not surprisingly, results show that both practices reduce surface flow and soil losses. However, the addition of biomass presented higher efficiency than scarification. Results also show that for extreme precipitation events the two practices are unable to control all of the surface flow. Moreover, the monitoring of events over time revealed the behavior of the flow and sediment concentration, thus making it possible to understand the mechanism hydrologic response of the different rain events to different handling conditions throughout the year and between events.

Keywords: Soil Conservation. No Tillage. Soil Management. Monitoring. Sediments Yield. Runoff

3.1 INTRODUÇÃO

O Solo encontra-se no centro dos principais desafios do planeta na atualidade: a produção de alimentos, de fibras e de bioenergia, além dos benefícios ambientais. Tem ainda, papel fundamental na mitigação de efeitos de mudanças climáticas, na manutenção e qualidade dos mananciais e na sustentação da biodiversidade.

O Brasil tem sido pioneiro no desenvolvimento e utilização do SPD, como uma das principais estratégias da agricultura conservacionista, que abrange, atualmente, uma área de cerca de 32,0 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2016) e fornece benefícios diretos à agricultura e ambiente. Nesse sistema, além dos princípios da proteção do solo contra o impacto da gota da chuva, têm-se o aumento da infiltração e o controle do escoamento superficial. Esses princípios asseguram o aumento e estabilidade da produtividade com menor custo e reduzem os problemas hidrológicos e erosivos condicionados pela atividade agrícola. Agricultura conservacionista é uma forma sustentável de produção agrícola, que pode contribuir para a segurança alimentar global.

No entanto, apesar da grande experiência com o SPD no Brasil, da maneira como vem sendo conduzido, nem sempre fornece condições suficientes para o controle do escoamento superficial e os processos associados. Em grande parte das lavouras de terras altas, têm-se observado estagnação no rendimento de grãos e até mesmo redução em anos de ocorrência de déficit hídrico, mesmo com a adoção de cultivares com alto potencial produtivo e de altos níveis tecnológicos. A necessidade de aumentar o rendimento do trabalho e de aproveitar as oportunidades de mercado agrícola tem levado a alterações que buscam a simplificação das práticas recomendadas, e estas alterações, em muitos casos tem se mostrado ineficientes para controlar a erosão hídrica e reduzir o fluxo de poluentes para os corpos d'água. A expressão mais visível da ocorrência de degradação do solo pode ser decorrente do abandono pelos agricultores da prática dos fundamentos do SPD, que são o não revolvimento do solo, o cultivo em rotação de uma sequência de culturas capazes de produzir cobertura do solo adequada e a utilização de práticas tais como o cultivo em contorno e terraceamento.

Permanente cobertura de solo é o princípio mais importante para o manejo sustentável do solo e traz múltiplos benefícios: redução da erosão hídrica, aumento da taxa de infiltração de água no solo e capacidade de retenção da umidade, redução da perda de umidade por evaporação e aumento na disponibilidade de umidade, redução da temperatura, melhoria das condições para germinação, aumento no conteúdo de matéria orgânica em superfície, aumento da estabilidade estrutural dos agregados das camadas superficiais, estímulo à atividade

biológica do solo, aumento da porosidade, estímulo ao controle biológico, supressão do crescimento de plantas invasoras.

A inexpressiva utilização atual de culturas de cobertura de solo (espécies que produzam grandes quantidades de biomassa e de rápido desenvolvimento), como integrantes da rotação de culturas, demonstra a falta de interesse e entendimento para melhor aproveitamento de suas potencialidades e, assim, contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção. A realização de operações agrícolas com teor excessivo de umidade, excedendo a capacidade de suporte do solo, normalmente resulta em compactação na camada superficial de solos em plantio direto.

Diante do exposto, há necessidade de estudos para que se conheça a magnitude desses impactos na escala de encosta, que é a escala de interesse do produtor, para desenvolver estratégias de manejo com ênfase no SPD, de forma a reduzir os impactos negativos da agricultura atualmente praticada.

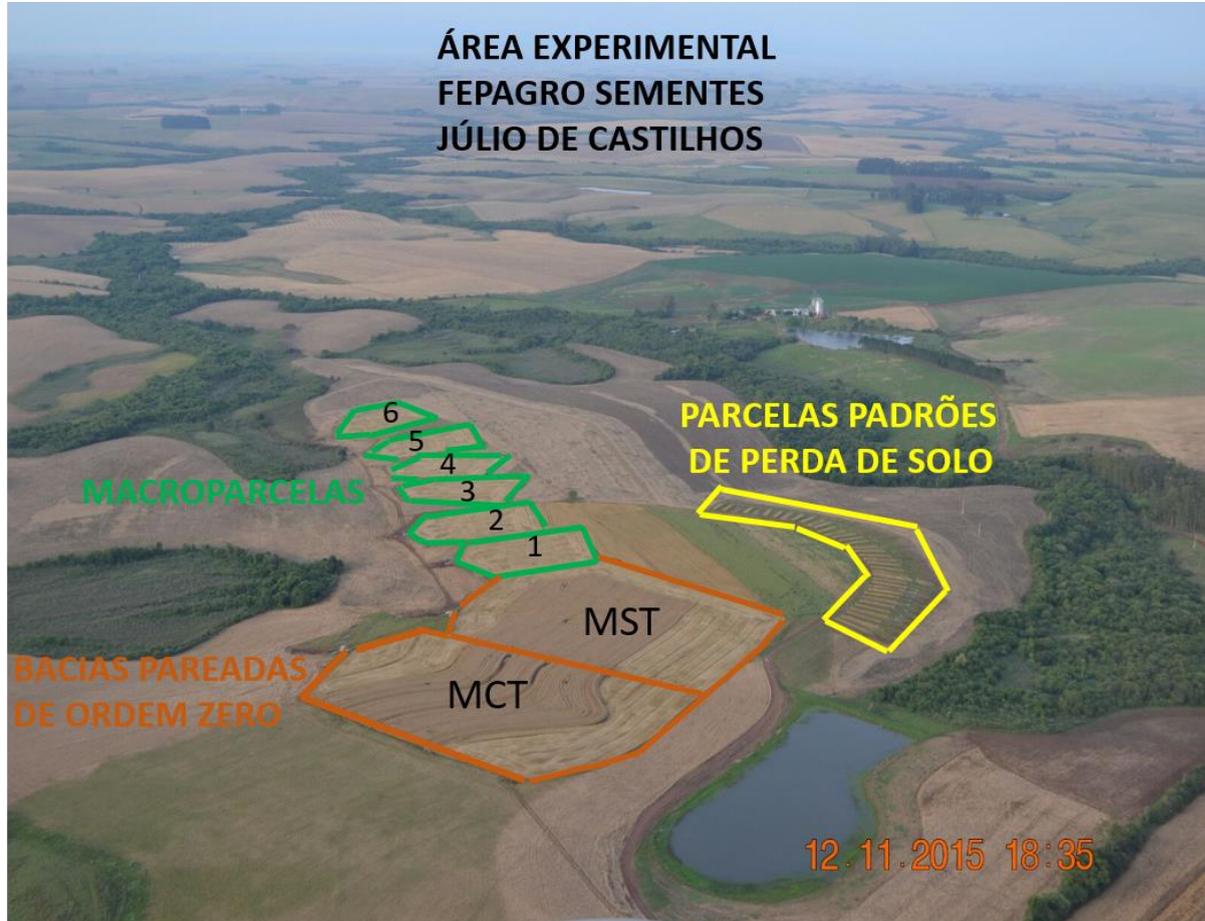
Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, durante um ano agrícola, a influência da adição de fitomassa e da escarificação no controle do escoamento superficial e das perdas de solo, na encosta de um Latossolo Vermelho em condição de chuva natural.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo monitorou-se seis macroparcelas semelhantes em tamanho, forma e mesmo tipo de solo, conduzidas sob SPD, com dois diferentes manejos de solo e três diferentes manejos de cobertura. A abordagem segue o princípio da hidrologia de bacias pareadas onde se isola o efeito do relevo, solo e clima para avaliar as respostas do escoamento superficial e da produção de sedimentos em função de diferentes condições de uso e manejo do solo. O local de estudo foi preparado para o monitoramento preciso da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão, em eventos pluviométricos significativos, em encostas representativas do sistema produtivo agrícola no sul do Brasil. A magnitude da vazão e da concentração de sedimentos, bem como o seu comportamento ao longo do evento foram utilizados para avaliar a eficiência da escarificação e da quantidade de biomassa na redução do escoamento superficial e da erosão na escala de encosta.

3.2.1 Descrição do local e da área experimental

Figura 1 - Área Experimental



Fonte: Nativa Aviação

O estudo foi realizado na área experimental da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), a qual está 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, a uma altitude de 514 m. A temperatura média anual é de 18,1°C, pluviosidade média anual de 1740 mm, clima do tipo Cfa, subtropical úmido, conforme classificação de Köppen, com precipitações bem distribuídas durante as quatro estações do ano. A região de estudo está localizada na bacia hidrográfica do Rio Ivaí, pertencente à província geomorfológica do Planalto Médio, que teve sua formação por meio de uma sucessão de pacotes de rochas vulcânicas (rochas originadas por magma resfriado na superfície da crosta terrestre: basaltos e realitos da Formação Serra Geral). O relevo é suave a ondulado com declividade média entre 5 a 13%.

O solo do local do estudo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico argissólico (Embrapa, 2013), bem drenado e com baixa fertilidade natural. Levantamento realizado inicialmente não encontrou diferenças no solo entre as parcelas e entre o topo e a base da encosta.

Também foram realizadas seis amostras por macroparcelas compostas por três repetições em três profundidades por macroparcela (topo, meia encosta e base) de atributos químicos e físicos nas camadas de 05-09, 20-24 e 35-39 cm para caracterizar inicialmente as áreas e encontrar características que, porventura, pudessem inviabilizar o isolamento do fator solo. Os resultados dessas análises demonstraram que as parcelas são homogêneas entre elas. A análise de solo, realizou-se em 2014, e os valores médios dos atributos químicos e físicos do solo na camada de 0 a 10 cm de profundidade 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.

3.2.2 Caracterização e delimitação das macroparcelas

A instalação das seis macroparcelas aconteceu em uma encosta sob produção agrícola há mais de 20 anos e representativa do sistema produtivo de grãos da Região do Planalto Médio do RS (Figura 1). Para a delimitação das macroparcelas a serem monitoradas, foi realizado o levantamento topográfico de toda a encosta, através da tradagem realizada no topo, meio e base de cada macroparcela, essa etapa teve como objetivo definir seis locais com a maior similaridade em termos de área, declividade, forma e solo. A partir do levantamento topográfico, foi elaborado o modelo numérico de elevação e a determinação dos índices topográficos necessários: declividade, direção do fluxo acumulado, comprimento de rampa e forma das encostas. Esses mapas foram utilizados para estabelecer a posição geográfica das parcelas, considerando a similaridade entre as unidades de estudo. Na Figura 2 observa-se uma foto aérea com a posição das macroparcelas na encosta.

Figura 2 - Alocação das macroparcelas na encosta



Fonte: Nativa Aviação

Nas Figuras 3, 4 e 5, são apresentados os mapas dos índices topográficos de cada uma das seis unidades. A área total de cada macroparcela é a soma da área de um retângulo com medidas de 70 x 80 m (5.600 m²) mais a área de um triângulo com as medidas de 70 x 11,5 m (402,5 m²), totalizando 0,6 ha, com declividade média de 9%, curvatura no plano retilínea e curvatura no perfil levemente convexa.

Figura 3 - Modelo numérico de elevação das macroparcelas.

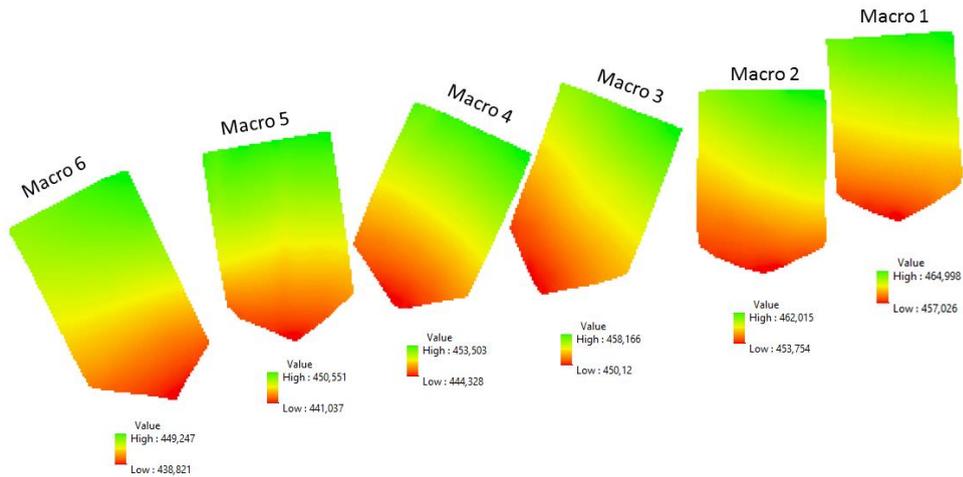


Figura 4 - Modelo numérico de declividade das macroparcelas.

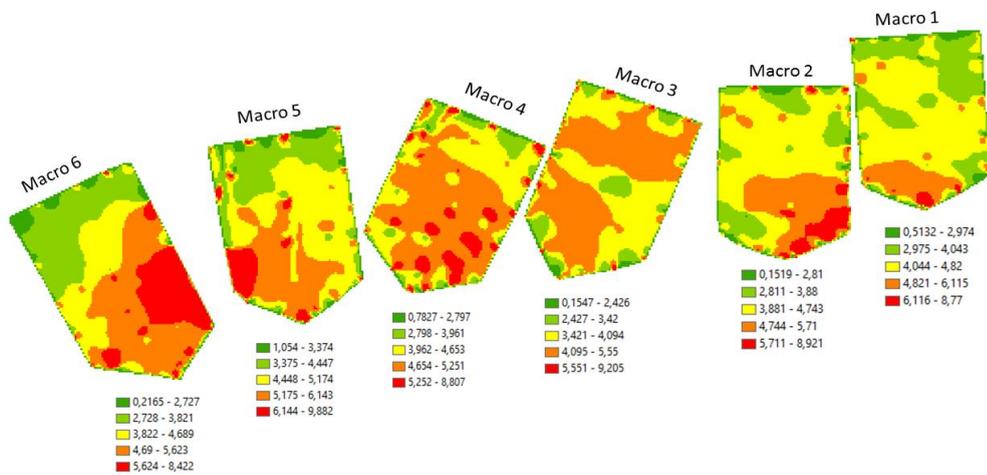
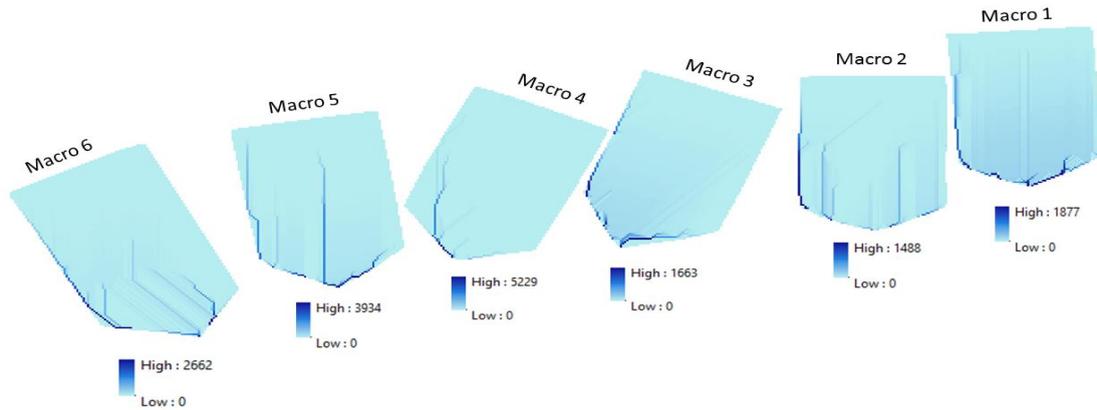


Figura 5 - Direção de fluxo acumulado das macroparcelas.



A delimitação física das macroparcelas foi realizada através da construção de camalhões nos limites laterais, superior e inferior a fim de evitar a entrada e saída de água e conduzir os fluxos para um único ponto de monitoramento, possibilitando assim, contabilizar o volume de precipitação (lâmina x área) com precisão para comparar com os volumes de saída ao longo do tempo (descarga líquida e sólida). Na base das macroparcelas o camalhão é mais alto e com declividade para receber os fluxos de montante e direcioná-los até o vertedor. A declividade do camalhão na base da macroparcela foi definida para evitar a deposição de material e, também, a erosão do mesmo.

Na convergência dos camalhões, na base das macroparcelas, foi instalado um canal metálico e um vertedor (Figura 6) para possibilitar a medição da vazão com precisão. O dimensionamento do vertedor foi definido a partir do cálculo da vazão máxima pelo método racional considerando a área de 0,6 ha, declividade de 9%, com solo argiloso, uso agrícola com lavouras, e uma precipitação máxima de 117 mm/h (duração de 1h com tempo de retorno de 10 anos). Nessa condição, a vazão máxima estimada foi de 87,11 L/s. Com essa vazão, definiu-se a dimensão de 1,5 pés para o vertedor tipo H (Netto, et al., 1998). Antes do vertedor foi construído um canal para tranquilizar o escoamento para a passagem no vertedor. Ambos foram construídos com chapa metálica galvanizada de 3 mm de espessura e constituem uma peça única. Após o vertedor, foram instalados dois reservatórios de polietileno com capacidade individual de 1m³, afim de receber o volume de água escoado na macroparcela. O primeiro reservatório tem o objetivo de reduzir a turbulência do escoamento. Quando há o preenchimento do primeiro reservatório o excedente passa por fracionadores do fluxo (1/50), armazenando uma fração no segundo reservatório (Figura 6). A medida da vazão e da concentração de sedimentos é realizada diretamente no vertedor, manualmente ou automaticamente.

Figura 6 -. Vertedor tipo H e tanques de coleta



Fonte: Arquivo pessoal

3.2.3 Uso e manejo do solo nas macroparcelas

Anteriormente à instalação do experimento, por aproximadamente 20 anos, a área experimental foi cultivada com soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum aestivum*), aveia preta (*Avena strigosa L*) e azevem (*Lolium multiflorum*). AS culturas de cobertura de inverno (aveia e azevém) eram utilizadas para a produção de feno.

O manejo de solo e de cobertura utilizados nesse estudo priorizou a avaliação da escarificação e do incremento da fitomassa. Essas duas práticas são usuais e de fácil inserção no modelo produtivo. Basicamente, pretendeu-se avaliar em que magnitude e qual contribuição individual e cumulativa das duas práticas no controle do escoamento e erosão. Em função do elevado custo envolvido no monitoramento de macroparcelas e grande demanda operacional, definiu-se avaliar seis possibilitando assim a exequibilidade do estudo. Sendo assim, a escarificação foi realizada em três delas (M1, M3 e M5) e nas outras manteve-se a condição de compactação atual da área (M2, M4, M6). A produção de fitomassa almejada, por meio de rotação de culturas, estabeleceu inicialmente três condições distintas: a) $<7 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, b) $7\text{-}15 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e c) $>15 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Essas três faixas de adição representam três sistemas com incremento de qualidade: condição de baixa, média e alta qualidade (Tabela 1 e Figura 7). Como a adição de fitomassa é alcançada ao longo do tempo, a partir do início do experimento iniciou-se a rotação de culturas planejada. Sendo assim, o efeito do incremento da adição de fitomassa foi gradual, já que o monitoramento não estabeleceu-se numa condição estacionária.

Tabela 1 - Manejos de cobertura e de solo utilizados nas macroparcelas.

Parcela	Manejo de cobertura	Manejo de solo
1	Soja no verão e trigo no inverno.	Escarificado
2	Soja no verão e trigo no inverno.	Compactação atual
3	Milho; crotalária; trigo; soja; aveia/ervilhaca/nabo; milho	Escarificado
4	Milho; crotalária; trigo; soja; aveia/ervilhaca/nabo; milho	Compactação atual
5	Milho; nabo; trigo; soja; nabo/aveia; milho	Escarificado
6	Milho; nabo; trigo; soja; nabo/aveia; milho	Compactação atual

Figura 7 - Diferentes condições de adição de fitomassa



Fonte: Nativa Aviação

A implantação do experimento iniciou-se após a colheita da soja em março de 2014. A área ficou disponível para o início das atividades de implantação das parcelas, onde iniciaram-se os trabalhos de manejo de solo e cobertura, realizados em nível, conforme descritos na tabela 1.

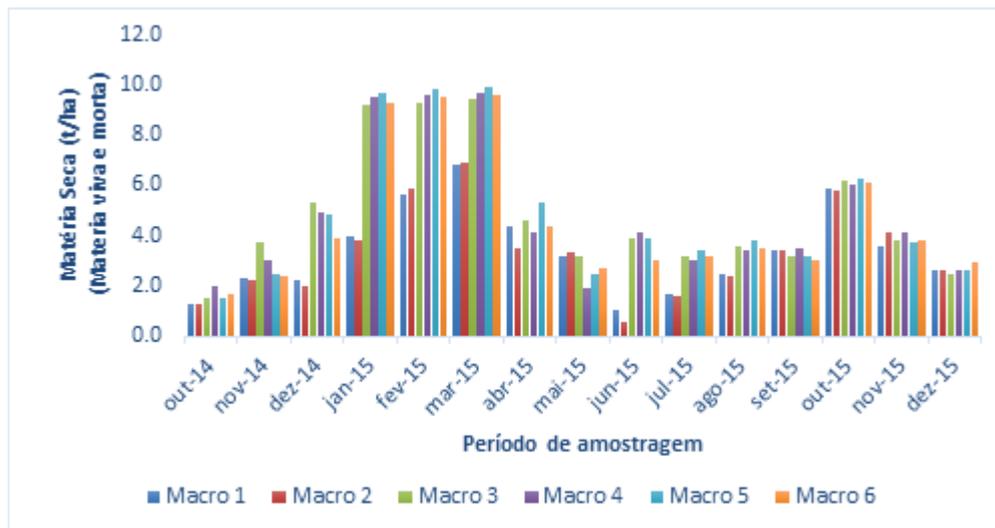
Na figura 8 são apresentadas as adições anuais de fitomassa alcançadas no período de um ano, pela determinação de rendimento de MS da parte aérea das culturas no estágio de pleno florescimento, sendo que para cada cultura foi realizado o mesmo procedimento, coletando-se três sub-amostras (0,25 m² por sub-amostra) da parte aérea das plantas, as quais foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante (Embrapa 2004). O rendimento médio de massa seca da parte aérea da amostra foi extrapolado para um hectare.

Na figura 9 observa-se a quantidade de resíduos constituídos pela cobertura viva e morta ao longo do período avaliado, pela determinação de MS desses resíduos.

Figura 8 - Adições de fitomassa para os períodos em análise.



Figura 9. Proteção da superfície ao longo do tempo pela cobertura viva e morta. –



A escarificação (M_1 , M_3 e M_5) foi realizada no mês de junho de 2014 utilizando-se um escarificador de sete hastes do tipo jumbo, em nível. A profundidade média de escarificação foi de, aproximadamente, 30 cm. É esperado que o efeito positivo da escarificação na infiltração seja de 24 meses, considerando os resultados de Drescher et al. (2016), onde foi determinado a duração do efeito da escarificação mecânica em solo manejado sob PD em um Latossolo argiloso.

3.2.4 Monitoramento hidrológico e erosivo

O comportamento hidrológico das macroparcelas foi analisado por meio do monitoramento das descargas líquidas e sólidas, no período de julho de 2015 a junho de 2016, envolvendo um ciclo produtivo completo. Foram monitorados nove eventos pluviométricos, com diferentes magnitudes e em diferentes estádios de desenvolvimento das culturas comerciais e de cobertura do solo. No período monitorado, a precipitação acumulada foi de 2060 mm, o qual foi fortemente afetado pelo fenômeno El Niño.

A precipitação foi monitorada através da utilização de pluviógrafo, com leituras em intervalos de dois minutos, e através de um pluviômetro.

A vazão ($Q - l s^{-1}$) e a concentração de sedimentos em suspensão ($C_{ss} - mg l^{-1}$) foi monitorada manualmente com auxílio de uma régua linimétrica durante todo o evento pluviométrico, em intervalos de cinco minutos. Os valores de cota foram convertidos em vazão com a equação específica do vertedor e com os valores de vazão ao longo do tempo, definindo os hidrogramas de cada evento.

O intervalo de coleta de amostras para a determinação da C_{ss} foi definido em função da variação nas cotas. Em geral, foram coletadas de 15 a 30 amostras do fluxo para a determinação da C_{ss} ao longo do tempo para a construção dos sedimentogramas. As amostras para a determinação da C_{ss} foram processadas pelo método de evaporação dependendo da magnitude da concentração (Shreve; Downs; 2005).

A partir dos hidrogramas e sedimentogramas estimou-se a descarga sólida ($D_{ss} - g/s$) pela multiplicação dos valores instantâneos de Q e C_{ss} , e, posteriormente, a produção de sedimentos (PS) foi estimada pela integração da D_{ss} ao longo do tempo durante o evento.

3.2.5 Análise dos dados

A primeira evidência no início do monitoramento hidrológico foi o comportamento hidrológico da M6. Apesar de todas as características de solo e de relevo serem semelhantes, a mesma apresentou um processo de exfiltração muito evidente. Diferente do que aconteceu nas demais macroparcelas, nos eventos de média e grande magnitude ocorria o surgimento de pontos de exfiltração com significativa vazão. Possivelmente, caminhos preferenciais do escoamento subsuperficial afloram na parte inferior da encosta, convertendo o volume de água infiltrado à montante em escoamento superficial. Sendo assim, apresentaremos os resultados da M6, mas com a ressalva da mesma apresentar um comportamento hidrológico diferente das demais, não podendo servir de comparação.

Outra imposição experimental foi a quantidade máxima de fitomassa atingida nas M3 e M4, nas quais pretende-se atingir valores além de $18 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Em razão do curto período após o início da instalação do experimento, a quantidade de fitomassa atingida nas macroparcelas de média fitomassa (M5 e M6) e alta fitomassa (M3 e M4) foi semelhante, ambas ao redor $15 \text{ t.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Sendo assim, nesse primeiro ano de análise dos dados, ao qual se refere essa dissertação, consideraremos as quatro macroparcelas (M3, M4, M5 e M6) como tendo o mesmo padrão de adição de fitomassa. Espera-se que no terceiro ano de condução do experimento atingiremos a condição estacionária de adição de fitomassa elevada nas M3 e M4.

Considerando, então, o comportamento hidrológico inesperado da M6 e da produção semelhante de fitomassa entre as M3, M4 e M5, consideraremos essas três como homogêneas em relação ao manejo de cobertura e excluiremos a M6 da comparação. Mesmo assim, a M3 e M5 são distintas da M4 pelo fato de ter ocorrido a escarificação. A análise da diferença entre as macroparcelas foi realizada pelo Teste T de *Student* com dados pareados, onde foi testado se a média das diferenças na população (μ_d) é igual à média hipotética das diferenças (μ_0). Antes da análise houve a verificação da normalidade dos dados. As comparações foram realizadas agrupando os dados de cada macro parcela (9 eventos) e em relação ao efeito a ser comparado, considerando os agrupamentos presentes na tabela 2.

Tabela 2- Estratégia de comparação dos resultados do monitoramento.

Efeito da Escarificação		Efeito da Fitomassa		Efeito da Fitomassa + Efeito da Escarificação	
Teste	Escarificado	Teste	Baixa	Teste	
1	M1 vs. M2	4	M1 vs. M3	7	M2 vs. M3
2	M3 vs. M4	5	M1 vs. M5	8	M2 vs. M5
3	M5 vs. M4	6	M2 vs. M4	9	M1 vs. M4

Cada um dos testes acima foi aplicado a cada uma das variáveis características dos eventos: volume total (m^3), coeficiente de escoamento (%), vazão máxima (l/s), concentração de sedimentos em suspensão (mg/l) e produção de sedimentos. Além da análise de comparação de médias pelo Teste T de student, foram analisados os hidrogramas e sedimentogramas de cada evento no conjunto de parcelas para identificar padrões distintos do comportamento temporal das perdas de água e de sedimentos.

3.3 RESULTADOS

O acompanhamento dos eventos, ocorreu entre julho de 2015 e junho de 2016, em cujo intervalo de tempo foram monitorados 9 eventos significativos. Nesse período de 12 meses houve um total de 91 eventos, dentre esses ,64 não geraram escoamento, e 18 eventos não foram monitorados. A Tabela 3 resume a ocorrência dos eventos de chuva no período de monitoramento e a frequência de acompanhamento dos mesmos. Devido à ocorrência do fenômeno EL Niño, o segundo semestre de 2015 apresentou um volume de chuvas acima da média. Entretanto, no ano de 2016 o padrão de chuva se alterou, ocorrendo poucos eventos significativos e nenhum evento monitorado

Tabela 3 Precipitações ocorridas no período de monitoramento e a frequência de acompanhamento.

Dia	2015						2016					
	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun
1	0	0	7	0	0	6	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	25	0	29	0	0	40	9	0	0
3	0	0	0	0	13	0	0	10	7	0	0	0
4	0	0	0	0	25	5	18	0	0	0	0	0
5	0	8.5	0	0	15	0	10	0	0	0	0	0
6	5.3	0	0	0	0	0	5	0	0	9	0	0
7	23	0	0	35	0	0	0	0	0	4	0	0
8	24	0	0	165	0	0	0	0	0	25	0	0
9	0	0	0	26	0	35	0	4	46	17	0	0
10	0	0	0	7	0	0	0	0	4	20	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	7	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0
13	25	0	0	0	0	43	0	0	0	40	0	0
14	22	0	0	5.5	0	46	0	7	0	0	0	0
15	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	22	0
16	0	0	0	0	10	0	0	11	0	0	0	3
17	0	0	10	0	0	0	0	8	0	0	0	0
18	0	26.5	6	0	11	28	0	0	0	0	0	0
19	0	0	70	0	65	0	0	12	5	0	0	0
20	65	0	21	0	0	0	0	0	30	0	3	0
21	0	0	15	20	0	19	0	0	15	11	0	0
22	0	6	32	0	0	10	0	0	0	0	2	0
23	0	0	0	0	0	90 24	0	4	0	0	0	0
24	13	0	0	0	0	85	0	0	0	15	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	93	24	0	0
26	0	53	0	0	0	0	13	5	14	7	0	0

27	0	0	0	0	6	0	0	0	3	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	7	0
30	0	0	0	3.5	0	12	5	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	6.5	4	0	0	0	0	0

Azul: eventos monitorados com o acompanhamento dos pesquisadores;

Amarelo: eventos com coleta nas caixas, mas sem o acompanhamento dos pesquisadores

Laranja: eventos de chuva sem a ocorrência de escoamento superficial.

Na Tabela 3, os eventos marcados em laranja foram monitorados indiretamente por meio da coleta do volume fracionado nas caixas. Isso porque nem sempre houve a possibilidade da presença dos pesquisadores durante o evento e pela ausência de equipamentos automáticos. As informações desses eventos registram apenas o volume total de água e de sedimentos perdidos, entretanto não foram utilizados em razão das incertezas associadas a essa medida. Sendo assim, esse estudo é baseado na análise dos eventos acompanhados *in situ* por meio de variáveis características e das respostas (Q) e da (Css) aos nove eventos significativos de chuva monitorados.

O conjunto dos 9 eventos monitorados envolve situações distintas de magnitude e de cobertura de solo. Houve eventos de elevada precipitação (elevado tempo de retorno), como por exemplo, o evento do dia 08/10/2015 com precipitação de 165 mm durante um dia, numa boa condição de cobertura de solo. Bem como eventos de média magnitude e elevadas perdas de água e de solo. As variáveis escolhidas para representar as perdas de água e solo (Tabelas 5 a 9) refletem os resultados do impacto da forçante climática sob a condição de uso do solo no momento do monitoramento.

3.3.1 Quantificação das perdas de água e sedimentos

A partir da análise dos dados medidos nos nove eventos monitorados obteve-se variáveis características que refletem a influência das práticas de manejo aplicadas.

Tabela 4 - Resultados da análise estatística para as diferentes variáveis analisadas.

Tratamentos	Baixa fitomassa vs. Alta fitomassa.			Escarificado vs. Não escarificado.			Alta fitomassa escarificado vs. Baixa fitomassa não escarificado		Alta fitomassa não escarificado vs. Baixa fitomassa escarificado	
Parcelas	M1 vs. M3	M1 vs. M5	M2 vs. M4	M1 vs. M2	M3 vs. M4	M4 vs. M5	M3 vs. M2	M5 vs. M2	M4 vs. M1	

Q (m ³)	*	ns	**	*	ns	*	**	ns	ns
C (%)	**	ns	**	**	ns	ns	**	**	ns
Q _(pico) (l/s)	**	*	**	ns	ns	**	**	*	**
PS (kg)	**	**	**	**	*	**	**	**	**
C _{ss} (mg/l)	**	**	**	**	**	**	**	**	**

ns: não significativo *: 0,05 – 0,1 ** < 0,05

Resultado do teste T student pareado P(T<=t) $\alpha = 0,05$

Volume de escoamento

Na tabela 5 são apresentados os volumes totais de escoamento (m³) perdidos em cada macroparcela em cada evento. A primeira evidência nos resultados obtidos é a significativa contribuição dos eventos de maior magnitude. Os volumes encontrados para precipitações além de 100 mm/dia atingiram valores próximos de 300 m³ macroparcela (500 m³/ha).

Tabela 5 - Escoamento superficial (Q) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.

Data	P _(5dias)	P _(evento)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	P (mm)		Q (m ³)					
08/07	30	24	4,3	4,2	2,5	2,5	2,7	4,2
13/07	24	25	3,7	3,8	2,5	2,4	2,8	5,2
14/07	25	22	7,6	7,9	6,2	6,1	6,2	8,9
20/07	0	65	46,7	59,5	34,3	37,8	40,8	68,9
08/10	34	165	318,4	386	329,4	364	445,5	467,1
14/12	72	46	4,2	4,6	1,6	1,2	1,3	2,2
18/12	87	28	0,6	0,7	0	0	0	0
23/12	56	76	289,3	311,9	273,9	277,2	292,7	328
24/12	128	82	286,8	306,9	235,2	207,1	225,3	319,2

P_{5dias} = Umidade antecedente de 5 dias.

A escarificação (macroparcelas ímpares) reduziu as perdas de água em torno de 11% (M1 vs. M2) na condição de baixa biomassa, mas não houve diferença na condição de média quantidade de fitomassa (M3 vs. M4)(Tabela 5).

Nota-se claramente a redução no volume de escoamento superficial entre as parcelas com baixa adição de fitomassa (M1 e M2) para as de média adição de fitomassa (M3, M4 e M5)(Tabela 4). A análise estatística demonstra para as três comparações (M1M3, M1M5 e M2M4) uma significativa diferença de valores, segundo o método estatístico utilizado (Tabela 4).

Nota-se também uma diferença considerável no volume de água escoado quando comparamos a parcelas de menor adição de fitomassa e não escarificada (M2) com a parcela de maior adição de fitomassa e escarificada (M3) (Tabela 5). Segundo o método estatístico usado notamos uma diferença nos valores entre as comparações (M2M3, M2M5) (Tabela 4).

Também fica evidente na tabela 5 o resultado do processo de exfiltração na macroparcela 6 com elevados volumes de escoamento, mesmo com boa adição de fitomassa e mesmo manejo de solo daquele utilizado na M4.

Ao analisarmos a tabela 5 notamos claramente que no dia 08/10 ocorre maior perda nas M3, M4 e M5, em comparação aos outros eventos. Essa perda mais elevada dá-se ao fato de ter entrado água na parcela, devido a forte intensidade da precipitação, fato esse, constatado durante o evento.

Coefficiente de escoamento

Na tabela 6 são apresentados os volumes totais (%) perdidos em cada macroparcela, evento a evento. Observa-se claramente as diferenças na porcentagem de escoamento ao analisarmos a mesma tabela em relação aos manejos adotados, ressaltando novamente a questão já mencionada da M6 e do evento do dia 08/10 em relação às demais.

Tabela 6 - Coeficiente de escoamento superficial (Q) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelsas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.

Data	P _(5dias)	P _(vento)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	P (mm)							
08/07	30	24	3	3	2	2	2	3
13/07	24	25	2	3	2	2	2	4
14/07	25	22	6	6	5	4	5	7
20/07	0	65	11,6	15,7	8	10	9	18
08/10	34	165	32	41	32	39	42	50
14/12	72	46	8	9	3	2	2	4,4
18/12	87	28	1	1	0	0	0	0
23/12	56	76	52	59	47	53	49	62
24/12	128	82	55	62	43	42	40	64

Notamos uma diferença no coeficiente de escoamento entre as parcelas com baixa adição de fitomassa (M1 e M2) e de média adição de fitomassa (M3, M4 e M5). A análise estatística demonstra para as três comparações (M1M3, M1M5 e M2M4) uma diferença nos valores, segundo o método estatístico utilizado (Tabela 4).

Podemos notar também, uma diferença considerável no coeficiente de escoamento em eventos de maior magnitude, quando comparamos a parcelas de menor adição de fitomassa e não escarificada (M2) com a parcela de maior adição de fitomassa e escarificada (M3). Segundo o método estatístico (Tabela 4) usado notamos diferença nos valores entre as comparações (M2M3, M2M5).

Ressalta-se, novamente, o processo de exfiltração na M6 com elevados volumes de perdas mesmo manejada sob boas condições de fitomassa.

Vazão máxima

Na tabela 7 são apresentados os volumes de vazão máxima em cada macroparcela, em cada evento. Em eventos de maior magnitude ou mesmo aqueles com momentos de alta intensidade durante as precipitações, nota-se um aumento significativo na vazão máxima (Q_{pico}). Ressalta-se novamente a questão da exfiltração na base da M6 que contribuiu significativamente para esse aumento.

Tabela 7 - Vazão máxima (Q_{pico}) em função das precipitações (P) nas diferentes macroparcelas, no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.

Data	$P_{(5 \text{ dias})}$	$P_{(\text{evento})}$	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	P (mm)							
08/07	30	24	0,9	1,1	0,7	0,7	0,9	1,6
13/07	24	25	1,7	1,7	1,4	1,0	1,4	2,7
14/07	25	22	3,0	3,1	2,0	1,9	2,0	2,7
20/07	0	65	10,5	11,3	5,6	6,8	7,9	9,7
08/10	34	165	92,2	92,2	80,8	86,4	92,2	104,7
14/12	72	46	0,9	1,0	0,4	0,3	0,4	0,5
18/12	87	28	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
23/12	56	76	70,2	70,2	60,5	62,3	70,2	75,4
24/12	128	82	47,6	51,7	36,6	33,2	36,6	40,1

Analisando a tabela 4 podemos notar diferença nos valores de Vazão máxima (Q_{pico}) para eventos de grande magnitude entre as parcelas com baixa adição de fitomassa (M1 e M2) para as de média adição de fitomassa (M3, M4 e M5). Segundo o modelo estatístico usado, notamos diferença significativa entre as comparações (M1M3, M1M5 e M2M4).

Nota-se uma diferença na vazão máxima quando comparamos a parcelas de menor adição de fitomassa e não escarificada (M2) com a parcela de maior adição de fitomassa e escarificada (M3). Ao analisarmos a tabela 7 notamos que eventos com grande magnitude e alta intensidade elevam muito a vazão nas parcelas de pouca adição de fitomassa em relação as parcelas de média adição de fitomassa.

Concentração de sedimento em suspensão

Na tabela 8 são apresentados os valores de C_{ss} em cada macroparcela em cada evento. A evidência de que o solo sem cobertura (M1 e M2) está muito suscetível a perdas de solo, está clara, principalmente nos eventos do dia 13, 14/07 e 20/07. Ao analisarmos as perdas em M1 e M2 em comparação as demais, ocorreram temos perdas de aproximadamente 20%. Podemos conciliar isso ao fato da cultura do trigo ter sido implantada no dia 21/06/15, sendo que nestas parcelas não havia restos culturais significativos da cultura antecedente (soja), devido ao período de pousio entre as culturas. Ao contrário, nas demais macroparcelas (M3, M4, M5, M6) onde houve boa cobertura morta das culturas antecedentes, a C_{ss} mostrou-se bastante reduzida.

Tabela 8 - Concentração de sedimentos em suspensão (C_{ss}) em função das precipitações (P) nas macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS, 2015.

Data	$P_{(5\text{dias})}$	$P_{(\text{evento})}$	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	P (mm)							
08/07	30	24	0,13	0,21	0,09	0,03	0,07	0,05
13/07	24	25	0,6	1,67	0,26	0,26	0,23	0,22
14/07	25	22	1,06	2,01	0,09	0,04	0,09	0,15
20/07	0	65	0,43	0,77	0,1	0,06	0,13	0,11
08/10	34	165	0,06	0,06	0,01	0,02	0,03	0,04
14/12	72	46	0,15	0,39	0,08	0,06	0,07	0,07
18/12	87	28	0,11	0,11	0	0	0	0
23/12	56	76	0,23	0,3	0,17	0,07	0,09	0,34
24/12	128	82	0,19	0,29	0,17	0,07	0,11	0,15

Podemos observar a redução na C_{ss} em virtude da adição de fitomassa entre os tratamentos, quando aplicamos o método estatístico para os ambos os sistemas de manejo utilizados (Tabela 4).

Ao analisarmos a tabela 8 notamos que em momentos onde temos o solo descoberto sem proteção dos restos culturais deixados pelas culturas antecedentes e ou por falta de área foliar da cultura atual (M1 e M2), temos perdas elevadas exemplos do dia 13 e 14/07.

Produção de sedimento

Na tabela 9 são apresentados os volumes totais de perdas de solo (kg) perdidos em cada macroparcela, evento a evento.

Tabela 9 - Produção de sedimentos (PS) em função das precipitações (P) nas macroparcelas no período monitorado - Júlio de Castilhos/RS,2015.

Data	P _(5dias)	P _(evento)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P (mm)			PS (kg)					
08/07	30	24	0,65	1,16	0,28	0,11	0,23	0,29
13/07	24	25	4	9,3	0,9	0,34	0,82	1,32
14/07	25	22	11	25	0,4	0,4	0,73	2,15
20/07	0	65	19,77	24,9	5,2	2,46	6,5	8,5
08/10	34	165	24,76	48,07	11,94	12,6	20,87	22,8
14/12	72	46	0,68	1,96	0,16	0,08	0,12	0,18
18/12	87	28	0,08	0,08	0	0	0	0
23/12	56	76	103	159	90	32	49	250
24/12	128	82	69	126	54	21	34	73

A diferença na redução das perdas de solo entre os tratamentos é claramente percebida a ao analisarmos a tabela 9. Podemos observar que em eventos de maior magnitude (08/10, 23/12 e 24/12) nos manejos de menor adição de fitomassa tivemos as maiores perdas de água e solo.

Em eventos de longa duração com alta umidade antecedente (23 e 24/12) e onde houve mobilização do solo nas linhas de semeadura devido ao manejo do plantio da soja, tivemos elevadíssimas perdas de solo após este estar totalmente saturado. Ao aplicarmos a estatística observa-se diferença significativa entre os tratamentos.

3.3.2 Análise do comportamento da vazão e da concentração de sedimentos durante os eventos

Além da quantificação das perdas de água e de sedimentos em cada evento, é importante avaliar o comportamento da vazão e da concentração de sedimentos em resposta aos eventos de chuva-vazão. Pouco se conhece sobre os mecanismos de geração do escoamento superficial na

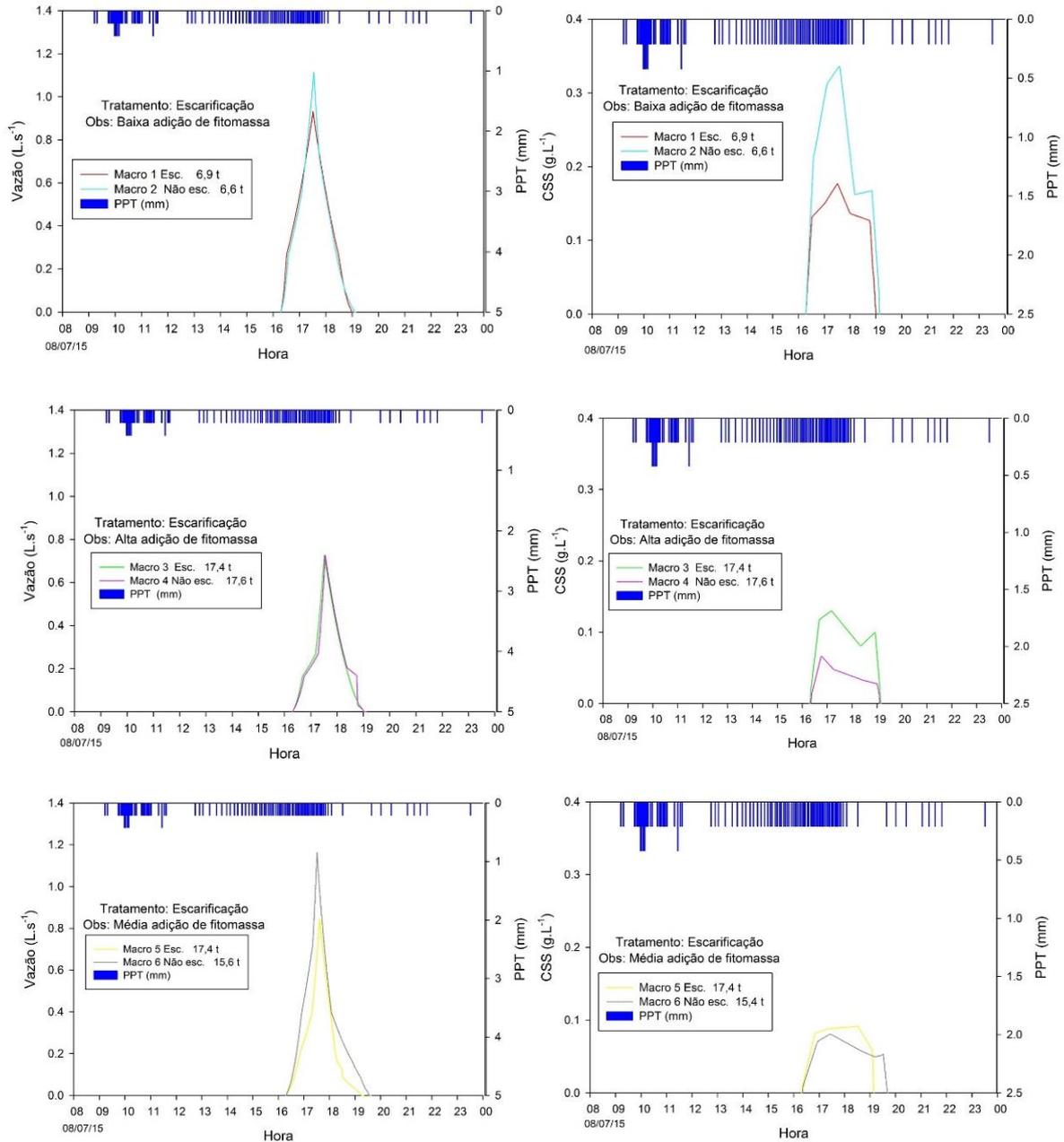
escala de encosta (0,001-0,01 km²) e a sua influência nos processos erosivos. A falta de dados e de conhecimento dos processos hidrológicos e erosivos nessa escala afeta diretamente a capacidade de escolher e dimensionar corretamente estruturas de controle do escoamento superficial, como os terraços. A proposição de manejos e estruturas de controle do escoamento superficial, depende da compreensão da dinâmica hidrológica da formação de escoamento na escala de encosta e de pequenas bacias hidrográficas.

Sendo assim, esse trabalho procurou medir o comportamento da vazão e da concentração de sedimentos ao longo dos eventos, além da quantificação das perdas totais, apresentadas no item anterior. Nesse item são apresentados os gráficos da precipitação (hietogramas), vazão (hidrogramas) e da concentração de sedimentos em suspensão (sedimentogramas) de cada evento para cada uma das macroparcela monitorada, procurando salientar a influência da escarificação e da adição da fitomassa na magnitude e forma dessas variáveis.

As figuras são apresentadas lado a lado (Q e C_{ss}) e em cada uma foram graficados os comportamentos distintos de cada parcela considerando o fator em destaque (escarificação ou fitomassa). O efeito da escarificação sempre é analisado considerando a mesma condição de fitomassa, com comparações entre duas macroparcelas. O efeito da adição de fitomassa é realizado considerando a mesma condição de manejo de solo (com ou sem escarificação). Faz-se aqui as mesmas considerações para a M6, que apresentou maior magnitude pela ocorrência da exfiltração. Mesmo assim mantivemos na análise, pois é uma condição natural e que pode servir de exemplo para uma condição frequente nas áreas de relevo de coxilha. Vale lembrar que as adições de fitomassa nas M3, M4, M5 e M6 foram semelhantes entre si.

Evento dia 08/07/15

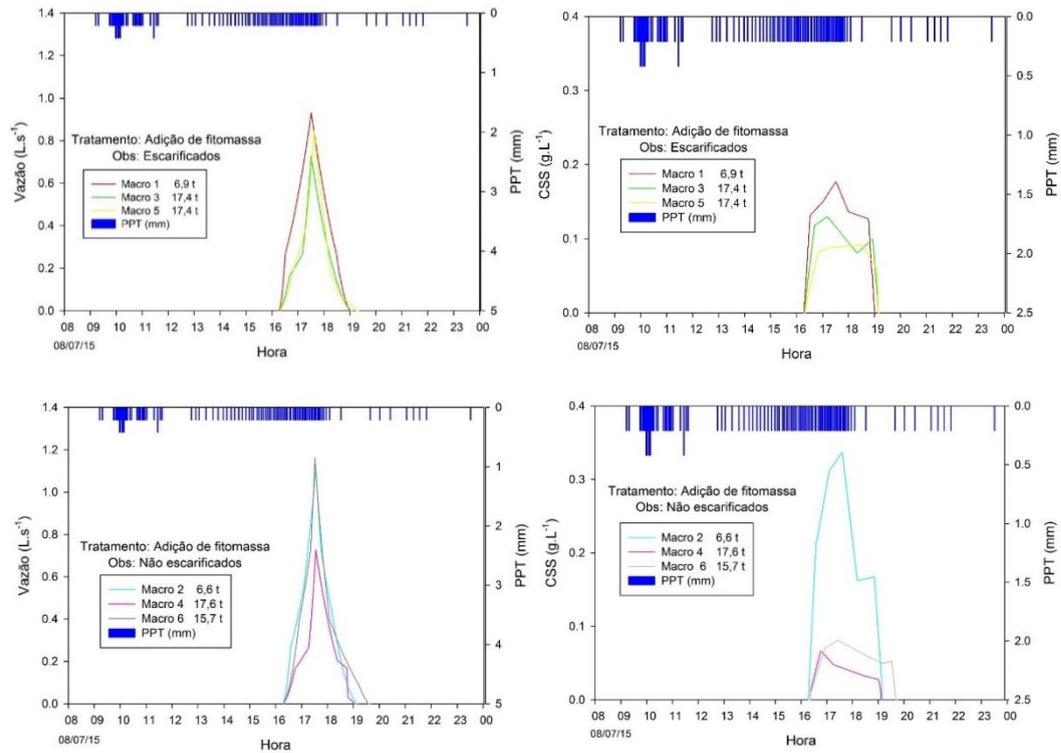
Figura 10 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 08/07/2015.



O evento do dia 08/07 foi um evento mediano com chuva bem distribuída e de baixa intensidade, entretanto numa condição de alta umidade antecedente. Considerando as parcelas de baixa biomassa (M1 e M2), nota-se que a escarificação reduziu a vazão de pico, mas a forma do hidrograma manteve-se a mesma, ou seja, a rugosidade da escarificação não amortizou o hidrograma. A sensibilidade da C_{ss} foi muito maior que a Q em razão da escarificação. Considerando a parcela com boa quantidade de fitomassa, nota-se que a escarificação não

contribuiu para a redução da vazão e, diferentemente, do observado no caso anterior a C_{ss} foi levemente maior na escarificada. A M6, em função da exfiltração, apresentou maior vazão de pico e volume de escoamento.

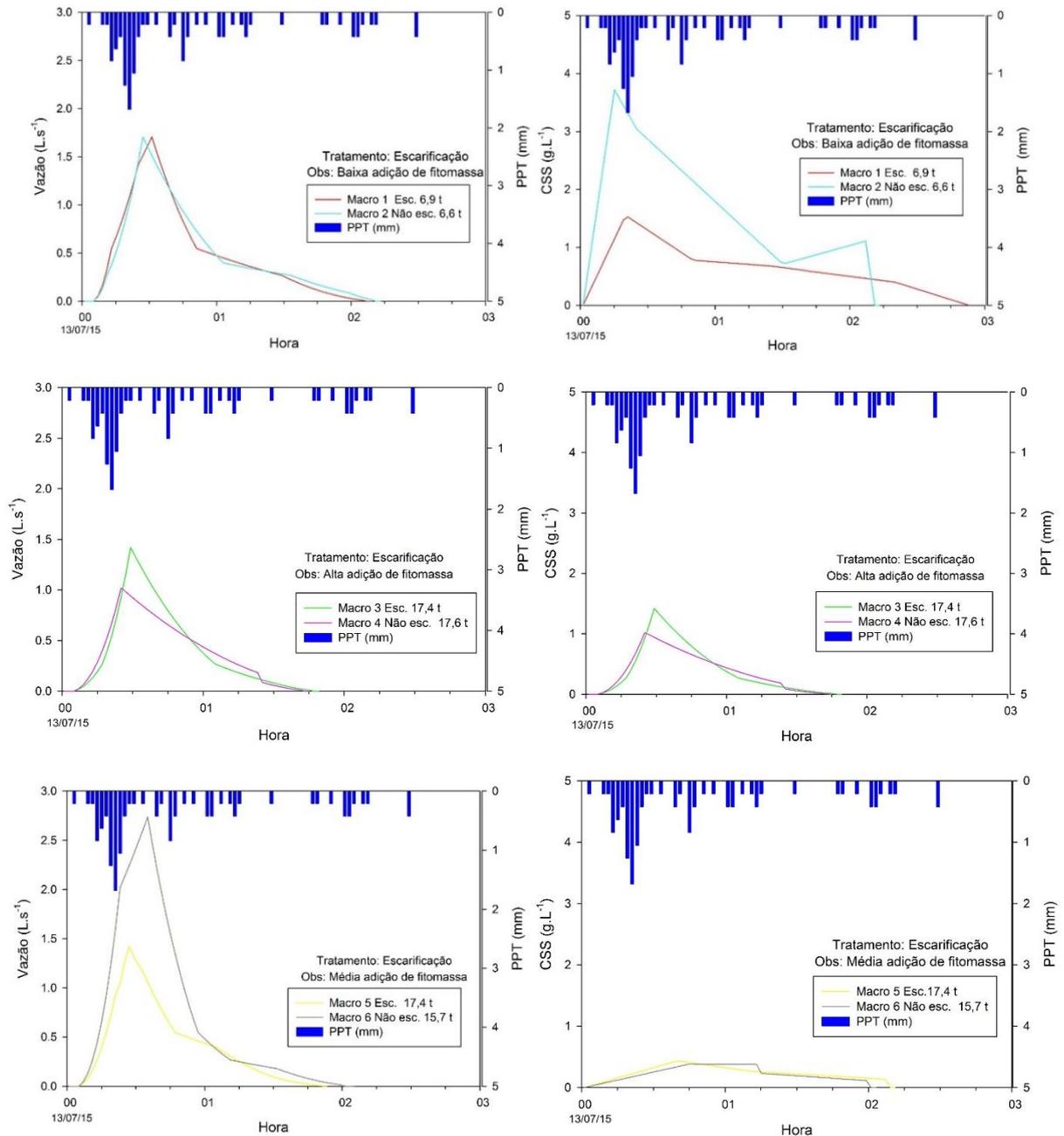
Figura 11 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 08/07/2015.



Ao analisarmos a influência da adição de fitomassa nesse evento do dia 08/07, nota-se um aumento significativo na vazão de pico e no volume (área abaixo da curva) das encostas de baixa adição (M1 e M2) em relação às encostas com média adição (M3, M4 e M5). Da mesma forma, e, possivelmente, em função das Q , a C_{ss} também foi maior em M1 e M2. Interessante notar que a maior amplitude da redução da vazão de pico e no volume ocorreu na condição não escarificada (M2 vs M4), e que o controle da biomassa sem escarificação foi maior do que o controle da escarificação com pouca biomassa (M4 vs M1). A cultura do trigo estava iniciando o estágio de formação do duplo anel.

Evento dia 13/07/15

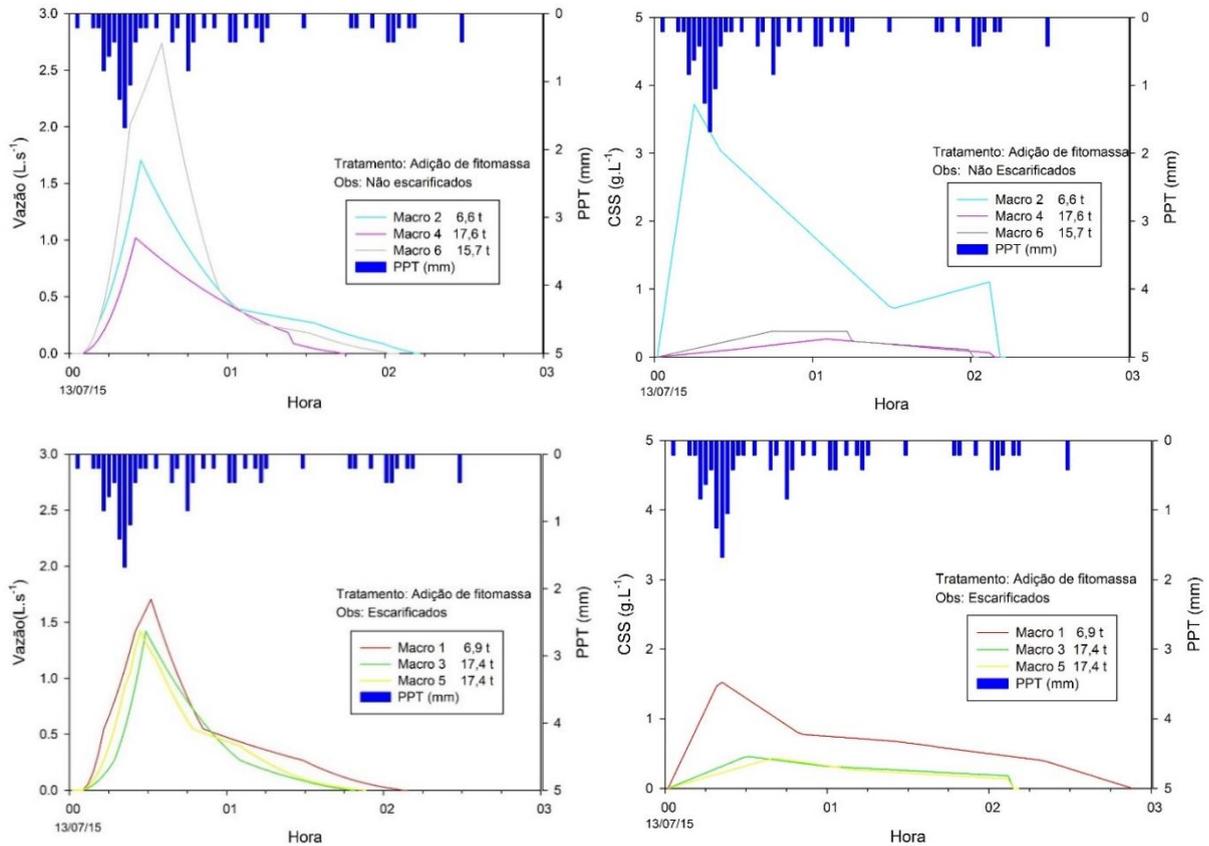
Figura 12 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 13/07/2015.



Podemos considerar o evento do dia 13/07 como um evento médio com um pico de chuva mais intenso no início, com uma unidade antecedente considerável. Observa-se claramente que o efeito da escarificação nas parcelas de baixa adição de fitomassa (M1 e M2) se mostrou eficaz no quesito perda de CSS e não no quesito perda de água. Nos manejos com maiores adições de fitomassa (M3 e M4) esse efeito não é observado. Ao observarmos os

tratamentos (M5 e M6) notamos claramente uma baixa perda de sedimento em suspensão em relação as demais, apesar da alta vazão de pico apresentada pela M6.

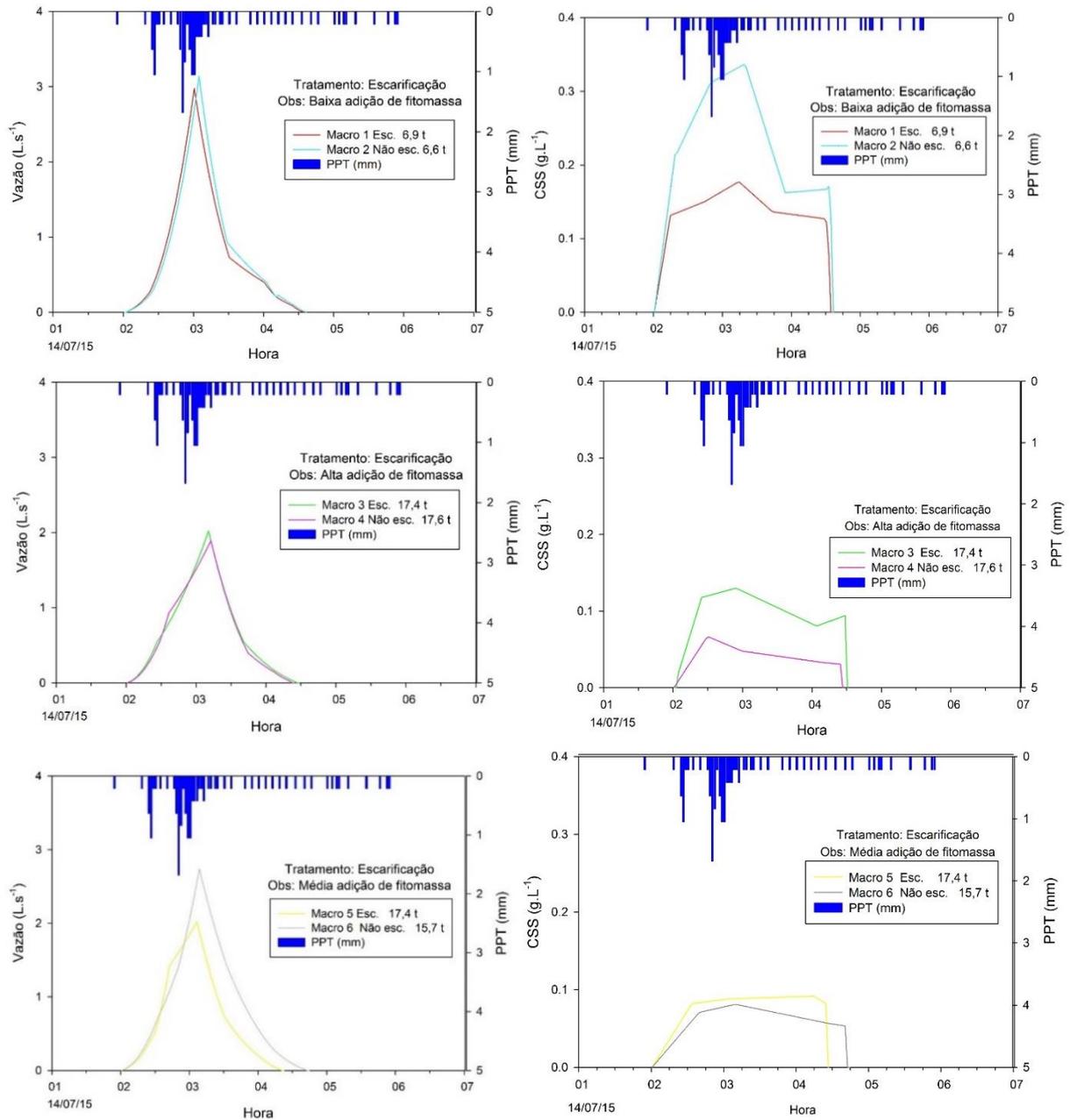
Figura 13 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 13/07/2015.



Ao analisarmos a influência da adição de fitomassa no evento do dia 13/07, nota-se uma significativa redução na Css nos tratamentos de maior adição de fitomassa. No quesito perda de água não se observa tamanha diferença. A cultura do trigo estava no início do estágio de perfilhamento, e as diferenças nas perdas provavelmente se deram devido ao pouco de resíduo das culturas antecedentes deixadas nos tratamentos de baixa adição de fitomassa, muito ao contrário dos outros manejos onde houve uma boa cobertura deixada pela cultura do nabo durante o plantio do trigo.

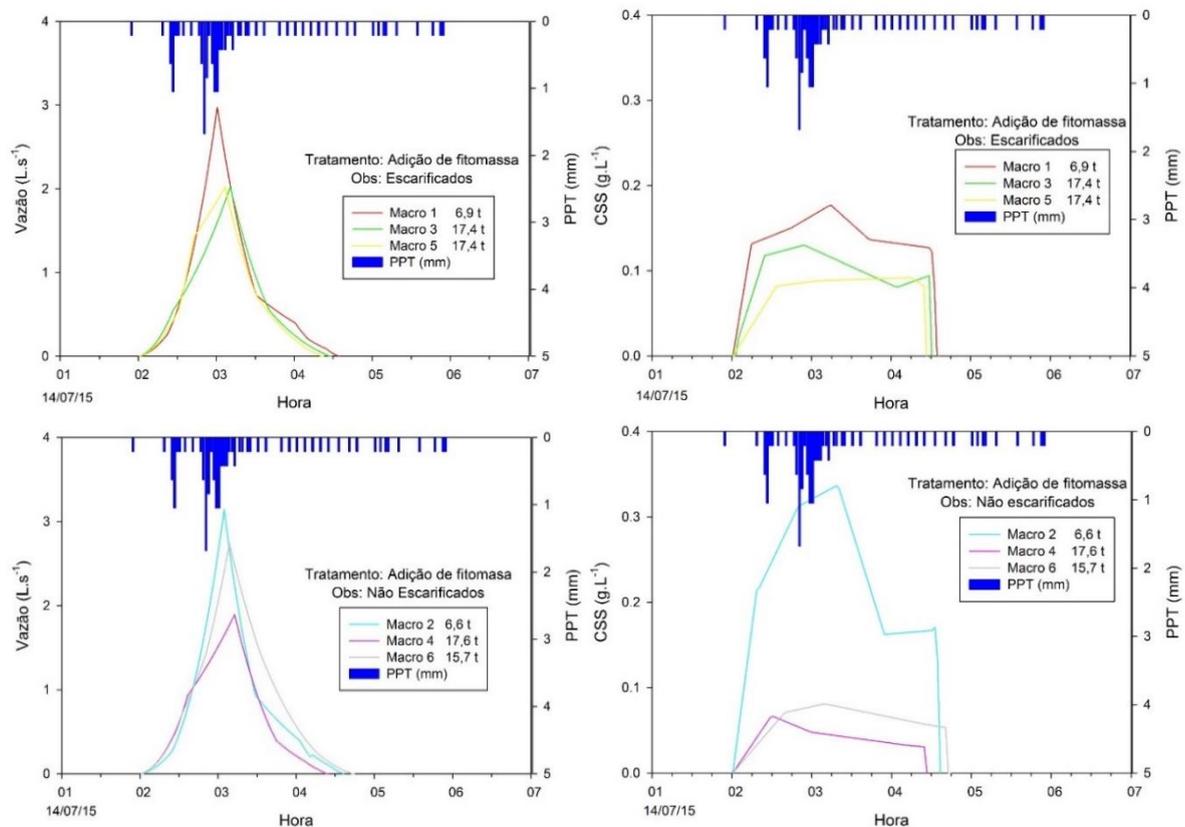
Evento dia 14/07/15

Figura 14 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 14/07/2015.



O evento do dia 14/07 foi um evento mediano com chuva intensa no início do mesmo, e com uma alta umidade antecedente. Ao analisarmos os hidrogramas e sedimentogramas podemos perceber que a escarificação reduziu a CSS nos tratamentos de baixa adição de fitomassa, porem nos tratamentos com alta adição de fitomassa esse efeito não é observado. No quesito perda de água não observamos diferença significativa entre os tratamentos, no entanto, observa-se claramente maior controle na perda de água com o melhor manejo de cobertura.

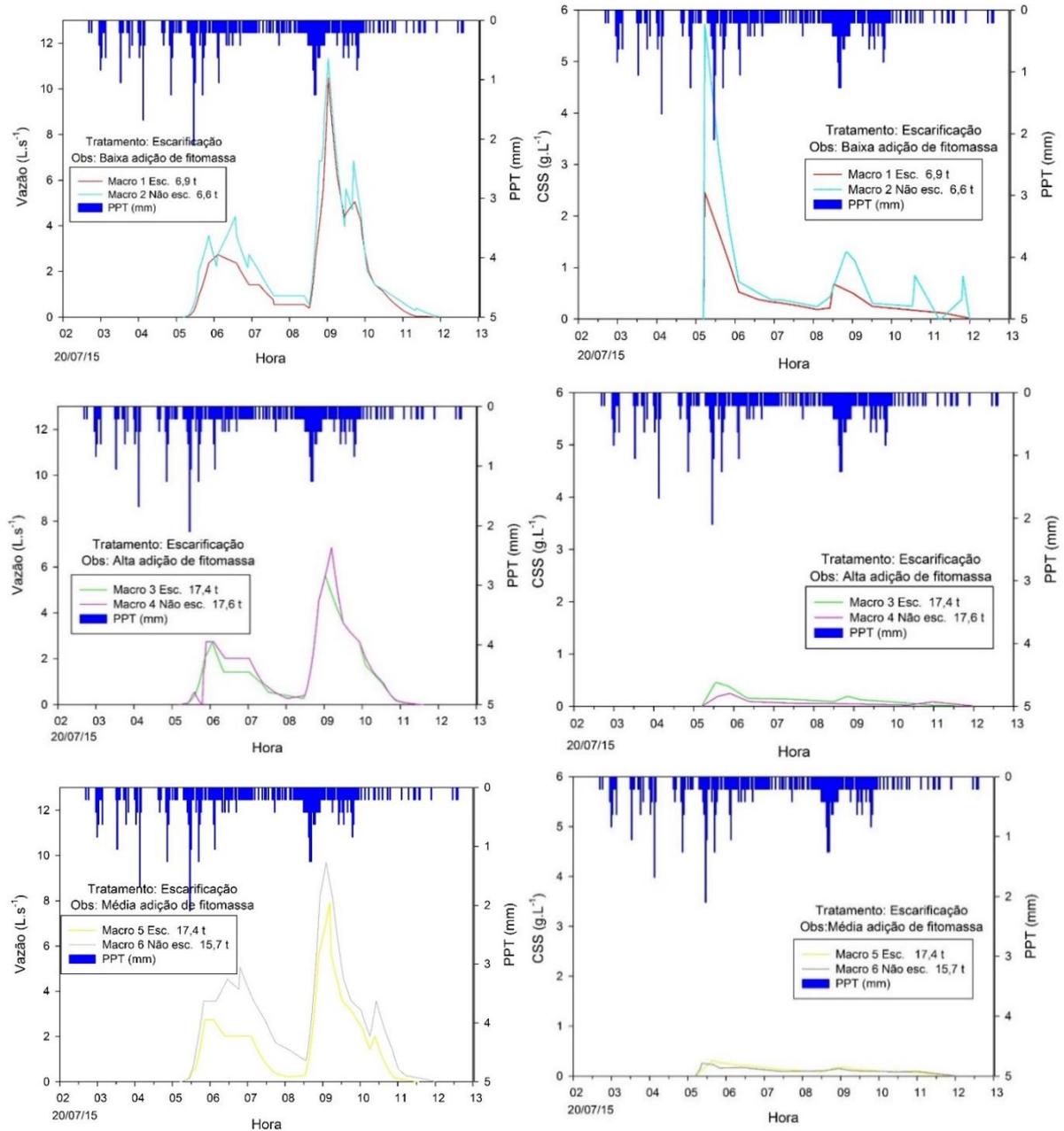
Figura 15 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 14/07/2015.



Analisando a influência da adição de fitomassa nesse evento do dia 14/07, nota-se uma significativa redução na vazão de pico, no volume e na CSs entre os tratamentos de baixa adição de fitomassa (M1 e M2) e os demais com maiores adições de fitomassa. Um importante fato observado nesses gráficos é o atraso na vazão de pico demonstrando a capacidade da cobertura em frear o escoamento superficial, reduzindo, possivelmente a capacidade erosiva do escoamento pelo aumento da fricção. Podemos observar que a macroparcela 6 teve uma vazão de pico aproximada a M1 e M2, porem em termos de C_{ss} ficou muito abaixo dos tratamentos M1 e M2. Isso está relacionado a cobertura deixada pelas culturas antecedentes. A cultura do trigo encontrava-se no início do perfilhamento no momento do evento.

Evento dia 20/07/15.

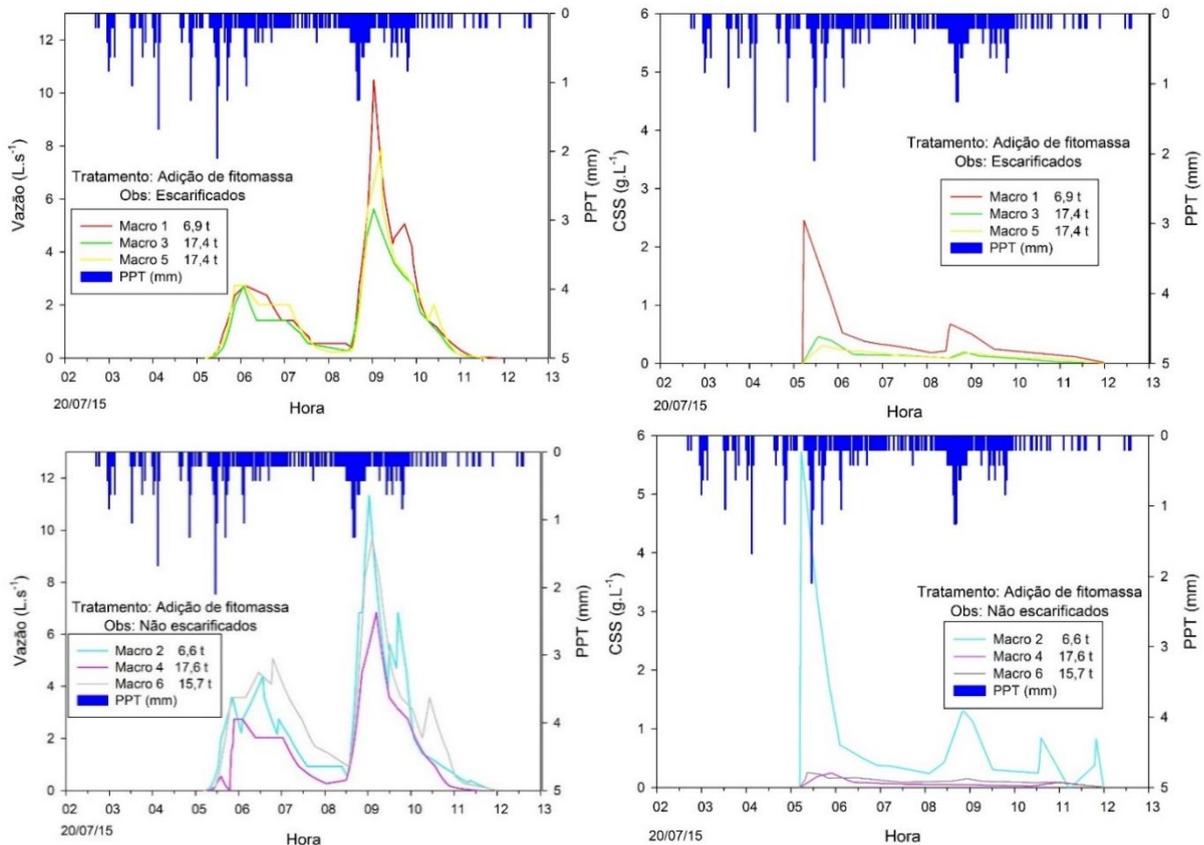
Figura 16 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 20/07/2015.



O evento do dia 20/07 foi um evento com alta precipitação, com vários picos mais intensos. Como podemos observar novamente o efeito da escarificação se mostrou mais perceptível nas parcelas de baixa adição de fitomassa. Observa-se um pico na C_{ss} na M2, no início do evento, esse fato pode estar agregado ao sedimento desagregado em eventos anteriores, transportado, porém, depositado próximo a calha. Com o início do escoamento e aumento da vazão neste evento essa fração foi facilmente carregada para fora da macroparcela.

Podemos observar que após este momento ambas as parcelas reduzem a C_{ss} , ainda que há o aumento da vazão posteriormente.

Figura 17 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 20/07/2015.



Analisando a influência da adição de fitomassa no evento do dia 20/07, notamos claramente o efeito da adição de fitomassa nos valores da vazão e da C_{SS} entre os tratamentos, onde os tratamentos com baixa adição de fitomassa tem uma perda considerável em comparação aos demais. Podemos observar que apesar do grande volume precipitado não tivemos uma elevada C_{ss} (salvo o pico inicial na M1 e M2). Esse fato pode ser atribuído ao estágio da cultura do trigo que estava em pleno perfilhamento, com o dossel encoberto pela área foliar e sistema radicular bem desenvolvido, possibilitando assim maior proteção ao solo.

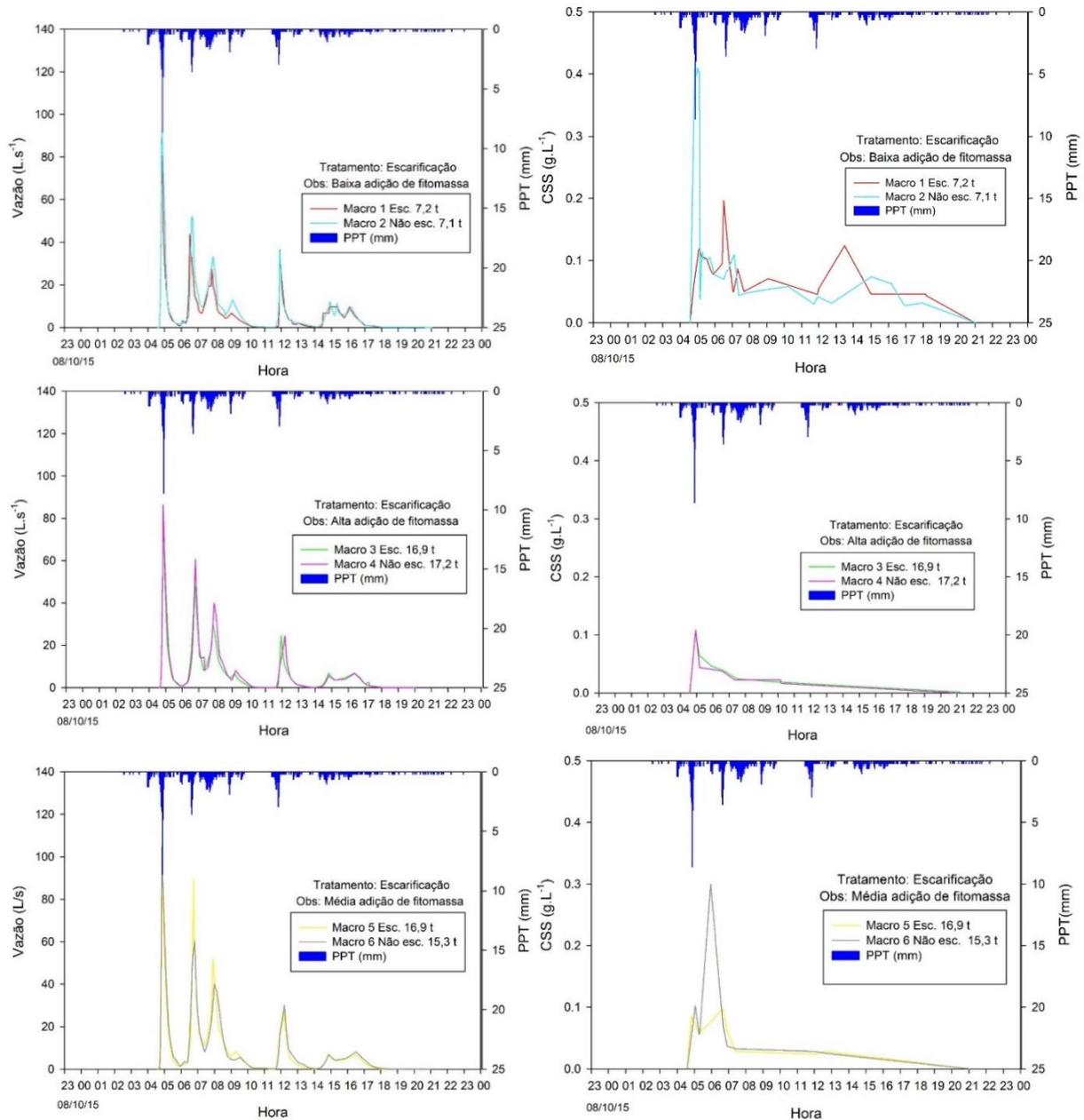
Fazendo um comparativo entre duas diferentes escalas: 1ª) Bacia parada de ordem zero (MST) com presença de talvegue, declividade média de aproximadamente 7%, comprimento de rampa de 193 metros, sem a presença terraço, apresentando área total de 2,43 ha, com uma geomorfologia convexa e convergente (convexa no sentido vertical e côncava no sentido horizontal). 2ª) M2 com comprimento de rampa retilíneo de 80 metros declividade média de 9%, com área de 0,58 ha. Em termos de volume total de água e solo perdidos observamos que

a MST perdeu $93,27 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de água e $44,10 \text{ kg}\text{ha}^{-1}$ de solo enquanto que a M2 perdeu $101,51 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de água e $42,51 \text{ kg}\text{ha}^{-1}$ de solo.

Neste evento em específico podemos notar que o maior comprimento de rampa teve menores perdas de água, coincidindo com os resultados de Silva e Demaria (2011) que trabalharam em uma menor escala avaliando as perdas em três comprimentos de rampa (25, 50, 75 x 8 metros, com declividade de 6%).

Evento dia 08/10/15.

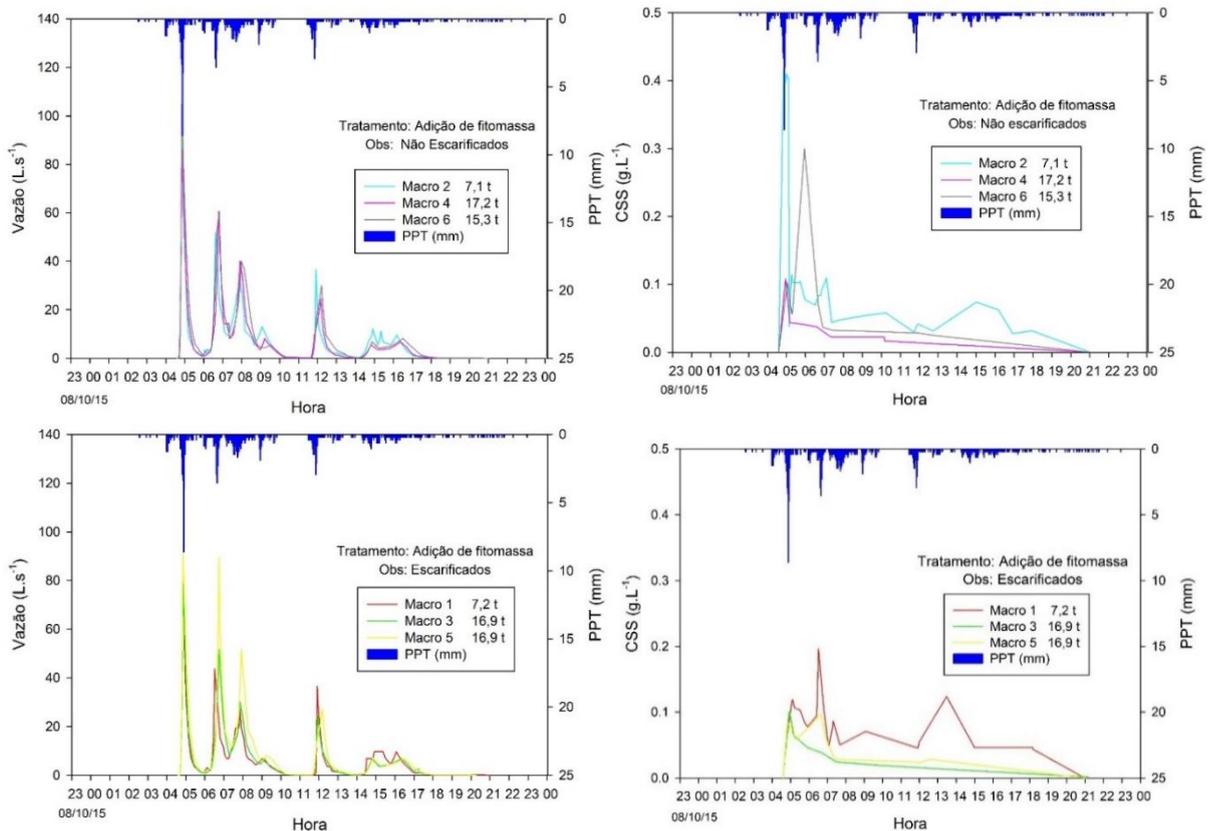
Figura 18 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 08/10/2015.



O evento do dia 08/10 representa um padrão de chuva mais complexo, com inúmeros picos de intensidade de chuva e, também, pela sua maior magnitude com reflexos no comportamento da vazão. A primeira evidência é que em todos os tratamentos a resposta na vazão foi significativa, indicando que o controle pela escarificação e fitomassa é parcial. Nota-se que a escarificação reduziu os picos de vazão, com maior eficiência na condição de baixa fitomassa, talvez pela maior magnitude das respostas nessa condição. Não houve uma clara diferença na Css devido a escarificação, exceto um pico de concentração no início do evento na

M2, que pode ser devido a material da carga de lavagem de origem de depósitos dos eventos anteriores, prontamente disponíveis.

Figura 19 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 08/10/2015.



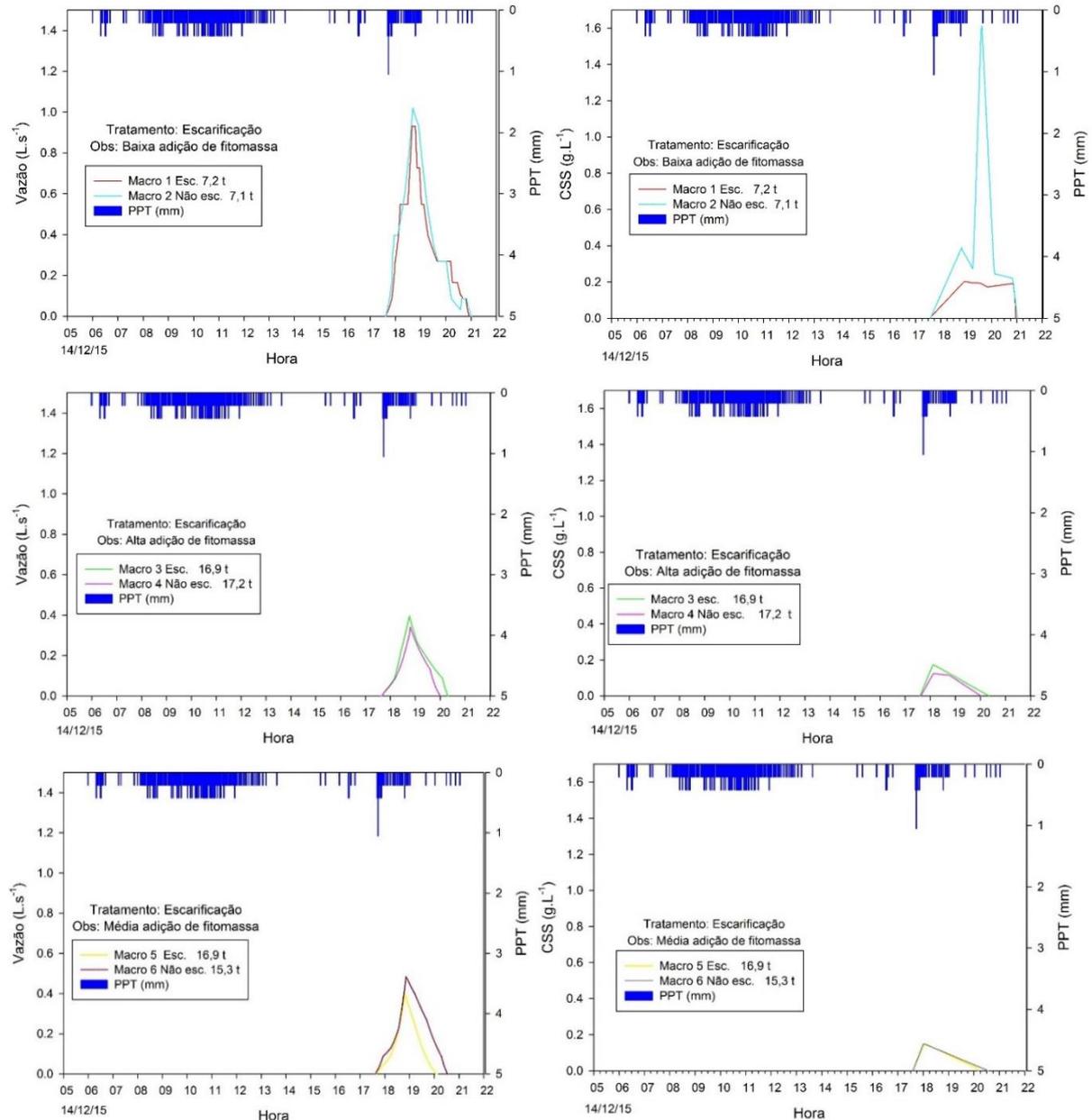
O comportamento da Q considerando o efeito da adição de fitomassa é ainda menos claro, sem uma evidente influência positiva pela adição da fitomassa entre as macroparcelas, seja com ou sem escarificação. Isso pode indicar que, para eventos extremos, onde ocorre a saturação do perfil do solo, apenas a presença de estruturas mecânicas de controle do escoamento seria capaz de controlar as perdas de água. Já do ponto de vista da erosão, a influência da fitomassa é evidente. Nas maiores adições de fitomassa (M3, M4, M5 e M6) a C_{ss} é sensivelmente menor. Mesmo na M6, onde há um processo de exfiltração importante, mas com alta adição de fitomassa, há menor mobilização de sedimentos. Isso pode significar que, para eventos extremos, a adição de fitomassa não controla o escoamento mas controla a erosão.

Neste evento, ao compararmos as perdas de solo com as perdas de água, notamos que houve uma perda muito grande de água em relação ao solo. Isso deve-se ao fato de termos uma boa cobertura no momento do evento, no caso a cultura do trigo em plena fase de enchimento

de grãos, expressando assim a sua máxima área foliar encobrindo o dossel e o máximo de proteção ao solo pelo sistema radicular bem instalado.

Evento dia 14/12/15.

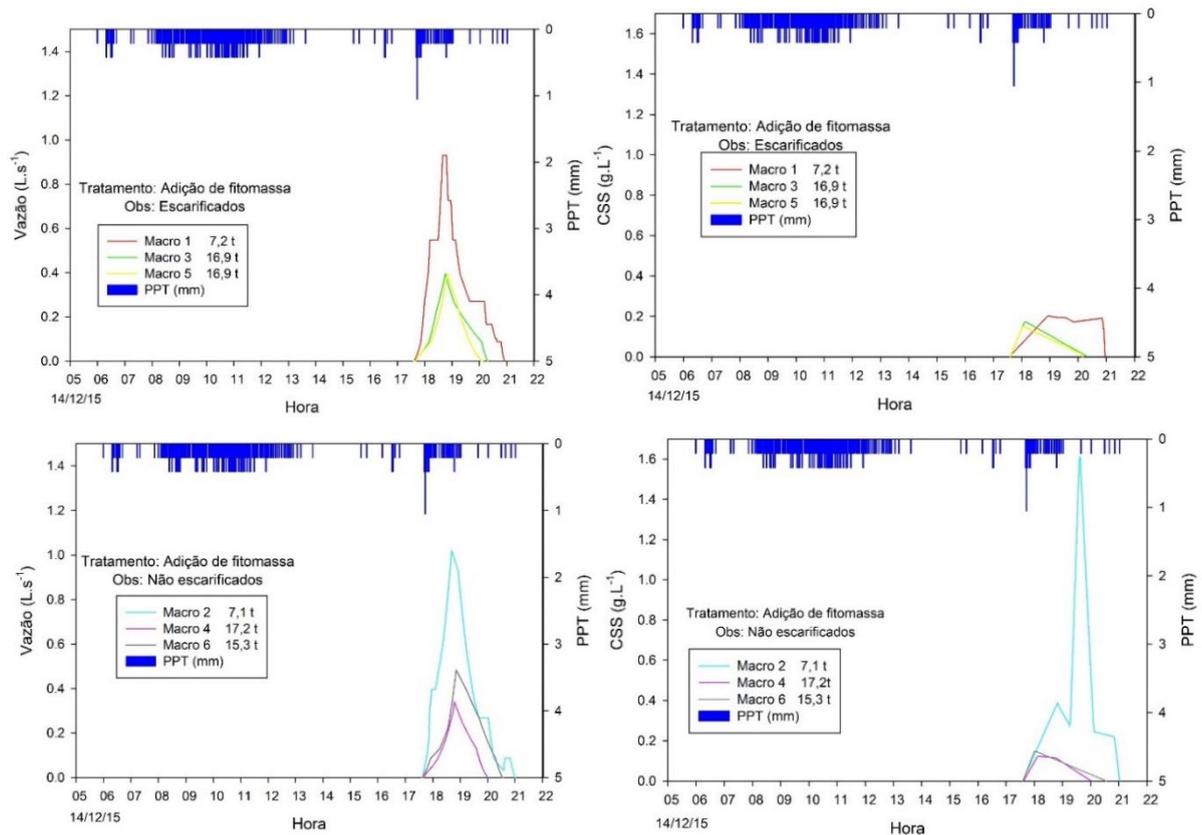
Figura 20 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 14/12/2015.



O evento do dia 14/12 foi um evento com uma precipitação média a alta. Ao analisarmos os hidrogramas deste evento não observamos uma influência significativa da escarificação nas perdas de vazão. Analisando o sedimentograma, observamos diferença nas perdas de CSS entre tratamentos de baixa adição de fitomassa, com uma perda oito vezes maior na M2. Comportamento esse que vem sendo observado ao longo do monitoramento, para a maioria dos eventos.

Porém ao olharmos o hidrograma, podemos ver que só houve perda de água mais no final do evento, após a saturação do solo. Lembrando que este evento foi o segundo após o plantio da soja realizado há dois dias antes, plantio este que deixou uma rugosidade considerável nas linhas de plantio.

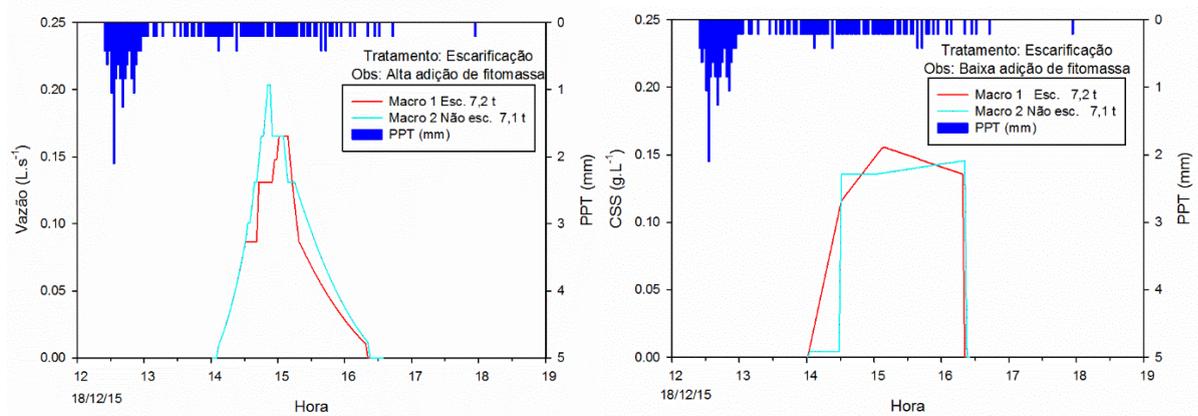
Figura 21 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 14/12/2015.



Ao analisarmos a influência da adição de fitomassa no evento do dia 14/12, notamos redução, principalmente nos valores de vazão e volume escoado, ao compararmos os tratamentos M1 e M2 aos demais. Apesar do evento ter ocorrido logo após a realização do plantio, observou-se que sobre o solo havia boa cobertura da cultura antecedente, o que provavelmente influenciou nas baixas perdas de C_{ss}. Outro fato muito importante é o atraso na vazão de pico, demonstrando assim a capacidade desta cobertura em frear o escoamento aumentando a fricção e reduzindo a capacidade erosiva.

Evento dia 18/12/15

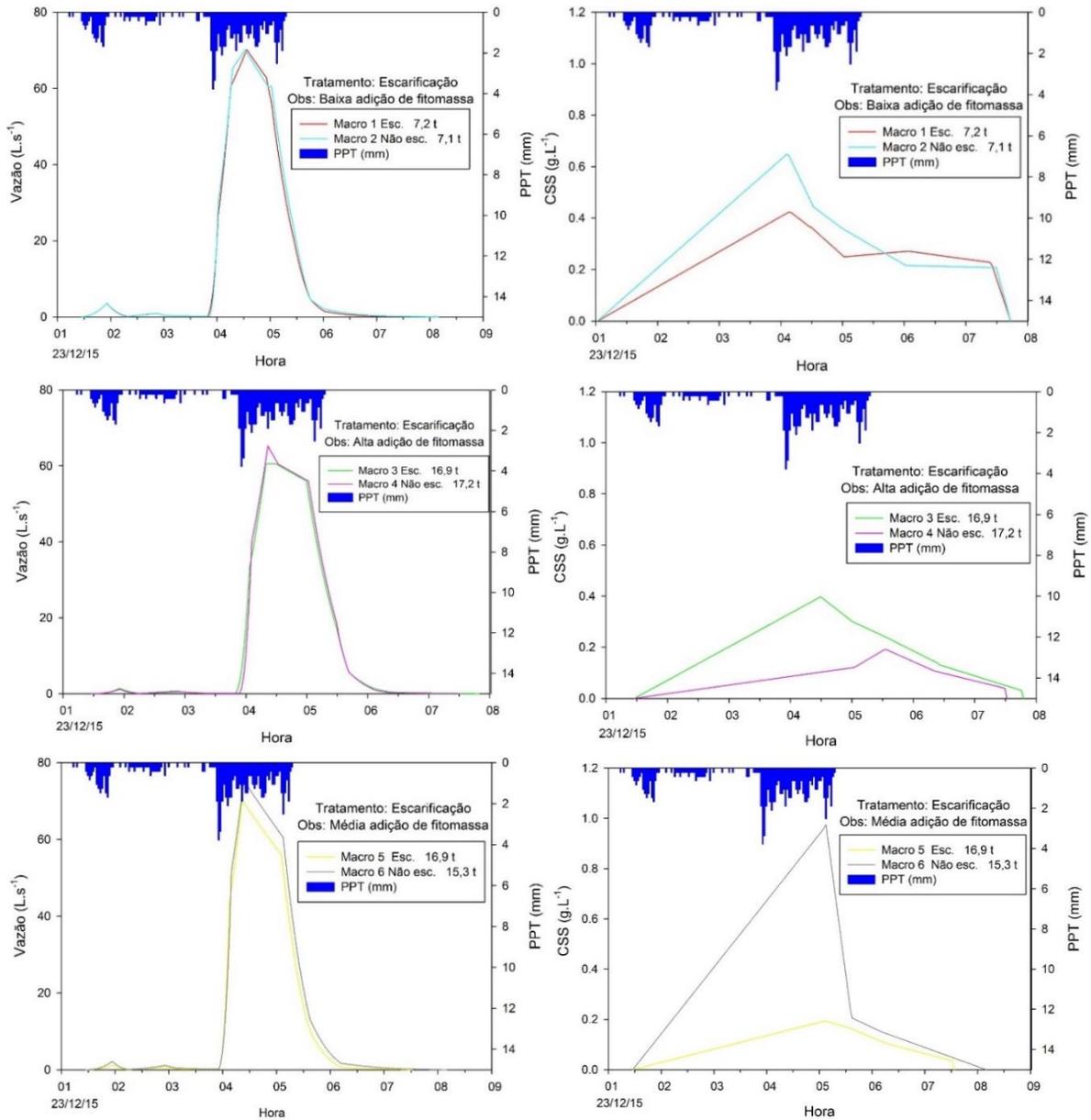
Figura 22 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 18/12/2015.



O evento do dia 18/12 foi um evento de média a baixa precipitação, com um pequeno pico mais intenso no início. Tivemos uma pequena quantidade de vazão e CSS nos tratamentos M1 e M2, nos quais a escarificação reduziu um pouco o efeito da vazão. Nas demais macro parcelas não houve escoamento superficial. A cultura da soja encontrava-se em estágio de emergência.

Evento 23/12/15

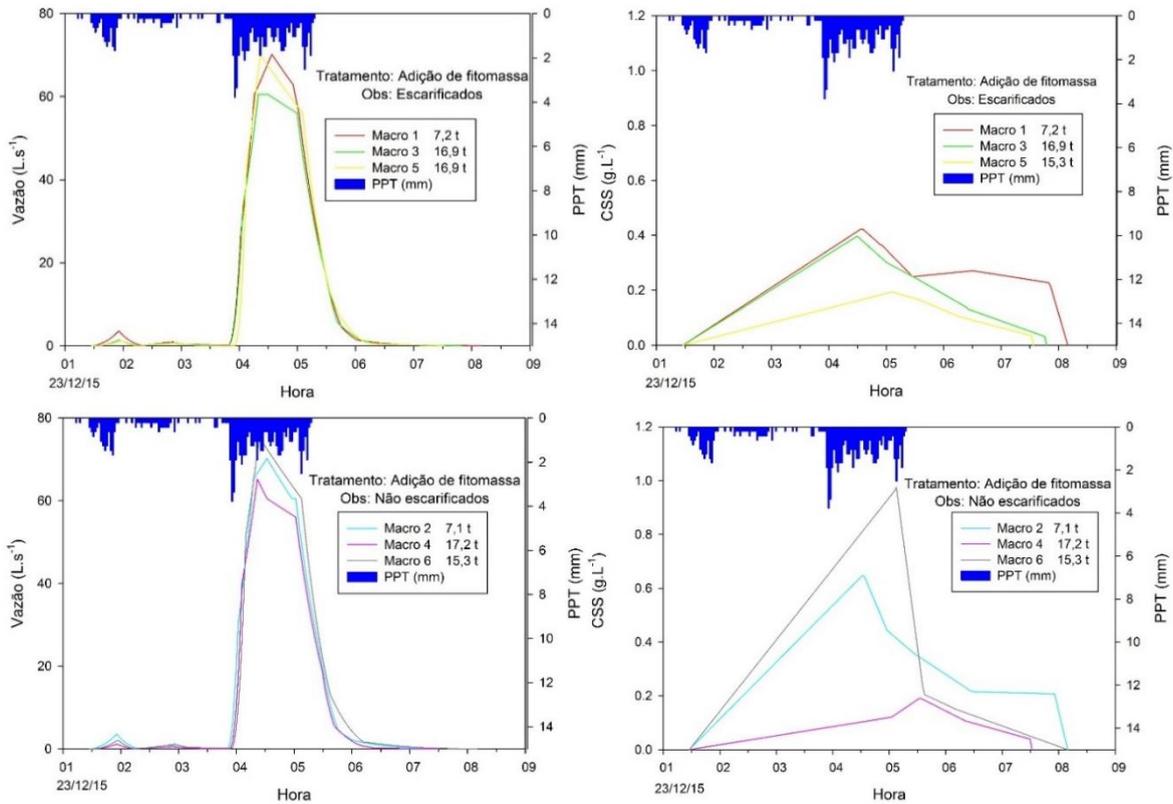
Figura 23 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 23/12/2015.



O evento do dia 23/12 foi um evento de grande magnitude, com altos picos de intensidade e longo período de duração e com uma alta umidade antecedente conforme podemos observar na Tabela 4. No quesito vazão não tivemos muita influência da escarificação. Ao analisarmos a C_{ss}, observamos que os tratamentos de baixa adição de fitomassa tiveram redução nas perdas em virtude do efeito escarificação, porém o mesmo não pode ser observado nas maiores adições de fitomassa (M3 e M4). Ressalvo a condição da parcela 6 que apesar de

não perder tanta água teve uma perda de solo considerável devido ao processo de exfiltração, o qual desagregou muito solo próximo ao canal.

Figura 24 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 23/12/2015.

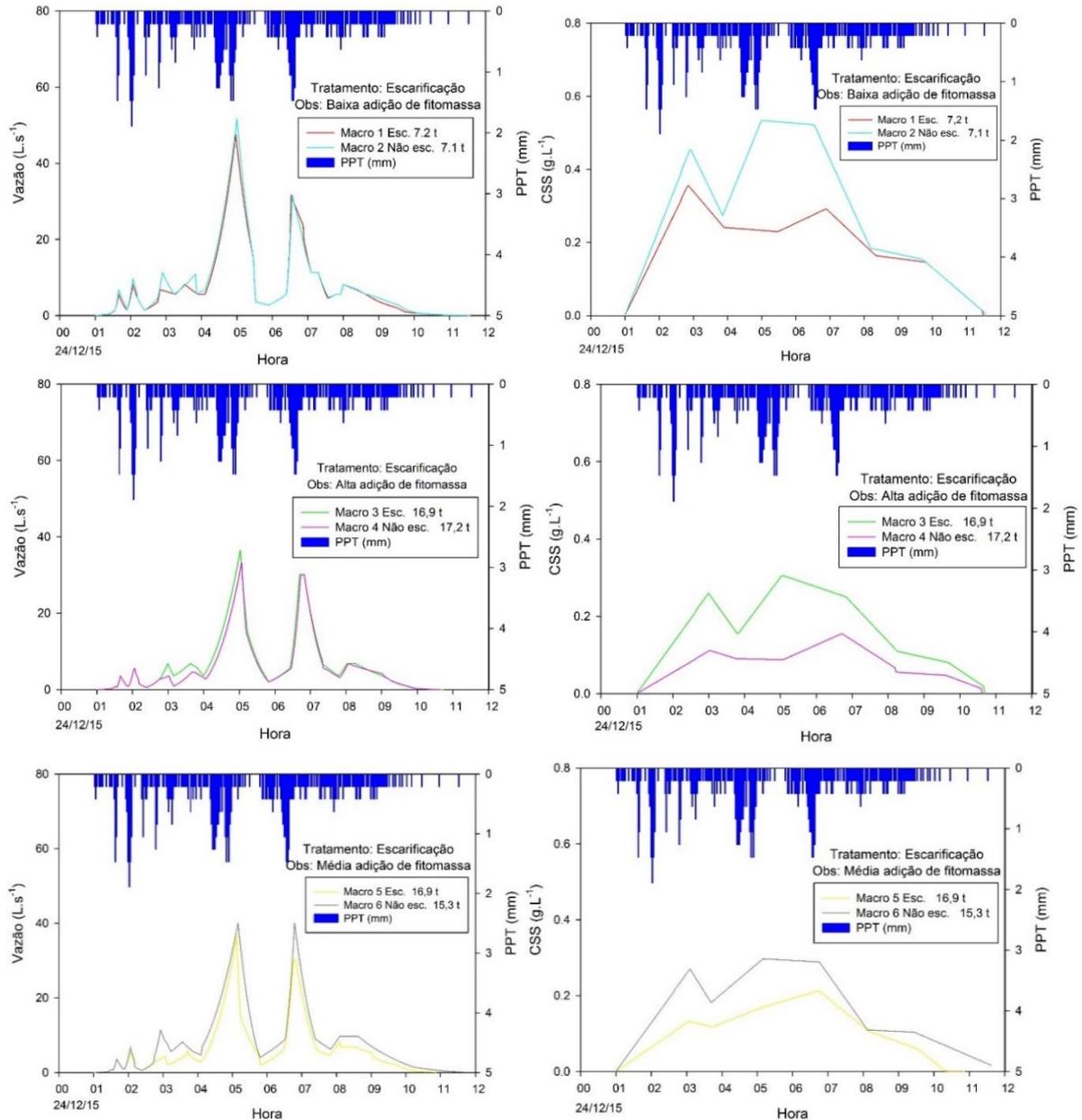


Analisando a influência da adição de fitomassa no evento do dia 23/12 observa-se redução nos valores de vazão entre os tratamentos com baixa adição de fitomassa (M1 e M2) em relação aos de alta adição de fitomassa (M3 e M4). O Mesmo pode ser observado para a C_{ss}.

A cultura da soja encontrava-se com o segundo trifólio formado, não oferecendo nenhuma proteção ao solo por parte da cultura.

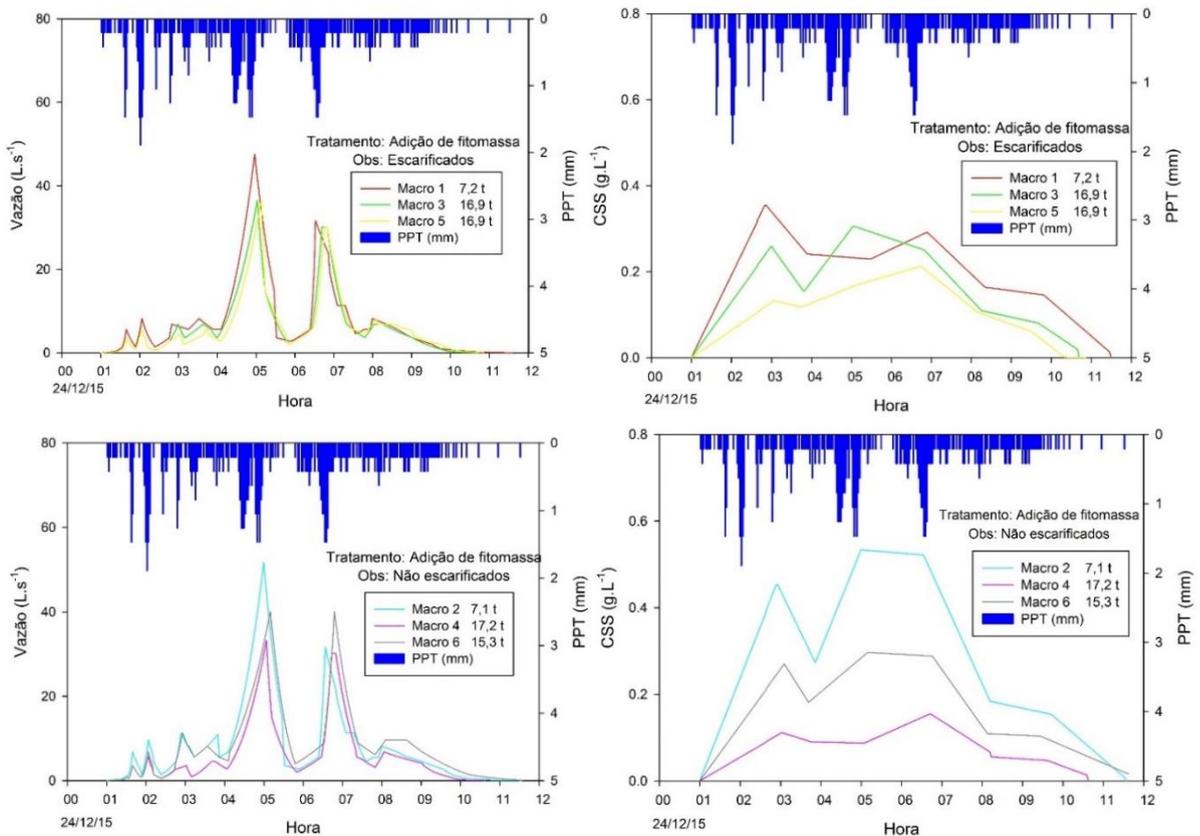
Evento dia 24/12/15

Figura 25 - Comparação do efeito da escarificação no evento do dia 24/12/2015.



O evento do dia 24/12 foi um evento de grande magnitude, com elevadíssima umidade antecedente (143 mm) e vários picos de intensidade, com vários picos de precipitação mais elevada durante o mesmo. Não podemos observar influência da escarificação, quanto à vazão, neste evento devido à condição de saturação do solo. No entanto, para CSS, novamente, para a condição de baixa adição de fitomassa, a escarificação foi mais eficiente no controle, enquanto que para a condição de alta adição de fitomassa o seu efeito foi menos eficiente, porém, menos pronunciado.

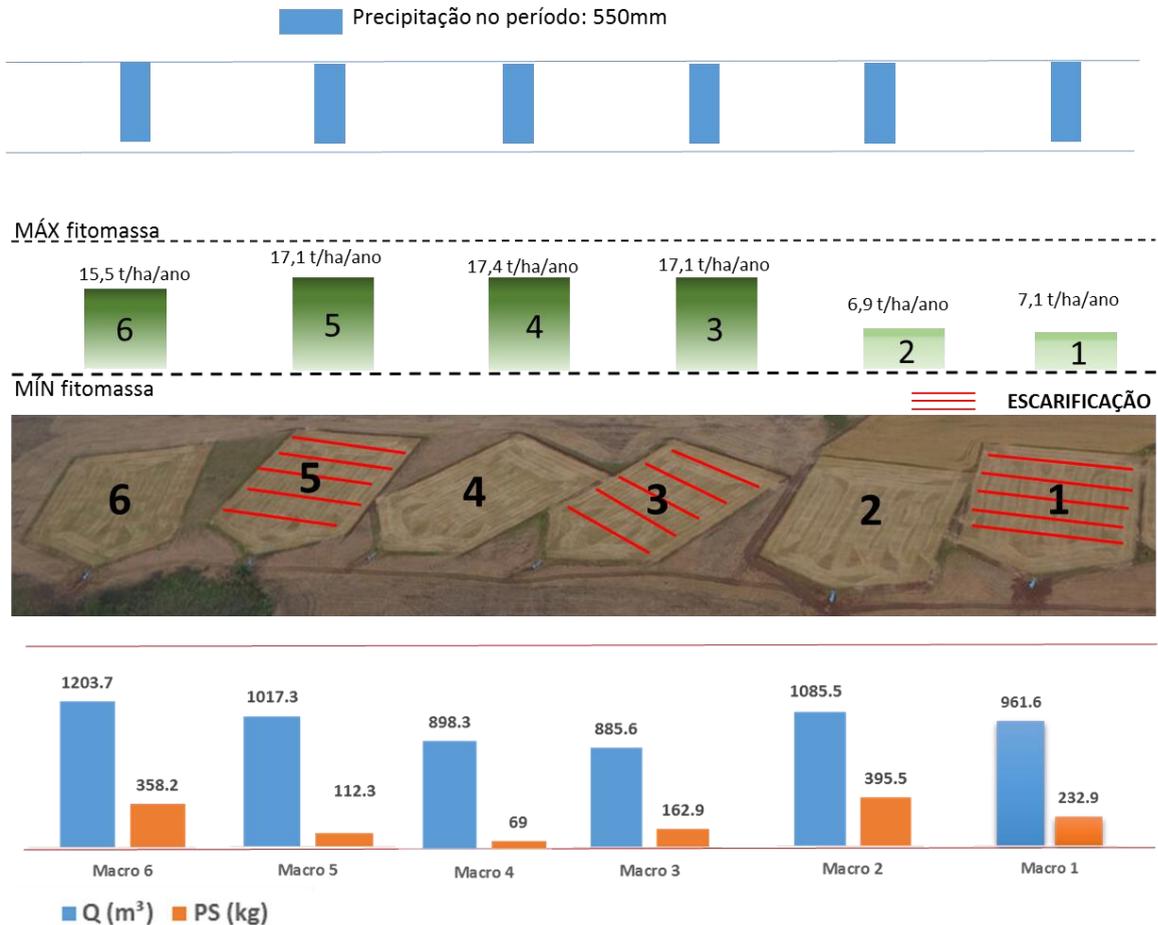
Figura 26 - Comparação do efeito da adição de fitomassa no evento do dia 24/12/2015.



Ao analisarmos a influência da adição de fitomassa no evento do dia 24/12 notamos claramente redução nas perdas de Q e C_{ss} nos tratamentos com maiores adições de fitomassa. Podemos observar que para a perda de água em casos de extrema saturação, a cobertura não tem influência tão evidente quanto nas perdas de solo. Lembrando que, no momento do evento, a cultura da soja encontrava-se no estágio de emergência, deixando o solo totalmente desprotegido pelo efeito planta. Observa-se neste evento o efeito da fitomassa no atraso da vazão de pico, freando o escoamento e reduzindo a capacidade erosiva do escoamento.

3.4 DISCUSSÃO

Figura 27 - Resumo dos eventos monitorados.



As 6 macroparcelsas compreendem uma escala agrícola pouco estudada pela conservação do solo. Podemos averiguar, pelos resultados, que estas encostas são muito responsivas em termos de perdas de água. Isso demonstra que mesmo em encostas com comprimento menor de 100 m e de forma retilínea não ocorre amortização do escoamento superficial ocasionado por chuvas em condições de alta umidade antecedente ou que excedem a capacidade de infiltração do solo.

Os eventos monitorados aconteceram no segundo semestre do ano, período em que há maior cobertura do solo por parte dos resíduos deixados pelas culturas antecedentes bem como pela cultura de inverno implantada. Os eventos monitorados demonstraram que as perdas de solo foram menores em situações de maior cobertura do solo por parte da cultura, como podemos observar no evento do dia 08/10/15, onde a cultivar de trigo estava no estágio de enchimento de grãos, apresentando um ótimo dossel vegetativo. Pelo volume de água perdida tínhamos energia suficiente para desagregação e transporte de sedimentos, porém as perdas de

Css foram baixas, o que não resultou em perdas expressivas. Estudo realizado por Duvert et al. (2010), mostra que incrementos com maiores coberturas reduzem a produção de sedimento em bacias agrícolas.

Para os eventos monitorados nos dias 23 e 24/12 a encosta encontrava-se em outra situação de cobertura do solo, onde a soja estava em estágio inicial de desenvolvimento. Apesar da rugosidade ocasionada pela linha de semeadura em nível, o solo encontrava-se em condição de saturação devido as chuvas sequenciais, acarretando com isso, perdas mais significativas que as dos eventos anteriores. A presença de alta adição de fitomassa não se mostrou tão eficaz em termos de perdas de água quanto em termos de perdas de solo. A fitomassa amortizou a energia cinética da chuva e do escoamento superficial dificultando a desagregação de partículas de solo. Segundo Londero (2015) períodos com baixa cobertura do solo associados a chuvas de alta intensidade geram elevadas perdas de água e sedimento. Podemos ressaltar que esse estudo foi realizado em bacias pareadas de ordem zero com presença de talvegue, sendo que os comportamentos das perdas de sedimento podem ser diferentes nesta escala de trabalho.

Nos tratamentos com rotações de culturas em que a adição de fitomassa anual foi de aproximadamente 15 t de fitomassa, comparados com os de baixa adição que alcançaram em torno de 6 t, sendo este o binômio soja-trigo mais praticado pelos produtores, porém menos eficaz no controle das perdas.

Analisando os resultados quantificados em eventos de chuva/vazão os tratamentos com maiores adições mostraram-se mais eficientes nas perdas de solo do que de água em eventos de grande a extrema magnitude. Já em eventos de baixa a média magnitude as maiores adições foram significativas tanto nas perdas de água quanto de solo. Cabe ressaltar a importância da rotação de culturas e do manejo adequado em períodos de entressafra para proteção de eventuais chuvas nestes períodos.

A outra prática de manejo utilizada nos tratamentos foi a escarificação, a qual tem sua finalidade em romper a camada compactada do solo, proveniente do tráfego excessivo, manejo com umidade inadequada além do adensamento natural. Os eventos monitorados compreendem o período entre 12º e o 18º mês após a escarificação. Nos tratamentos com baixa adição de fitomassa (M1 e M2), estávamos no 3º ciclo de culturas e nos demais tratamentos, no 4º ciclo de culturas. Drescher et al (2016), avaliaram o efeito residual de intervenções mecânicas para descompactação do solo manejado sob SPD, e concluíram que a escarificação apresenta potencial para melhorar a estrutura do solo até 30 meses após a prática. Apesar dos tratamentos terem sido avaliados dentro deste período com efeito residual da escarificação, não obtivemos resultados significativos deste efeito, analisando as perdas de água e solo.

Apesar das perdas de solo não serem significantes, podemos observar altas perdas no volume de água, que carregam resíduos de agroquímicos, contaminantes dos recursos naturais, além de macro e micronutrientes, causando eutrofização das águas, sendo assim necessárias práticas para controlar o escoamento superficial em áreas de lavoura (Pfister, et al 2011).

Trabalho realizado em bacia agrícola com intensa produção de grãos no planalto do RS, demonstrou que a dinâmica hidrológica das encostas agrícolas sobre SPD, está diretamente relacionada com a erosão naquela escala de estudo (Didoné et al, 2014). Em estudo realizado em bacias de ordem zero com binômio soja-trigo, com a adoção da pratica de manejo de gleba com terraceamento reduziu em 90 % as perdas de agua (Londero,2015).

Apesar de poucos estudos nessa escala de trabalho, o SPD demonstra-se mais em termos de perdas de agua e sedimento, comparado com o sistema Convencional que chegava a perder 15 t ha⁻¹ (Junior et al 2012; Merten et al 2015). Segundo Thierfelder; Wall (2009), o uso da agricultura conservacionista com minimo revolvimento do solo com permanencia de residuos de cobertura e rotação de cultura são eficientes na infiltração, retenção e disponibilidade de agua no solo associado a redução do escoamento e perda de agua em relação ao sistema convencional.

Kurote (2014), em 11 anos de trabalho desenvolvido na Índia, fez uso de três técnicas para reduzir as perdas de solo, aplicando três tipos de cultivos: I- cultivo mínimo com camalhão, II- não revolvimento do solo, III- plantio sobre restos culturais, onde observou uma redução no escoamento de 69.4, 16.2 e 59.6 respectivamente, quando comparado ao sistema convencional.

Podemos considerar que o período de monitoramento hidrossedimentológico compreendeu o segundo semestre do ano, apesar de ser curto o período de monitoramento, observamos eventos de diferentes magnitudes pluviométricas sobre diferentes coberturas vegetais, contudo, nos forneceu um bom indicativo sobre a importância dos uso e manejo adequado.

Neste estudo a adição de fitomassa mostrou-se mais eficaz do que a escarificação no controle do escoamento, recomendando-se assim maiores adições de fitomassa, rotação de culturas e cultivo em nível. Além disso, pode-se recomendar práticas mecânicas como o terraceamento, pois em eventos de grande à extrema magnitude, apenas a adição de fitomassa não foi eficaz na perda de água. Apesar de serem eventos com alto tempo de recorrência, são estes que possuem um grande potencial erosivo e degradação do solo.

A continuação do monitoramento nesta escala é de suma importância para a compreensão e entendimento dos processos envolvidos, devido ao pouco estudo realizado nesta escala de trabalho.

3.5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos em um ano de monitoramento e considerando as condições locais em que foi realizado o experimento, pode-se concluir que:

A simplificação das práticas de manejo, resumida ao plantio direto, não é suficiente para controlar o escoamento superficial e os processos associados.

O monitoramento de macroparcelas de 70x80m com declividade média de 9% com curvatura plana à convexa apresenta eficiente na avaliação da resposta hidrológica em áreas sob SPD.

Tanto a escarificação como o incremento na adição de fitomassa reduziu as variáveis: vazão máxima, produção de sedimentos, em eventos de pequena a média magnitude.

O incremento de fitomassa apresentou maior eficiência no controle das variáveis hidrológicas e erosivas em comparação com à escarificação, demonstrando que em condições de boa cobertura vegetal mesmo em eventos de alta magnitude as perdas de solo foram baixas, mostrando a eficiência da cobertura do dossel deixada pela cultura implantada em amenizar a energia da gota da chuva.

O controle das variáveis avaliadas mostrou-se mais evidente nos eventos de média e pequena magnitudes, o que pode indicar a necessidade de práticas mecânicas de controle de escoamento associada com a adição da fitomassa.

A forma dos hidrogramas demonstra uma condição de superfície, caracterizado por uma rápida resposta no escoamento superficial, indicando uma baixa capacidade de retenção e amortização do escoamento superficial pelo manejo agrícola atualmente utilizado, sendo que o que diferencia é a magnitude dos hidrogramas devido ao manejo adotado.

3.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Didoné EJ, Minella JPG, Reichert JM, et al (2014) Impact of no-tillage agricultural systems on sediment yield in two large catchments in Southern Brazil. *J Soils Sediments* 14:1287–1297. doi: 10.1007/s11368-013-0844-6

Drescher, M. S. et al. Fev. 2016. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.2, p.159-168,.

EMBRAPA. Ciclagem da Matéria Orgânica em Sistemas Agrícolas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 27 p. (Documentos, 125).

FEBRAPDP -Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br>> Acesso em: 20 Maio 2016.

JUNIOR, R. C., ARAÚJO, A. G. de, LLANILLO, R. F. 2012 Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista. Londrina: IAPAR 77 p.

KUROTHE, R. S. et al. 2014 Effect of tillage and cropping systems on runoff, soil loss and crop yields under semiarid rainfed agriculture in India. *Soil and Tillage Research*, v. 140, p. 126–134.

Londero. A. L. 2015 Perdas De Água E Sedimento De Bacias Pareadas De Ordem Zero Sob Plantio Direto Com E Sem Terraço; Dissertação de Mestrado, 157f; Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, UFSM.

Merten GH, Araújo AG, Biscaia RCM, et al (2015) No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. *Soil Tillage Res* 152:85–93. doi: 10.1016/j.still.2015.03.014

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

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

SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. 2005 Quality-Assurance Plan for the Analysis of Fluvial Sediment by the U. S. Geological Survey Kentucky Water Science Center Sediment Laboratory. [s.l: s.n.].

Silva RL, Maria IC De (2011) Erosão em sistema plantio direto : Influência do comprimento de rampa e da direção de semeadura 1 Erosion in no-tillage system : Influence of ramp length and seeding direction. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient* 15:554–561. doi: 10.1590/S1415-43662011000600003.

THIERFELDER, C.; WALL, P. C. 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, v. 105, n. 2, p. 217–227,

ANEXOS

ANEXO A – FOTOS DO EVENTO DO DIA 08/10/2015.



ANEXO B – FOTOS DO EVENTO DO DIA 23 E 24/12/2015



ANEXO C – FOTOS DAS OPERAÇÕES REALIZADAS NO EXPERIMENTO.



ANEXO D – FOTOS DAS CULTURAS IMPLANTADAS.

