

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**RESTAURAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO POR SEQÜÊNCIAS CULTURAIS E
SUA RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA**

Jeane Cruz Portela
(Tese de Doutorado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**RESTAURAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO POR SEQÜÊNCIAS CULTURAIS E
SUA RELAÇÃO COM A EROSÃO HÍDRICA**

JEANE CRUZ PORTELA
Engenheiro Agrônomo (EA/UFBA)
M.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP)

Tese apresentada como um
dos requisitos à obtenção do grau de
Doutora em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
31 de Março de 2009

Aos meus amores:

meus pais, Jacira Cruz Portela e José Alexandre Portela,

irmãos, Jaciara (Sissa), Jacia (Dinda), Marcelo (Dindo), Jacy (Acizinha), Jamile (Mimil) e Jadie,

e sobrinhos,

Lucas, Alexandre, Alisson, Mariana, Marina, Iasmin e João Pedro,

pelo nosso amor e pelo presente de Deus por cada um de vocês fazer parte da minha família consangüínea e espiritual, mostrando que o amor deve ser irrestrito e incondicional, e tendo a certeza de que o longe é um lugar que não existe, porque a lembrança de cada um de vocês sempre estará viva em mim.

Dedico

*Anda, quero te dizer nenhum segredo
Falo nesse chão da nossa casa
Vem que tá na hora de arrumar
Tempo, quero viver mais duzentos anos
Quero não ferir meu semelhante
Nem por isso quero me ferir
Vamos precisar de todo mundo
Pra banir do mundo a opressão
Para construir a vida nova
Vamos precisar de muito amor*

*A felicidade mora ao lado
E quem não é tolo pode ver
A paz na Terra, amor
O pé na terra
A paz na Terra, amor
O sal da Terra
És o mais bonito dos planetas
Tão te maltratando por dinheiro
Tu que és a nave nossa irmã
Canta, leva tua vida em harmonia
E nos alimenta com teus frutos
Tu que és do homem a maçã*

*Vamos precisar de todo mundo
Um mais um é sempre mais que dois
Pra melhor juntar as nossas forças
É só repartir melhor o pão
Recriar o paraíso agora
Para merecer quem vem depois
Deixa nascer o amor
Deixa fluir o amor
Deixa crescer o amor
Deixa viver o amor
(O sal da terra)*

Beto Guedes e Ronaldo Bastos

"Todo problema é um convite da vida, em nome de Deus, para que venhamos a compreender mais amplamente, melhorar sempre e servir mais".

Emmanuel

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida.

Ao professor Neroli Pedro Cogo, meu orientador, pelos ensinamentos transmitidos e pela presença firme e constante em todas as etapas do Curso e deste trabalho, de forma humana e encorajadora.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao seu Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

Aos professores do PPGCS e do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DS/FA/UFRGS), pela receptividade e pelo aprendizado.

À Equipe de Erosão e Conservação do Solo sob a orientação do Prof. Neroli Pedro Cogo, Leandro Bochi da Silva Volk, Gustavo Portz, Verônica Maria dos Santos (*in memoriam*), Vitor Hoppe Oderich, Juliana Prado Chagas, André Júlio do Amaral, Luciléia Gilles, Tatiane Bagatini, Leonardo Ranft Becker, Henrique Thomas Queiroz, Silmara da Luz Correia e Elias Davi Kuck, pela valiosa colaboração nos trabalhos de campo e laboratório, sem a qual este trabalho não teria sido realizado.

À Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), na pessoa do seu ex-diretor, professor Carlos Ricardo Trein, pela infra-estrutura disponibilizada e pelo apoio pessoal.

Ao professor Elemar Antonino Cassol, do DS/FA/UFRGS, e ao Dr. Luciano da Silva Souza, pesquisador do CNPMF/EMBRAPA, Cruz das Almas, BA, pelas valiosas contribuições e pelo apoio.

Aos funcionários da EEA/UFRGS, Ozébio (Bode), Paulo Lima, Celso e Ronaldo, do Laboratório de Química, Adão e Antonio (Tonho) e da Casa de Vegetação do Departamento de Solos da UFRGS, por estarem sempre presentes e dispostos à ajuda.

Aos funcionários administrativos do Departamento de Solos, Paulo Ricardo e Denise, e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Jader Amaro Ribeiro, da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela competência, dedicação e amizade.

À amiga e irmã de coração, Verônica Maria dos Santos (*in memoriam*), por ter me ensinado tantas coisas em tão pouco tempo de convivência; usarei a sua história de vida para sempre.

Aos Drs. Fernando Luis Dultra Cintra e Joézio Luís Anjos,

pesquisadores do CPATC/EMBRAPA, Aracaju, SE, pelo incentivo à realização do Curso e pela amizade e presença sempre constantes.

Às amigas Lucietta Guerreiro Martorano, Fátima Teresinha Santos e Sylvia Elaine Marques de Farias, por estarem sempre presentes, de alguma forma ajudando.

Aos amigos do PPGCS/UFRGS, principalmente aqueles com quem convivi mais diretamente, Carla Cepik, Professor Élvio Giasson, Henrique Debiasi, Osmar Conte, Luis de França, André Julio do Amaral, Letícia Sequinato, Flávio Pereira de Oliveira, Juliana Prado Chagas, Michely Tomazi, Fabíola Lopes, Analu Mantovani, Carlos Roja, Benjamin Dias Osório, Tatiane Bagatini, Gustavo Portz, Jean Boukouna, Graziane Boakowicz, Jônatan Müller, Alexandra Minossi, Michael Mazurana, Henrique Thomas Queiroz, Silmara da Luz Correia, Leonardo Becker, Sidinei Leandro, Christina Venzke, Daniela Barbosa, Veridiana Bizarro, Ândrea Machado Pereira Franco, Tatiane Finato, Regilene Angélica da Silva Souza e Rosane Martinazzo, pela amizade e pelo carinho.

À família da nossa querida Petrópolis, Aline Oliveira, Sidinei Leandro Klockner Stürmer, Fábio Freire de Oliveira, Gabriel de Franceschi, Genuir Luis Denega, Franciele Beck, Letícia Sequinato, Prof. Élvio Giasson, Sophie Giasson e Ian Giasson, que tanto alegraram a minha estada em Porto Alegre.

Aos meus amados pais, irmão, sobrinhos, tios e primos, pelo nosso amor, por estarem sempre presentes e por compreenderem a minha ausência física.

RESTAURAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO POR SEQÜÊNCIAS CULTURAIS E SUA RELAÇÃO COM A EROÇÃO HÍDRICA ^{1/}

Autora: Jeane Cruz Portela
Orientador: Neroli Pedro Cogo

RESUMO

A erosão acelerada constitui a forma mais extensiva e preocupante de degradação do solo. Por este processo, o solo pode ser removido do seu local original em quantidades grandes em um espaço de tempo infinitesimalmente pequeno, comparado ao tempo necessário para sua reposição pelos meios naturais. Com isto em mente, realizou-se este trabalho de pesquisa com o objetivo de restaurar a estrutura de um solo degradado e, mais tarde, verificar sua relação com a erosão hídrica pluvial. O estudo foi desenvolvido na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, de maio de 2004 a dezembro de 2007, utilizando-se chuva artificial e um Argissolo Vermelho Distrófico típico com $0,115 \text{ m m}^{-1}$ de declividade média. Os tratamentos consistiram de seqüências culturais formadas por espécies de gramínea e leguminosa de outono-inverno e de primavera-verão, cultivadas nas formas isolada e consorciada, pelo método de semeadura direta, as quais, após 3,5 anos de vigência, foram testadas contra a erosão hídrica pluvial nas seguintes condições físicas instantâneas da superfície do solo: solo não-mobilizado e recém-mobilizado, presença e ausência de crosta e nenhuma, pouca e completa cobertura por resíduos culturais. As chuvas foram aplicadas com o aparelho simulador de braços rotativos, na intensidade constante de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ e com duração de 1 a 3 horas cada uma. Avaliaram-se parâmetros de planta, solo e erosão, os quais foram analisados de forma individual e inter-relacionada, usando-se análise estatística da variância e de regressão. Observou-se que ao redor de 50% das situações examinadas resultaram estatisticamente significativas e 50% não-significativas, com as respostas em cada uma delas, entretanto, tendo ocorrido dentro e fora do esperado. Assim, ocasionalmente as seqüências culturais se diferenciaram estatisticamente em relação tanto às produções de biomassa aérea e biomassa subterrânea quanto aos valores das variáveis de manejo do solo e erosão hídrica medidas em cada uma delas, mas sem regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias, tanto nas épocas de avaliação e camadas de solo, quanto nos testes de erosão, com as variáveis de erosão hídrica tendo sido bem mais afetadas por estes últimos do que pelas seqüências culturais. Mesmo assim, foi possível verificar que a seqüência cultural com teosinto, seguida das com milho+feijão miúdo e milheto, em geral foram as que melhor restauraram a estrutura do solo e mais reduziram a erosão, embora todas as seqüências culturais tivessem sido hábeis e relativamente rápidas na recomposição do solo. Também em geral, mostraram-se indicadores promissores de qualidade do solo para fins de infiltração de água e redução da erosão hídrica a quantidade de raízes, a macroporosidade do solo, o diâmetro médio ponderado de agregados do solo em água e a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo $>0,5 \text{ mm}$.

^{1/}Tese de Doutorado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (188p.) – Março, 2009.

RESTORATION OF THE SOIL STRUCTURE BY MEANS OF CROP SEQUENCES AND ITS RELATION WITH WATER EROSION^{1/}

Author: Jeane Cruz Portela
Adviser: Neroli Pedro Cogo

ABSTRACT

The man-induced or accelerated erosion constitutes the most extensive and worrying form of soil degradation. By this process, the soil can be removed from its original place in amounts really large in a period of time infinitesimally small, compared to the time needed for its reposition by natural means. With that in mind, this research work was accomplished with the objective of restoring the structure of a degraded soil and, later, verifying its relation with rainfall erosion. The study was developed at the EEA/UFRGS, in Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul State, Brazil, from May, 2004 to December, 2007, using artificial rain and a sandy clay loam Ultisol with 0.115 m m⁻¹ average slope steepness. Treatments consisted of no-till planted, grass and legume, Fall-Winter and Spring-Summer seasoned crop sequences, singly and intermixed cropped, which, after 3.5 years of being established, were tested against rainfall erosion in the following, instantaneous physical conditions of the soil surface: non-mobilized and freshly-mobilized soil, presence and absence of crust, and none, small, and full coverage by crop residues. Rains were applied with the rotating-boom rainfall simulator, at 64.0 mm h⁻¹ constant, rainfall intensity and with 1 to 3 hours duration each. Plant, soil, and erosion parameters were evaluated and both individually and in the inter-related form analyzed, using variance and regression statistical analysis. It was observed that about 50% of the examined situations turned out statistically significant and 50% non-significant, with the responses in each one of them, however, having occurred within and way off the expected behavior. Therefore, occasionally statistical differences between crop sequences were found in relation to both production of aboveground and underground biomass and values of the soil management and water erosion variables measured in each one of them, but, without regularity with respect to the order of the occurrence of significances, either in the evaluation dates and soil layers or in the erosion tests, with the water erosion variables being affected much more by these latter than by the crop sequences. Nevertheless, it was possible to verify that the crop sequence with teosinte, followed by the ones with corn+cowpea and pearl millet, were in general the ones that better restored the soil structure and more reduced erosion, even though all the crop sequences were able and relatively fast in recomposing the soil. In addition, the amount of underground biomass or plant roots, the soil macroporosity, the mean weight diameter of water-stable soil aggregates, and the percentage of stability in water of the soil aggregates larger than 0.5 mm, showed to be generally promising soil quality indicators for the purposes of water infiltration and rainfall erosion reduction.

^{1/}Doctorate thesis in Soil Science, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (188p.) – March, 2009.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Processos básicos e formas dominantes de erosão hídrica pluvial do solo.....	4
2.2. Fatores principais que afetam a erosão hídrica pluvial do solo.....	7
2.3. Degradação e recuperação do solo – ênfase nos aspectos físicos	17
2.4. Qualidade do solo - definições e envolvimentos no seu estudo.....	26
2.5. Qualidade física do solo para fins de controle da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado.....	29
2.6. Condições físicas de superfície e subsuperfície do solo e sua relação com a erosão hídrica pluvial e com o escoamento superficial a ela associado – aspectos conceituais e fundamentos envolvidos com vistas aos propósitos da presente pesquisa	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1. Local, data e solo de realização da pesquisa.....	38
3.2. Natureza e condições de desenvolvimento da pesquisa, aparelhos e equipamentos principais utilizados e unidades e planejamento experimentais empregados na sua execução	39
3.3. Histórico da área experimental onde foi instalado o experimento da pesquisa.....	42
3.4. Adequação do solo na área experimental para implantação dos tratamentos da pesquisa	44
3.5. Tratamentos da pesquisa e sua operacionalização	45
3.6. Testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa e sua operacionalização	51
3.7. Amostragens e determinações.....	55
3.7.1. Variáveis de manejo do solo	55
3.7.1.1. Biomassa vegetal aérea (dossel).....	55
3.7.1.2. Percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais	55
3.7.1.3. Biomassa vegetal subterrânea (raízes)	56
3.7.1.4. Teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo	57
3.7.1.5. Teor de glomalina no solo.....	57
3.7.1.6. Evolução de CO ₂ do solo	58
3.7.1.7. Diâmetro médio ponderado (DMP) e percentagens de agregação e estabilidade de agregados do solo	59
3.7.1.8. Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo.....	61
3.7.1.9. Resistência do solo à penetração mecânica.....	61
3.7.1.10. Rugosidade superficial do solo induzida pelo preparo.....	62
3.7.1.11. Teor de água no solo	63
3.7.2. Variáveis de erosão hídrica do solo	65
3.7.2.1. Tempo de início da enxurrada e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu.....	65
3.7.2.2. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada	65
3.7.2.3. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada	65

3.7.2.4.	Taxas instantâneas de perda de solo	66
3.7.2.5.	Velocidade da enxurrada	66
3.7.2.6.	Índice (D_{50}) da distribuição de tamanho das partículas erodidas em transporte na enxurrada	67
3.7.2.7.	Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas ..	68
3.7.2.8.	Perda total de água.....	69
3.7.2.9.	Perda total de solo	69
3.8.	Ajuste de dados	69
3.9.	Análise estatística e interpretação dos resultados	70
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.1.	Considerações iniciais.....	72
4.2.	Variáveis de manejo do solo	74
4.2.1.	Análise básica dos resultados.....	74
4.2.1.1.	Biomassas vegetais aérea e subterrânea de algumas culturas integrantes dos tratamentos da pesquisa.....	74
4.2.1.2.	Teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo	80
4.2.1.3.	Teor de glomalina no solo.....	82
4.2.1.4.	Evolução acumulada de CO_2 do solo	84
4.2.1.5.	Diâmetro médio ponderado (DMP) e percentagens de agregação e estabilidade de agregados do solo em água.....	85
4.2.1.6.	Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo.....	90
4.2.1.7.	Resistência do solo à penetração mecânica.....	94
4.2.1.8.	Índice de rugosidade superficial do solo	99
4.2.2.	Análise das inter-relações dos resultados	101
4.2.3.	Análise sumarizada global dos resultados	114
4.3.	Variáveis de erosão hídrica do solo	117
4.3.1.	Análise básica dos resultados.....	117
4.3.1.1.	Declividade do solo nas parcelas experimentais e datas de aplicação, intensidade e duração das chuvas simuladas usadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa	117
4.3.1.2.	Teor de água no solo antecedente à aplicação das chuvas simuladas usadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa.....	119
4.3.1.3.	Hidrogramas da enxurrada, sedimentogramas e gráficos da distribuição temporal das taxas de perda de solo	121
4.3.1.4.	Tempo de início da enxurrada e correspondente lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu	132
4.3.1.5.	Valores máximos médios (constantes, com tendência a constantes e não-constantes) de taxa de descarga d_{134a} enxurrada, concentração de sedimento na enxurrada e taxa de perda de solo	134
4.3.1.6.	Valores do índice (D_{50}) da distribuição de tamanho das partículas erodidas em transporte na enxurrada	137
4.3.1.7.	Perdas totais observadas de água e solo	139

4.3.1.8. Perdas totais ajustadas de água e solo	145
4.3.2. Análise das inter-relações dos resultados	149
4.3.3. Análise sumarizada global dos resultados.....	175
5. CONCLUSÕES	177
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Composição granulométrica, teor de matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo utilizado na pesquisa, em duas de suas camadas, avaliados em fevereiro de 1995, na sua condição original de campo nativo, conforme Badelucci (1997) e Cassol et al. (1999).....	39
2. Teor de matéria orgânica e valores de algumas características físicas do solo original da área experimental (condição de campo nativo), avaliados em fevereiro de 1995, e do mesmo solo, porém alterado (degradado por ação antrópica, correspondendo ao início da pesquisa), avaliados em abril de 2004.....	44
3. Disposição espacial e temporal das seqüências culturais usadas na pesquisa (tratamentos principais estudados), implantadas pelo método de semeadura direta ou sem preparo do solo.....	46
4. Biomassas aérea (dossel) e subterrânea (raízes) em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	75
5. Teores de matéria orgânica e carbono orgânico em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos de seqüência cultural estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	81
6. Teor de glomalina em diferentes datas e camadas de solo próximo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	83
7. Evolução acumulada de CO ₂ (30 dias) na camada de solo de 0 a 5 em duas datas ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados valores médios de duas repetições por tratamento).....	85
8. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	87
9. Diâmetro médio ponderado de agregados do solo a úmido (DMPu) e a seco (DMPs), razão DMPu/DMPs e percentagens de agregação e estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm em duas datas e camadas de solo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)	88
10. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em duas datas e diferentes camadas de solo no último ano de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	92

11. Resistência do solo à penetração mecânica medida por dois equipamentos em duas datas e diferentes profundidades/camadas de solo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	97
12. Rugosidade superficial do solo avaliada por dois procedimentos em diferentes datas ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	100
13. Declividade do solo nas parcelas experimentais e datas de aplicação, duração e intensidade das chuvas simuladas utilizadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição).....	118
14. Teor de água no solo em duas de suas camadas, antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento).....	120
15. Tempo de início da enxurrada (Ti) e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu (LAPE), nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento).....	133
16. Valores máximos médios (constantes no Teste 2 e tendendo a constantes e não-constantes nos Testes 1, 3, 4, 5 e 6) de taxa de descarga da enxurrada (TDE), concentração de sedimento na enxurrada (CSE) e taxa de perda de solo (TPS), nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento).....	135
17. Valores do índice (D ₅₀) da distribuição de tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada, avaliados próximo ao final das chuvas, estando ou não a enxurrada na sua condição de equilíbrio, nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição e valores médios)	138
18. Perdas totais observadas de água e solo nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição e valores médios).....	141
19. Perdas totais ajustadas (intensidade da chuva de 64 mm h ⁻¹ , duração da chuva de 90 min e declividade do solo de 0,115 m m ⁻¹) de água e solo nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento).....	147

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Vista geral da área experimental em dada época do período de experimentação, evidenciando culturas de verão no estágio de desenvolvimento vegetativo dispostas nos pares de unidades experimentais ou parcelas de erosão, ao mesmo tempo em que vendo-se o açude que serviu de fonte de água para abastecer o aparelho simulador de chuva utilizado no estudo.....	40
2. Aparelho simulador de chuva utilizado no estudo (de braços rotativos ou modelo Swanson), simultaneamente operando sobre um par de unidades experimentais ou parcelas de erosão.....	41
3. Vista da superfície do solo nas parcelas experimentais logo após a construção da condição básica de estudo em cada testes de erosão com chuva simulada (T1 a T6), porém, antes de sua realização (obs: a superfície de solo escarificada e com 0% de cobertura superficial – cs - não recebeu chuva simulada, constando nesta figura apenas para fins de ilustração).....	54
4a. Resistência do solo à penetração mecânica (0 a 60 cm, medida com penetrógrafo) na sua condição de solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta superficial rompida, 18% de cobertura por resíduo cultural e umidade gravimétrica de 0,150 kg kg ⁻¹ na camada de 0-10 cm e de 0,149 kg kg ⁻¹ na de 10-20 cm (condição de realização do segundo teste - T2 - de erosão com chuva simulada), nas seqüências culturais estudadas (valores médios de duas repetições por tratamento).....	95
4b. Resistência do solo à penetração mecânica (0 a 60 cm, medida com penetrógrafo) na sua condição de solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta superficial recente, 18% de cobertura por resíduo cultural e umidade gravimétrica de 0,109 kg kg ⁻¹ na camada de 0-10 cm e de 0,127 kg kg ⁻¹ na camada de 10-20 cm (condição de realização do terceiro teste - T3 - de erosão com chuva simulada), nas seqüências culturais estudadas (valores médios de duas repetições por tratamento)	95
5. Inter-relações variáveis de manejo do solo-variáveis de manejo do solo efetuadas com os valores obtidos da camada de solo 0-10 cm, independentemente das seqüências culturais estudadas (obs. 1: exceto as relações das sub-figuras 1, 2 e 5, correspondentes às datas de 21/03/06, 13/02/07 e 09/10/07, em que a amostragem do solo foi feita com o solo portando plantas em crescimento - raízes vivas -, as demais são todas para o caso em que as plantas já haviam sido dessecadas - raízes mortas - e seus resíduos culturais removidos da superfície do solo; obs. 2: as convenções usadas nas várias partes desta figura têm o seguinte significado: MO=matéria orgânica, CO=carbono orgânico, DMP=diâmetro médio ponderado de agregados, u=úmido, s=seco, IRg=índice de rugosidade superficial do solo georeferenciado, IRs=índice de rugosidade superficial do solo baseado no desvio padrão das leituras e IC=índice de cone)	105

6. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no primeiro (T1=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% coberto - figuras a a e, à esquerda) e no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos)..... 123
7. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto - figuras a a e, à esquerda) e no quarto (T4=solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% coberto - figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos)..... 124
8. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição – Rep 1 e Rep 2 - dos tratamentos)..... 125
9. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos)..... 127
10. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos)..... 128

11. Taxas instantâneas de perda de solo (TPS) no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição – Rep 1 e Rep 2 - dos tratamentos)..... 130
12. Taxas instantâneas de perda de solo (TPS) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos)..... 131
13. Apresentação gráfica dos tempos de início da enxurrada (Ti), das lâminas de água retidas no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) e dos valores máximos médios observados de taxas de descarga da enxurrada (TDE), concentrações de sedimento na enxurrada (CSE) e taxas de perda de solo (TPS) nos testes de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, crosta natural, 100% coberto; T2=solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% coberto; T3=solo não-mobilizado, crosta recente, 18% coberto; T4=solo recém-escarificado, 100% coberto; T5=solo previamente escarificado – em T4 -, 18% coberto, T6=solo recém-gradeado – após T5 -, descoberto), nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento)..... 136
14. Apresentação gráfica das perdas totais observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nos testes de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, crosta natural, 100% coberto; T2=solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% coberto; T3=solo não-mobilizado, crosta recente 18% coberto; T4=solo recém-escarificado, 100% coberto; T5=solo previamente escarificado – em T4 -, 18% coberto; T6=solo recém-gradeado – após T5 -, 0% coberto), nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca; Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento)..... 142
15. Apresentação gráfica das perdas totais gerais (no somatório dos testes de chuva) observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nas seqüências

	culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca; Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento).....	143
16.	Apresentação gráfica das perdas médias gerais (sobre as seqüências culturais) observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nos testes de erosão com chuva simulada realizados na pesquisa (obs.: cs=cobertura superficial do solo) (valores médios de duas repetições por tratamento).....	144
17.	Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada do 0-10 cm) associadas ao primeiro teste de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs.:Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo).....	153
18.	Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao segundo teste de erosão com chuva simulada (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs.:Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; RP=resistência do solo à penetração mecânica).....	156
19.	Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao terceiro teste de erosão com chuva simulada (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs.:Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; RP=resistência do solo à penetração mecânica)..	161
20.	Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao quarto teste de erosão com chuva simulada (T4=solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs.: Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; IRg=índice de rugosidade georeferenciado).....	166

21. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidas da sua camada de 0-10 cm) associadas ao quinto teste de erosão chuva simulada (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo)..... 169
22. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao sexto teste de erosão com chuva simulada (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; IRg=índice de rugosidade georeferenciado; IRs=índice de rugosidade baseado no desvio padrão)..... 173

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais solo, água, ar, plantas, luz e calor não diferem em importância no que diz respeito à vida na Terra, e por isto são igualmente classificados como essenciais. Entretanto, há uma diferença definida entre eles do ponto de vista de destrutibilidade, com o solo à distância sendo o mais importante. Isto se deve ao fato de que o solo pode sofrer processos de desgaste acelerados quando mal utilizado pelo homem, com taxas de perda de solo por erosão que podem superar ao infinito as taxas naturais de renovação e reposição de solo. Por esta razão, para propósitos práticos (na escala de tempo do ser humano), o solo deve ser considerado um recurso natural não-renovável, sendo sua conservação um pré-requisito à sobrevivência das espécies vivas da Terra. O alto grau de degradação do solo que ainda persiste em muitos lugares do Mundo, entretanto, indica que não está sendo dada a devida importância a este fato, desta forma havendo necessidade de se mudar a mentalidade quanto ao que representa para a humanidade a preservação deste importante recurso, de modo a mantê-lo permanentemente conservado e produtivo, para se garantir a produção de alimentos.

O chamamento acima encontra respaldo no fato de que a erosão (acelerada) é a forma mais extensiva e preocupante de degradação do solo no Planeta. É estimado pela FAO (Hudson, 1995) que 84% da degradação do solo no Mundo são devidos à erosão, sendo 56% pela erosão hídrica e 28% pela erosão eólica. Os danos da erosão são muitos e complexos, podendo se manifestarem tanto na lavoura (danos diretos) quanto fora da lavoura (danos indiretos), com conseqüências econômicas, sociais e ambientais de elevado custo. Estes danos dizem respeito à remoção do solo superficial do seu local original (dano na lavoura) e ao assoreamento e poluição de reservatórios e cursos de água (danos fora da lavoura), estes últimos causados pelos produtos

da erosão (partículas sólidas do solo e substâncias químicas a elas adsorvidas e/ou dissolvidas e transportadas na água do escoamento superficial).

No contexto do que vem sendo tratado, é importante lembrar que o princípio fundamental de conservação do solo e da água em todo o Mundo é usar o solo de acordo com suas classes de capacidade de uso e tratar cada classe segundo suas necessidades particulares, para que ele permaneça indefinidamente produtivo e sem degradação. Isto pode ser conseguido por meio da adoção de práticas integradas de manejo do solo, incluindo as de caráter não-mecânico ou vegetativo e as de caráter mecânico ou estrutural, entre estas últimas sobressaindo-se os terraços. Assim, fundamentalmente vê-se que os solos se degradam porque não são obedecidas as premissas básicas de sua conservação, ou seja, porque são usados em desconformidade com suas classes de capacidade de uso e, em adição, desacompanhados de práticas adequadas de seu manejo, o que, como recém-visto, corresponde ao contrário do que reza o princípio fundamental de conservação do solo e da água. Em decorrência disto, os solos ficam severamente comprometidos e ameaçados de não poderem devidamente cumprir suas funções primordiais no ambiente, quais sejam, de servir de meio para o crescimento de plantas e animais, de regular os fluxos de água, gás e calor entre o solo e atmosfera, de servir de receptor e tamponador de descartes e contaminantes ambientais em potencial e de fornecer suporte às obras de engenharia humana. No que se refere especificamente à erosão hídrica pluvial, assunto principal deste trabalho de pesquisa, os solos devem cumprir bem suas funções de livremente deixar infiltrar água da chuva na sua superfície e resistir à desagregação e ao transporte de suas partículas pela ação da chuva e da enxurrada a ela associada. Por oportuno, este é um dos maiores desafios atuais da ciência do solo brasileira, tendo em vista que a erosão hídrica pluvial continua sendo a principal forma de degradação do solo no País. Por esta razão, é fundamental em nosso meio que se busquem informações mais detalhadas tanto sobre o processo erosivo do solo em si quanto sobre os fatores que o afetam, porém, nas condições locais, principalmente aquelas relacionadas com as variáveis da combinação cobertura-manejo do solo.

Baseado no exposto, elaborou-se as seguintes hipóteses de trabalho na presente pesquisa: a) espécies culturais diferentes, por possuírem

características diferentes de desenvolvimento dos seus sistemas radiculares e efeitos colaterais associados, irão recompor a estrutura degradada do solo de modo diferente, o que irá se refletir em diferentes comportamentos da mesma frente à ação erosiva da água da chuva e da enxurrada a ela associada, conseqüentemente resultando em diferentes perdas de água e solo por erosão hídrica pluvial, e b) características e/ou propriedades do solo que apresentarem boa relação com a sua estrutura recuperada, poderão, isoladamente ou em combinação, ser utilizadas como indicadores da sua qualidade física para os propósitos de infiltração de água da chuva na sua superfície e resistência à erosão hídrica pluvial.

Para testar as hipóteses arroladas acima, realizou-se este trabalho de pesquisa com o objetivo de recuperar a estrutura de um solo degradado por meio do seu cultivo com diferentes seqüências culturais e, decorridos 3,5 anos do início do processo, verificar sua relação com as perdas de água e solo por erosão hídrica pluvial em distintas condições físicas da sua superfície, com vistas a colher subsídios para o estabelecimento de indicadores de qualidade física do solo para os propósitos de infiltração de água e resistência à erosão hídrica pluvial.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processos básicos e formas dominantes de erosão hídrica pluvial do solo

Conforme bem posto por Hudson (1995), a causa fundamental de erosão hídrica nas terras cultivadas é ação da chuva (agente ativo) diretamente no solo (agente passivo), com a quantidade final da mesma (perda de solo) em determinado local sendo ditada pela capacidade da chuva de causar erosão (erosividade ou potencial erosivo da chuva) e pela habilidade do solo de resistir à ação da chuva (erodibilidade ou vulnerabilidade ou susceptibilidade do solo à erosão). Trata-se, pois, o fenômeno, de um confronto de forças, entre a chuva (ação dirigida ou força aplicada) e o solo (ação contrária ou força de reação), com a resultante (perda líquida de solo) podendo ser nula ou um valor muito grande, conforme a magnitude das forças envolvidas. Fundamental para estas considerações foi a descoberta do pesquisador americano W. D. Ellison, em 1944, nos Estados Unidos da América (Ellison, 1944). Este pesquisador descobriu que a principal ou prima causa da erosão hídrica pluvial do solo nas terras cultivadas era a ação de impacto das gotas da chuva diretamente no solo e não a ação abrasiva da enxurrada, como até então se pensava (através dos 7.000 anos de história da civilização, ressalta-se). Inquestionavelmente, esta descoberta representou um grande avanço ou acontecimento, pelo qual a real causa do milenar problema de erosão hídrica pluvial do solo, finalmente, havia se tornado conhecida. Baseado na sua descoberta, o referido pesquisador efetuou a clássica divisão do processo erosivo do solo, a qual é cada vez mais reconhecida e utilizada no Mundo todo, separando-o em três fases básicas, assim expostas e caracterizadas: 1ª fase – desagregação: desprendimento, separação ou desalojamento das partículas de solo da massa

que as contém, tanto na forma de partículas primárias individualizadas, como a areia, o silte e a argila, quanto na forma de partículas secundárias ou agregados (conglomerados de partículas primárias); 2ª fase – transporte: movimento ou deslocamento das partículas desagregadas do solo na superfície do terreno; e 3ª fase - deposição ou sedimentação: fim do transporte; parada ou assentamento das partículas desagregadas do solo que se encontram em transporte na enxurrada em algum ponto na superfície do terreno (geralmente afastado do local original). Estas fases, às vezes, não são muito distintas uma das outras durante um evento de erosão, tendo em vista que podem ocorrer concomitantemente. De qualquer forma, a sua separação facilita muito o estudo e o entendimento do processo erosivo do solo. A desagregação e o transporte constituem os componentes essenciais da erosão, enquanto que a deposição ou sedimentação é a resultante ou conseqüência do processo. É importante ainda dizer que, em se tratando da erosão hídrica pluvial, ocorre desagregação e transporte de solo tanto pela ação da chuva quanto pela ação da enxurrada, independentemente uma da outra. Em função desta duplicidade de ação dos mencionados agentes erosivos, são referidos como sendo quatro os processos principais ou sub-processos ou, ainda, mecanismos específicos de erosão hídrica pluvial do solo, agrupados dois a dois, conforme segue: desagregação e transporte de solo pela ação de impacto das gotas da chuva (força aplicada à superfície do solo no modo normal) e desagregação e transporte de solo pela ação de cisalhamento e entalhadura da enxurrada (força aplicada à superfície do solo no modo tangencial) (Foster & Meyer, 1972 e 1977). Isto leva a dizer que os agentes ativos de erosão hídrica pluvial do solo, chuva e enxurrada, são, cada um por si, agentes completos de erosão, em que pese normalmente a chuva ser o notável agente de desagregação e a enxurrada o notável agente de transporte de solo durante a vigência de um evento erosivo nas terras inclinadas. O processo de erosão hídrica pluvial do solo passou a ser ainda melhor entendido quando, poucos anos mais tarde, em 1947, o mesmo pesquisador referido inicialmente (Ellison) comprovou, por meio de experimentos de laboratório, que diferentes solos comportaram-se de modo distintamente diferente em cada uma das três fases básicas do processo erosivo, que por ele próprio haviam sido separadas anos antes (1944), e que se a primeira fase (desagregação) não ocorresse, não ocorreriam as demais

(transporte e deposição) e, por conseguinte, não haveria erosão do solo (Ellison, 1947). Depreende-se destes fatos a importância de se tentar impedir ou, então, reduzir o máximo a primeira fase do processo erosivo (desagregação), a qual, por sua natureza e ordem de ocorrência, é a mais importante.

Quanto às formas dominantes de erosão hídrica pluvial do solo, são a em entressulcos, a em sulcos e a em voçorocas, com as duas primeiras normalmente prevalecendo sobre a última nas terras cultivadas. A erosão em entressulcos, também conhecida como erosão de salpico ou salpicamento ou de impacto das gotas da chuva, é a que ocorre sobre as superfícies mais lisas do terreno, onde não há concentração do fluxo de água. Este, essencialmente ocorre na forma de fluxo laminar delgado, sem capacidade de, por si só, desagregar e transportar solo, exceto em quantidade limitada quando é tornado turbulento pela ação de impacto das gotas da chuva sobre ele. Assim, nesta forma de erosão, a desagregação do solo é feita quase toda ela pela ação de impacto das gotas da chuva, enquanto que o transporte pela ação combinada do fluxo laminar delgado e do impacto das gotas da chuva sobre ele, tornando-o turbulento, com o movimento de solo, entretanto, ocorrendo somente sobre curtas distâncias no terreno, na direção dos pontos de concentração de água (normalmente pequenos sulcos ou depressões naturais existentes na superfície do terreno). Quanto à erosão em sulcos, é um tipo de erosão em canal, onde a água que escoar ocorre na forma de fluxo concentrado, porém, sem o mesmo assumir grandes proporções de volume e velocidade. Esta forma de erosão essencialmente ocorre pela ação da enxurrada, com a desagregação e o transporte de solo ambos sendo feitos pela sua ação cisalhante e entalhadora. No que se refere à erosão em voçorocas, é um outro tipo de erosão em canal, onde a água que escoar também ocorre na forma de fluxo concentrado, como acontece na erosão em sulcos, porém, agora o mesmo assumindo proporções de volume e velocidade muito maiores. Assim, pode-se dizer que a erosão em voçorocas também ocorre exclusivamente pela ação da enxurrada (exceto a desagregação de solo das porções de suas paredes ou taludes ainda não alcançadas pelo nível de água do escoamento superficial, a qual é realizada pela ação de impacto das gotas da chuva), porém, bastante auxiliada pela energia potencial (outra forma de energia mecânica presente no processo de

erosão hídrica pluvial do solo, em adição à energia cinética, que é a forma dominante) presente nas suas paredes ou taludes, fazendo com estes caiam ou desmoronem sob condições de saturação do solo com água, o que vai aumentar mais ainda o tamanho da voçoroca e, assim, potencializar o processo em pauta. Das três formas de erosão hídrica que foram enumeradas, as mais prejudiciais do ponto de vista de redução da capacidade produtiva do solo para as culturas, com fortes reflexos nos seus rendimentos, são a em entressulcos e a em sulcos. A erosão em voçorocas, enquanto não tiver retalhado a área produtiva da lavoura, terá seus efeitos negativos sentidos mais em termos de assoreamento e poluição das fontes superficiais de água, em que pese a erosão em entressulcos e a erosão em sulcos também poderem constituir causa principal disto (Foster, 1982; Hudson, 1995).

2.2. Fatores principais que afetam a erosão hídrica pluvial do solo

Os fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo são muitos e variam muito no que se refere à magnitude de sua influência, conforme o local. Basicamente, isto se deve a diferenças no regime de chuva, tipo de solo e sistemas de manejo agrícola empregados no processo de produção vegetal (inclui-se aqui tanto o manejo da terra quanto o manejo da cultura e/ou do solo, conforme será esclarecido adiante). Esses fatores são melhor entendidos quando se considera a forma como são apresentados e discutidos, tanto na tradicional Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (“Universal Soil Loss Equation – USLE”), quanto na sua sucessora Equação Universal de Perda de Solo Revisada – EUPSR (“Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE”), ambas desenvolvidas nos Estados Unidos da América, respectivamente por Wischmeier & Smith (1965 e 1978) e Renard et al. (1997). Assim, os fatores principais que afetam a erosão hídrica pluvial do solo e são contemplados na estrutura básica de cada uma das equações de predição da erosão referidas são: erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento do declive (fator L), grau de inclinação do declive (fator S), cobertura e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas de suporte ou práticas complementares de controle da erosão (fator P). Estes fatores são arranjados matematicamente na expressão $A=RKLS\overline{C}P$, em que A é a perda média anual de solo calculada pela equação, para dada intenção de uso e

manejo do solo, para um período à frente de, no mínimo, 20 a 25 anos, com a pressuposta intenção. É muito importante ter este último aspecto claro em mente quando se vai utilizar qualquer uma das equações referidas para prever a erosão hídrica com dada intenção de uso e manejo do solo, em dado local. Dos componentes da equação (qualquer uma das versões), têm unidades de medida apenas o fator R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com valores entre 2.500 e 13.500 na grande maioria dos casos) e o fator K ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), com valores entre 0,008 e 0,048 também na grande maioria dos casos), os quais dão unidades à perda média anual calculada de solo A ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com valores numa faixa quase que interminável no que se refere ao seu limite superior). Os demais fatores da equação são adimensionais e possuem valores que variam de 0 (topografia essencialmente plana) a 20 para o fator combinado topográfico LS (dentro dos limites sugeridos pela pesquisa, de 5 a 300 m para comprimento de declive e de 0,5% a 50% para inclinação do declive – Wischmeier & Smith, 1978) e de 0 a 1 para os fatores de manejo agrícola C e P (inclui-se aqui tanto o manejo da terra quanto o manejo da cultura e/ou do solo). Verifica-se, pois, a ampla faixa de valores no que se refere à magnitude de influência dos fatores que afetam a erosão hídrica pluvial do solo nas terras cultivadas, o que faz com que a perda de solo esperada das mesmas também seja muito ampla. Para fins de comparação de grandezas, para quem assim o desejar, tendo em vista que foram fornecidas as faixas de valores para os fatores das equações apresentadas anteriormente, a perda de solo por erosão admitida de ocorrer, para fins de manutenção da capacidade produtiva do solo para as culturas, é universalmente tomada como se situando entre 2,5 e 13,5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na grande maioria dos casos.

A seguir, será feita uma breve explanação sobre cada um dos fatores que influenciam a erosão hídrica pluvial do solo, enfocando-os exatamente do modo como são apresentados e discutidos, tanto na tradicional Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (“Universal Soil Loss Equation – USLE”), quanto na sua sucessora Equação Universal de Perda de Solo Revisada – EUPSR (“Revised Universal Soil Loss Equation – RUSLE”). Para qualquer uma das equações, entretanto, referir-se-á, daqui para frente, quando for o caso, simplesmente como equação, tendo em vista que elas são uma e a mesma no que se refere à estrutura básica montada para se efetuar os cálculos de perda

de solo por erosão em dada área, tendo mudado, na última versão (EUPSR ou “RUSLE”), basicamente a tecnologia de obtenção dos valores de seus componentes, agora sendo totalmente computadorizada, além de terem sido incluídas melhorias no que se refere ao aspecto agrônômico do programa computacional, conforme descrito em Renard et al. (1997).

- Fator chuva

A influência da chuva na erosão hídrica pluvial do solo, representada na equação pelo fator R - erosividade da chuva, se faz sentir por meio das suas características físicas básicas ou intrínsecas de tamanho, forma e distribuição de tamanho das gotas, as quais irão se refletir nas características derivadas de intensidade e quantidade total da chuva. Estas últimas são as usualmente utilizadas na determinação do fator R da equação (baseado no índice de erosividade EI_{30} de Wischmeier, conforme consta em Wischmeier & Smith 1978), sendo, por isto, consideradas as mais importantes do ponto de vista de influência na erosão hídrica pluvial, principalmente a intensidade da chuva, tendo em vista que a energia cinética de um corpo em movimento (chuva) é igual ao semi-produto da sua massa (quantidade da chuva) pela sua velocidade (intensidade da chuva) ao quadrado ou $E_c = mv^2/2$. Entretanto, são características importantes relacionadas com a erosividade das chuvas também o intervalo de tempo entre elas (reflete-se no teor de água no solo antecedente às chuvas), a sua distribuição temporal e a sua freqüência de ocorrência ou período de retorno (Wischmeier, 1959 e 1962; Wischmeier & Smith, 1978; Hudson, 1995). Assim, quanto mais intensas, mais prolongadas, mais próximas umas das outras, mais concentradas e/ou mais raras forem as chuvas, tanto maior será a erosividade ou o potencial das mesmas de causar erosão e, por conseguinte, maior será a perda de solo pelo fenômeno. Uma forma freqüentemente utilizada para se mostrar a relação entre chuva e erosão, é por meio do coeficiente de proporcionalidade $PS \propto i^2$, em que PS é a perda de solo e i a intensidade da chuva. Assim, verifica-se que, quando a intensidade da chuva é duplicada, a perda de solo por erosão é quadruplicada, o que corresponde a um aumento de 300% na perda de solo.

- Fator solo

A influência do tipo de solo na erosão hídrica pluvial, representada na equação pelo fator K – erodibilidade do solo, igualmente como ocorre com a

chuva, se faz sentir por meio das suas características e propriedades básicas ou intrínsecas, de naturezas física, química, mineralógica e biológica. As características e propriedades do solo que mais influenciam a erosão hídrica pluvial são aquelas que se relacionam com a desagregação e o transporte de suas partículas e com a sua capacidade de infiltração de água, esta última por ser a determinante do excesso de água da chuva ou quantidade total de enxurrada (Wischmeier & Smith, 1969; Wischmeier et al., 1971 e 1978; Hudson, 1995). Assim, são características e propriedades importantes do solo no que se refere à sua erodibilidade a textura, a estrutura, a qual abrange a porosidade total e distribuição de tamanho de poros e a agregação e estabilidade de agregados do solo), a permeabilidade, a composição químico-mineralógica, o teor de matéria orgânica, a densidade (do solo e de partículas) e o teor de água no solo antecedente às chuvas. Baseado nisto, pode-se ver a dificuldade de, com bom grau de certeza, se fazer conjecturas a respeito da influência do tipo de solo na sua erosão hídrica pluvial. O que de mais confiável pode ser dito a respeito, ainda assim dentro de limites, é que os solos de textura fina, geralmente por serem mais bem cimentados, resistem mais à desagregação de suas partículas pela ação dos agentes erosivos do que os solos de textura média e grossa. Entretanto, uma vez desagregados, os solos de textura fina têm suas partículas mais facilmente transportadas pela enxurrada do que os solos de textura média e grossa, por serem de menor diâmetro (Lei de Stoks) e, quando o teor de matéria orgânica no solo é alto, mais leves, além do que, geralmente, tais solo possuem menor capacidade de infiltração de água e, assim, estão mais sujeitos à formação de grandes quantidades de enxurrada. O balanço final do que irá acontecer, pois, vai depender de uma combinação de fatores, mas principalmente da erosividade da chuva, a principal responsável pela desagregação inicial das partículas do solo, e da declividade do terreno, a qual desempenha papel fundamental no transporte das partículas desagregadas do solo para fora da área de ocorrência da erosão, em função do aumento exponencial na velocidade da enxurrada com o aumento da declividade do terreno. Independentemente disto, outra colocação que também de mais confiável pode ser feita é que, quanto mais bem agregado e mais bem estruturado estiver o solo, com maiores valores de percentagem de agregação e estabilidade de agregados, tanto menos ele irá

sofrer da erosão, devendo-se encaminhar as ações de manejo agrícola delineadas para o mesmo neste sentido.

- Fator topografia

A influência da topografia na erosão hídrica pluvial do solo, representada na equação pelo fator combinado topográfico LS – comprimento e grau de inclinação do declive, fundamentalmente se faz sentir por meio da adição de energia ao processo. Isto porque a topografia diretamente afeta, em grau alto, tanto o volume quanto a velocidade da enxurrada, a qual é o notável agente de transporte de solo para fora da área de ocorrência do fenômeno nas terras inclinadas. Fundamentalmente, a enxurrada é também a principal responsável pela assim denominada “perda” de solo por erosão (solo que foi removido da área produtiva da lavoura e não mais retornará à ela pelos meios naturais). Trata-se, pois, o fator topográfico LS, de um segundo componente de energia (o primeiro é o representado pela chuva) a atuar no processo de erosão hídrica pluvial, para realizar trabalho erosivo no solo (lembrando, $E_c = mv^2/2$ e, no caso em pauta, m é a quantidade de enxurrada e v a sua velocidade) (Wischmeier & Smith, 1969 e 1978; Hudson, 1995). Para ilustrar a magnitude de influência do fator topográfico na erosão hídrica pluvial, a variação na perda de solo por erosão (PS) com a variação no comprimento (L) e no grau de inclinação (S) do declive é expressa, respectivamente, pelos coeficientes de proporcionalidade $PS \propto L^{0,5}$ e $PS \propto S^{1,5}$, o que equivale a dizer que a perda de solo por erosão é aumentada 1,41 vezes ou em 41% e 2,82 vezes ou em 182% quando, respectivamente, o comprimento e o grau de inclinação do declive são duplicados. Há ainda que se dizer que, em adição ao aumento regular na perda de solo por erosão com o aumento do comprimento do declive, a partir de determinada distância ou ponto no terreno a enxurrada poderá se concentrar e adquirir energia suficiente para remover os resíduos culturais superficiais ou, mesmo, erodir o solo por baixo deles, aumentando a taxa de erosão em sulcos a partir daquela distância ou ponto no terreno, num processo denominado de comprimento crítico de declive para redução da erosão hídrica (normalmente associado com os preparos conservacionistas de solo) ou ponto de falha dos resíduos culturais (Cogo, 1981; Bertol, 1995; Morais, 1999; Morais et al., 2001; Denardin et al., 2005). Este fato leva à necessidade de se reavaliar o valor do fator C – cobertura e manejo do solo

(normalmente ele precisará ser aumentado) das equações de predição da erosão anteriormente referidas para se predizer a perda de solo na lavoura a partir daquela distância ou ponto, na direção do fim da pendente no terreno.

- Fator cobertura vegetal e manejo do solo

A influência (combinada) da cobertura vegetal e das práticas de manejo do solo (inclui-se aqui também o tipo de uso ou manejo da terra) na erosão hídrica pluvial, representada na equação pelo fator C – cobertura e manejo do solo, se faz sentir por meio do efeito de inúmeras e complexas variáveis, comumente referidas como variáveis de manejo do solo. O fator C é o que mais influencia a perda de solo por erosão hídrica pluvial dentre todos os utilizados na equação, tendo em vista que ele integra o efeito das inúmeras práticas de manejo do solo que são empregadas no processo de produção vegetal e, em adição, é altamente dependente das variações climáticas, especialmente no que se refere ao potencial de erosão hídrica ou erosividade das chuvas e sua distribuição no tempo. Assim, o fator C é o que em maior escala e em maior amplitude, e também de maneira mais fácil, pode ser alterado pelo homem, ao mesmo tempo em que é o fator mais difícil e demorado de ser avaliado para uso nas equações de predição da erosão referidas, em função do universo de situações de manejo agrícola existentes e das suas variações temporais (Wischmeier & Smith, 1965 e 1978; Hudson, 1995; Renard et al., 1997). Mesmo assim, é o fator mais adequado e mais freqüentemente utilizado para comparar os impactos relativos das opções de manejo nos planos de conservação do solo, sejam eles voltados para uma propriedade rural isolada ou para um conjunto de propriedades em uma microbacia hidrográfica complexa. A cobertura vegetal neste fator é representada tanto pela cobertura viva ou plantas em crescimento (copa ou dossel) quanto pela cobertura morta ou restos culturais das mesmas, em qualquer dos casos com a finalidade primordial de proteger a superfície do solo contra a ação erosiva do impacto das gotas da chuva, dissipando energia cinética das mesmas e diminuindo a desagregação inicial das suas partículas, o que irá auxiliar na não formação de selos superficiais e, assim, contribuir para a infiltração de água no solo. Em adição, a cobertura do solo por resíduos culturais serve como obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial ou enxurrada, diminuindo a sua velocidade e, assim, permitindo mais tempo para que a água infiltre no solo,

por conseguinte, diminuindo também o volume total da mesma. Além de formar cobertura viva (copa ou dossel) para proteger a superfície do solo da ação da chuva, as plantas em crescimento exercem efeito marcante na redução da erosão por meio da sua porção subterrânea ou raízes, as quais têm forte influência na agregação e na estabilização dos agregados do solo, resultando numa estrutura de solo favorável à infiltração e retenção superficiais de água e ao movimento desta no seu interior, bem como numa estrutura resistente à ação desagregadora dos agentes erosivos, fatos estes que, em conjunto, irão determinar quantidades pequenas de erosão e escoamento superficial (Wischmeier & Smith, 1978; Cogo, 1981; Bertol, 1986; Lopes et al; 1987; Bertol et al., 1987; Levien, 1988; Bertol et al., 1989; Bertol, 1995). Os métodos de preparo do solo e semeadura/plantio das culturas também desempenham papel importante no que diz respeito à sua influência no processo de erosão hídrica pluvial, tendo em vista que são os principais responsáveis pela criação (instantânea) tanto das condições físicas externas ou superficiais quanto das internas ou subsuperficiais do solo, as quais antecipadamente podem ser planejadas para fornecer proteção à superfície do solo contra a ação desagregadora do impacto das gotas da chuva, favorecer a retenção e a infiltração superficiais de água e facilitar o movimento e armazenamento desta última nas camadas subsuperficiais do solo. Apesar destes efeitos terem maior importância enquanto as plantas não tiverem ainda sido completamente estabelecidas, são interessantes de serem mantidos sempre, para melhor garantir o controle da erosão e do escoamento superficial. Certamente, a magnitude dos efeitos mencionados irá variar conforme os métodos e equipamentos empregados nas operações de preparo do solo e semeadura/plantio das culturas, tendo em vista que eles variam em extensão de superfície do solo trabalhada, em profundidade de preparo e em grau de fragmentação da massa de solo mobilizada. Decorrente disto, eles irão apresentar diferenças na percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais, nos graus de rugosidade e consolidação da superfície do solo e na porosidade total da sua camada preparada. E estes são exatamente os fatores que governam os três processos mais importantes inerentes à erosão hídrica pluvial nas áreas cultivadas, ou seja, a desagregação e o transporte de partículas do solo e a sua capacidade de infiltração de água (Wischmeier,

1973; Wischmeier & Smith, 1978; Cogo, 1981; Cogo et al., 1983 e 1984; Norton et al., 1985. Bertol, 1986 e 1995; Renard et al., 1997; Castro et al., 2006). Em adição aos métodos de preparo do solo e semeadura/plantio das culturas em si, exercem forte influência na erosão hídrica pluvial os diferentes sistemas de cultivo e as culturas que os integram, enquadrando-se neste conjunto as sucessões e rotações culturais, os cultivos isolados e consorciados, a adubação, a calagem, os tratos culturais, enfim, tudo aquilo que é necessário para que se possam produzir uma dada planta, de modo a elas fornecerem abundante quantidade de massa aérea ou dossel e abundante quantidade de massa subterrânea ou raízes, para propiciar boa proteção à superfície do solo e criar uma rica estrutura do mesmo, obtendo-se assim maior resistência contra a ação dos agentes erosivos (Wischmeier & Smith, 1965 e 1978; Hudson, 1995; Renard et al., 1997). Todos os aspectos mencionados, relacionados com a influência da cobertura vegetal e dos sistemas de manejo agrícola na erosão hídrica pluvial, irão se refletir nos valores do fator C – cobertura e manejo do solo das equações de predição da erosão que vem sendo utilizadas na discussão do assunto, os quais, como referido, podem assumir grandezas relativas de 0 a 1. Como ilustração, os valores do fator C – cobertura e manejo do solo para os sistemas usuais de manejo agrícola com culturas anuais em fileira, como a aveia, o trigo, o milho e a soja, qualquer uma delas nos métodos de preparo do solo convencional (uma aração+duas gradagens), reduzido (escarificação isolada ou uma escarificação + uma gradagem) e sem preparo (semeadura direta/plantio direto), para as condições do sul-brasileiras, podem ser referidos como situando-se nas faixas de 0,15 a 0,25/0,30; 0,05 a 0,08/0,10 e 0,02 a 0,04/0,05, respectivamente para cada preparo do solo mencionado. Para pastagens bem estabelecidas, o valor do fator C decresce ao redor de 0,002 ou mais ainda, conforme a situação. Vê-se, pois, com base no que foi apresentado e discutido até este momento, o universo de possibilidades que existe para se usar e tratar bem o solo, por meio da adoção de práticas adequadas de manejo agrícola. Por oportuno, e para finalizar este tópico, informa-se que tudo o que envolveu e circundou a presente pesquisa, essencialmente esteve associado com as variáveis de manejo vinculadas ao fator C - cobertura e manejo do solo das equações de predição da erosão

anteriormente referidas, tendo em vista que os demais fatores, R, K, L, S e P, foram mantidos constantes.

- Fator práticas conservacionistas de suporte

A influência das práticas conservacionistas de suporte na erosão hídrica pluvial do solo, representada na equação pelo fator P - prática conservacionista de suporte (também referidas como práticas complementares de controle da erosão), igualmente como a influência do comprimento e do grau de inclinação do declive (fator topográfico LS), se faz sentir essencialmente sobre a enxurrada, diminuindo o seu volume e a sua velocidade, por conseguinte, a sua capacidade ou energia erosiva ($E_c = mv^2/2$) de desagregar e de transportar solo. Os representantes mais comuns deste grupo de práticas, empregados nas terras de cultivo, são o preparo do solo e a semeadura/plantio das culturas em contorno, as culturas em faixas em contorno e os terraços agrícolas, cujos valores máximos de eficácia relativa de redução da erosão hídrica pluvial (fator P da equação) são, respectivamente, 0,50; 0,25 e 0,50, o que equivale a dizer que, quando as referidas práticas conservacionistas são empregadas em uma lavoura, a perda de solo por erosão é reduzida em, respectivamente, 50%, 75% e 50%, comparada à perda que ocorreria na ausência de cada uma delas. Um importante efeito dos terraços na redução da perda de solo por erosão hídrica pluvial, não contemplado no fator P da equação, é a diminuição do comprimento de rampa na lavoura pela sua presença, substancialmente reduzindo o valor do fator topográfico LS (devido reduzir o valor do fator L – comprimento do declive). Assim, os terraços disciplinam o movimento da enxurrada na lavoura, efetivamente interceptando-a e reduzindo a sua velocidade e o seu volume, ao mesmo tempo induzindo a deposição de sedimentos nos seus canais (geralmente assume-se que 80% da massa de solo movimentada na área entre dois terraços ficam retidos no canal do terraço subsequente ou inferior). Com a presença de terraços na lavoura, a perda de solo por erosão hídrica pluvial é reduzida na proporção da raiz quadrada de n (\sqrt{n}), em que n é o número de segmentos de comprimento de rampa induzido pelos terraços (Wischmeier & Smith, 1969 e 1978; Hudson, 1995; Renard et al., 1997). Em adição ao efeito de diminuição do comprimento de rampa na lavoura, os terraços impõem a execução das operações de preparo do solo e semeadura/plantio das culturas

em contorno, o que é muito positivo para o controle da erosão hídrica. Por fim, há ainda que se mencionar um outro efeito indireto, muito importante para o controle da erosão hídrica pluvial do solo, motivado pela presença das práticas conservacionistas de suporte ou práticas de controle da erosão de caráter mecânico ou estrutural nas lavouras agrícolas. Trata-se do suporte ou sustentação que elas dão à persistência ou ao prolongamento do efeito de redução da erosão das práticas de controle da erosão de caráter não-mecânico ou vegetativo, nas quais se enquadram todas as práticas de manejo agrícola que integram o fator C – cobertura e manejo do solo das equações de predição da erosão anteriormente referidas. Isto porque existe a possibilidade concreta de, na ausência das práticas conservacionistas de suporte, ocorrer falha (movimentação ou remoção) dos resíduos culturais na lavoura, com perda de eficácia relativa das práticas de manejo e cobertura do solo na redução da erosão a partir do ponto de falha, como referido, o que vai acarretar aumento nos valores do fator C - cobertura e manejo do solo a partir do ponto de falha e, assim, da perda de solo por erosão esperada para a área situada abaixo dele.

Do que foi tratado neste item da revisão bibliográfica, claramente foi possível perceber o universo de variáveis que afetam a erosão hídrica pluvial do solo nas terras cultivadas, tornando difícil fazer afirmações conclusivas a respeito. Independentemente disto, também ficou claro que o princípio fundamental a ser seguido para devidamente controlar a erosão hídrica pluvial do solo é limitar energia dos agentes erosivos chuva e enxurrada e conferir resistência ao solo às suas ações. Para conseguir isto em grau máximo, entretanto, é fundamental que sejam usadas nas lavouras agrícolas práticas integradas, de manejo da terra e de manejo da cultura ou do solo. Em outras palavras, é preciso combinar práticas de caráter não-mecânico ou vegetativo com práticas de caráter mecânico ou estrutural de controle da erosão, de modo tal que, ao mesmo tempo, se possa controlar a perda de solo e a perda de água da lavoura e, junto com elas, a perda de nutrientes, todas causadas pela erosão hídrica pluvial. Com isto, não somente se estará preservando a água e o solo na lavoura, mas também o ambiente em geral, com melhor qualidade de vida para todos, homem e animais.

2.3. Degradação e recuperação do solo – ênfase nos aspectos físicos

Vários são os meios pelos quais o solo pode ser degradado, assim como vários são os meios pelos quais ele pode ser recuperado e, o que é preferível, melhorado e mantido bom. É comum ouvir-se dizer e/ou ler que os solos se degradam quando lhes são impostas más práticas de manejo, e que eles se recuperam, melhoram e mantêm-se bom quando lhes são impostas boas práticas de manejo. No contexto em voga, e no restante desta revisão bibliográfica, o termo manejo recém-mencionado abrange ambos, o manejo da terra e o manejo da cultura (por oportuno, em relação a este último, há os que falam e/ou escrevem manejo do solo, o que não faz diferença desde que devidamente esclarecido o significado de um ou outro termo, que, na verdade, são um e o mesmo – neste trabalho será alternadamente usado um e/ou outro termo), conforme separados e usados por Hudson (1995). Este autor usa o termo manejo da terra para referir-se ao tipo de uso ou à aptidão agrícola da terra (também classes de capacidade de uso do solo), como terras para florestas, terras para pastagens, terras para cultivos anuais em fileira etc., induzindo que se faça a pergunta o que plantar. Quanto ao termo manejo da cultura ou do solo, o autor o associa às decisões detalhadas que são tomadas após devidamente ter sido escolhido o tipo de uso ou manejo da terra, para se produzir bem dada planta, como as operações de preparo do solo e semeadura/plantio das culturas, a calagem, a adubação, os tratos culturais, a irrigação, a drenagem, as técnicas de colheita das culturas, o manejo dos resíduos culturais etc. Estas práticas ou decisões detalhadas constituem o que comumente se denomina de componentes de manejo, da cultura ou do solo, induzindo que se faça a pergunta como plantar. Assim, fundamentalmente, vê-se que os solos se degradam quando são usados em desconformidade com suas classes de capacidade de uso e acompanhados de más práticas de manejo da cultura ou do solo, o que corresponde exatamente ao contrário do que reza o princípio básico de conservação de solos e água em todo o Mundo, que é usar o solo de acordo com suas classes de capacidade de uso e tratar cada classe segundo suas necessidades particulares, de modo tal que ele permaneça indefinidamente produtivo e sem degradação (SCSA, 1982). Feitas estas considerações iniciais, será abordado a seguir o assunto principal deste

item propriamente dito, qual seja, degradação e recuperação do solo, porém, referindo-se quase que exclusivamente aos aspectos físicos das mesmas.

Poch e Casanovas (2002) definem degradação do solo como o declínio na qualidade de um solo causado pelo uso impróprio pelo homem, resultando em diminuição ou, mesmo, perda da sua capacidade de desempenhar no ambiente as funções que lhes são designadas. Estas, segundo Gregorich (2002), são (dentre várias outras formas de referi-las): sustentar a vida vegetal e a vida animal; regular os fluxos de água; regular os fluxos de gás; regular os fluxos de energia; tamponar ou filtrar contaminantes ambientais em potencial e fornecer suporte para as edificações e estradas. Cabeda (1983) refere-se à degradação do solo simplesmente como perda de qualidade da sua estrutura, enfatizando que essa deterioração estrutural pode ocorrer tanto em superfície, com o aparecimento de finas crostas, quanto em subsuperfície, sob a camada arável, com o surgimento de camadas compactadas, em conseqüência resultando menores taxas de infiltração de água, maiores taxas de escoamento superficial e maiores taxas de erosão, o que, por sua vez, irá acelerar mais ainda o processo de degradação do solo. A este respeito, Ditzler (2002) refere-se ao processo de degradação do solo como uma espiral negativa crescente de criação de danos à sua estrutura.

Conforme levantamento efetuado pela FAO (Hudson, 1995), sete categorias de degradação do solo foram mundialmente estabelecidas e cada vez mais têm suas importâncias reconhecidas, a saber: 1) erosão hídrica, 2) erosão eólica, 3) degradação química, 4) degradação física, 5) degradação biológica, 6) salinização e 7) desertificação. Mais recentemente, tem sido incluído nesta lista também a degradação do solo (oitava categoria) causada pelas atividades de escavação da terra, tais como mineração, pedreira, terraplenagem, remoção de solo para aterro, construção de obras de engenharia etc. Dentre as categorias enumeradas de degradação do solo, a erosão, seja ela hídrica ou eólica, é a mais extensiva e preocupante do Planeta (Hudson, 1995). Esta consideração desta categoria de degradação do solo se deve ao fato de que a principal resultante do processo erosivo ao qual o solo está sujeito é a sua remoção física de um dado ponto na superfície da crosta terrestre e seu transporte e deposição em outro ponto, normalmente afastado do local original, o que torna a perda de solo por erosão um processo,

praticamente, irreversível. Por esta razão, para propósitos práticos (considerando a escala de tempo do ser humano), o solo deve ser considerado um recurso natural não-renovável, uma vez que suas taxas de remoção pela erosão (acelerada) podem superar as suas taxas naturais (mesmo artificiais) de renovação e reposição. Importante ainda dizer que, quando a degradação do solo se dá por erosão, automaticamente ela se traduz em outras formas da mesma, como degradação química, degradação física e degradação biológica, em que pese estas poderem ocorrer em grau severo sem haver erosão, conforme expostas na lista de categorias de degradação do solo efetuada pela FAO e há apresentada (Hudson,1995).

Excetuando a degradação do solo por erosão (a pior dentre todas as formas existentes no Planeta, como referido), a de natureza fundamentalmente física, que ocorre sem haver erosão, é a mais fácil e rápida de ser causada e a mais difícil e demorada de ser restaurada, especialmente quando as taxas de decomposição dos restos vegetais que se encontram no solo superam as de sua adição, fazendo com que, progressivamente, diminua o teor de matéria orgânica no mesmo. Em decorrência disto, cada vez menos as plantas devidamente respondem às funções do solo, das quais elas são o alvo principal. Neste mesmo enfoque, Mielniczuk & Schneider (1983) resumiram da seguinte forma as principais causas e conseqüências da degradação física do solo: cobertura insuficiente da sua superfície, preparo excessivo e superficial do mesmo, muitas vezes sob condições inadequadas de umidade do solo, o que irá agravar mais ainda a situação, e perda da sua matéria orgânica, trazendo como conseqüência alterações (negativas) nos valores de densidade, capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados do solo, em decorrência da redução da atividade microbiana sob as mencionadas condições de manejo do solo, o que contribui mais ainda para o colapso da qualidade e da estabilidade da sua estrutura. Os mesmos autores enfatizaram que a degradação física do solo pode ser relativamente fácil de ser constatada, por meio da verificação das alterações que ocorrem em algumas das suas propriedades, como redução da macroporosidade e porosidade total, diminuição da taxa de infiltração de água e modificação do sistema radicular das plantas, principalmente quanto à sua distribuição, tamanho e quantidade de raízes. Os autores em referência finalizaram sua exposição chamando a

atenção para o fato de que medidas conjuntas, como descompactação da(s) camada(s) compactada(s), recuperação e manutenção da fertilidade do solo, cobertura deste por plantas e/ou restos vegetais, rotação de culturas, aporte contínuo e abundante de matéria orgânica e preparo adequado do solo, são de fundamental importância na recuperação das suas propriedades, as quais irão determinar uma estrutura de boa qualidade para o mesmo.

Considerando a dinamicidade do solo, faz-se necessário uma melhor compreensão da sua agregação e da sua estruturação, tendo em vista que variam muito no tempo e no espaço, envolvendo orientação e disposição das partículas primárias, as quais constituem o esqueleto do solo e se arranjam para formar as partículas secundárias ou agregados, com forma e tamanho variados, os quais constituem as unidades básicas da estrutura do solo. Kemper & Chepil (1965) definiram os agregados de solo como o agrupamento natural de suas partículas primárias, no qual as forças que mantêm as partículas unidas são mais fortes do que as existentes nos agrupamentos adjacentes, com sua formação altamente dependente dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo. A estabilidade dos agregados de solo também pode resultar da união mecânica de suas partículas com células e hifas dos microrganismos, dos efeitos de cimentação dos produtos derivados da síntese microbiana e da ação de estabilização dos produtos de decomposição que agem individualmente ou em combinação (Baver et al., 1973). A agregação do solo pode sofrer alterações temporárias ou permanentes, demonstrando variação cíclica, causada pelas práticas de manejo do solo ou da cultura (Campos et al., 1999). Fundamentalmente, a agregação do solo se dá pelas ações combinadas da matéria orgânica humificada, atividade biológica, ação radicular das plantas, processos de umedecimento e secagem do solo, proporção de argila (incluindo minerais amorfos e cristalizados), efeito de cátions e vários outros fatores que interferem na dinamicidade deste processo no solo. Em última análise, os agregados de solo é que irão determinar a capacidade de um solo de resistir às forças compressivas e desagregadoras que lhes são aplicadas. Ainda em relação a isto, há que se dizer que a instabilidade da estrutura do solo pode significar apenas um rearranjo dos agregados que a compõem, sem necessariamente estar havendo deformação dos mesmos. Entretanto, a instabilidade dos

agregados de solo inevitavelmente irá repercutir na instabilidade da sua estrutura (Dexter, 1975).

Baseado no exposto, percebe-se que a recomendação de qualquer prática com vistas a fisicamente recuperar a estrutura de um solo degradado, requer conhecimento de aspectos básicos a ela relacionados. Neste sentido, uma estrutura de solo adequada às plantas é aquela que, além de ser estável, propicia a existência de poros para a rápida infiltração de água na sua superfície e os adequados movimento e retenção da mesma no interior do solo, para posterior cessão às plantas. Deve ainda a estrutura apresentar poros adequados para boa aeração no solo e não se constituir em impedimento mecânico ao desenvolvimento normal das raízes das plantas (Oades, 1984).

A recuperação do solo é uma “tarefa-de-casa” que não pode deixar de ser feita, tendo em vista que dela diretamente depende o rendimento das culturas e indiretamente a produção de alimentos e a qualidade de vida na Terra, tanto humana quanto animal. Entretanto, para se chegar aonde se pretende com ela, vários e complexos fatores devem ser levados em conta, envolvendo componentes do clima (água, luz e calor), do solo (atributos químicos, físicos e biológicos), da planta (características fenotípicas), do homem (habilidades no trato com o solo, com a planta e com o ambiente) e tempo, que, de fato, são os principais fatores de crescimento vegetal. Constatase, pois, conforme referido no início deste parágrafo, que a tarefa de recuperar solos é um processo lento, difícil e persistente. De qualquer forma, como também já referido, ela não pode deixar de ser feita.

A recuperação de solos fisicamente degradados basicamente consiste em recuperar a sua estrutura, ou seja, as propriedades e a estabilidade do seu espaço poroso, necessariamente passando pela atividade microbiana do solo. O processo é lento, em geral requerendo anos para ser completado, dependendo do grau de degradação em que o solo se encontra, com o planejamento quanto às medidas a serem tomadas no processo de recuperação dependente de cada situação em particular (Genro Junior et al., 2004). Lamentavelmente, poucos trabalhos de longo prazo são encontrados na literatura a este respeito, ou seja, evidenciando o tempo necessário para que diferentes culturas, em diferentes sistemas de cultivo, possam reduzir o grau de degradação do solo a níveis não-limitantes ao crescimento vegetal.

Independentemente disto, vale ressaltar o efeito benéfico das pastagens na recuperação do solo, devido aos seguintes motivos: alta densidade de suas raízes, as quais induzem aproximação das partículas de solo pela constante absorção de água do seu perfil, renovações periódicas do seu sistema radicular e distribuição uniforme de exsudatos no solo, o que vai estimular a atividade microbiana e cujos produtos decisivamente irão atuar na formação e na estabilização dos agregados de solo (Silva & Mielniczuk, 1997). Isto pode ser explicado pela maior capacidade de regeneração das pastagens, maior produção de matéria seca e sistema radicular mais denso. Os restos vegetais de plantas de gramínea se destacam pela sua menor taxa de decomposição, comparados aos restos vegetais de plantas de leguminosa, mantendo por mais tempo a cobertura vegetal morta do solo (Campos et al., 1999). Por outro lado, os restos vegetais de plantas de leguminosa possuem menor relação C/N, o que irá favorecer a atividade microbiana do solo e, com isto, a liberação de compostos orgânicos em diferentes estágios de decomposição, auxiliando o processo de agregação das partículas de solo. Vale ainda dizer que o acúmulo de restos vegetais na superfície do solo aumenta o seu teor de matéria orgânica, o que é fundamental para se obter uma estrutura física de melhor qualidade para o mesmo, além de constituírem fonte de carbono para os microrganismos e de nutrientes para as plantas (Macedo e Zimmer, 1993). A adoção de sistemas mistos de cultivo induz maior fertilidade ao solo, maior eficiência na ciclagem de nutrientes, melhor controle de pragas e doenças e melhoria geral das propriedades físicas do solo (Spain et al., 1996).

Lal & Greenland (1979) relatam que os sistemas de cultivo com rotação de culturas que incluem a combinação de pastagens perenes de gramínea com pastagens de leguminosa, além de culturas anuais, quando bem manejadas são os mais eficientes na criação e na manutenção de boa estrutura do solo, em que as gramíneas influenciam pelo seu sistema radicular extenso e em constante renovação e as leguminosas pelo nitrogênio biologicamente fixado e pela sua baixa relação C/N, este último aspecto elevando a taxa de decomposição dos resíduos vegetais. Por esta razão, as pastagens de gramínea atuam na estruturação do solo por um período de tempo bem maior do que as pastagens de leguminosa. É importante ainda dizer que os resíduos culturais, qualquer que seja o tipo, além de servirem de fonte de carbono para

os microrganismos, possuem importância pela cobertura que proporcionam à superfície do solo, impedindo a ação prejudicial do impacto das gotas da chuva, diminuindo a amplitude térmica e mantendo melhor a umidade do solo. Estas condições irão favorecer o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a atividade microbiana do solo, conseqüentemente irão criar um ambiente benéfico no mesmo, conservando e/ou melhorando ainda mais os seus atributos físicos (Islam & Weil, 2000).

Nuernberg et al. (1986) salientam a importância do cultivo de plantas que produzam grande volume de raízes profundas e que mantenham boa cobertura do solo, com crescimento inicial rápido e intenso, para acelerar a recuperação de solos fisicamente degradados. Ressaltam ainda os autores que a consorciação de duas ou mais espécies culturais e a rotação adequada de culturas também podem ser lançadas mão para fins de obtenção de resultados positivos quanto à recuperação da estrutura do solo. De acordo com Albuquerque et al. (1995), a condição física estrutural do solo pode ser analisada por meio da avaliação de parâmetros relacionados tanto à forma da estrutura, como densidade e porosidade do solo, quanto à sua estabilidade, como distribuição de tamanho e percentagens de agregação e estabilidade de agregados.

Nolla et al. (1986), estudando o efeito de diferentes usos agrícolas na densidade e na porosidade de um Latossolo Roxo, observaram que na camada de solo de 0 a 10 cm a densidade do solo se encontrava mais alta na área em que havia sido cultivada alfafa, além da tendência de menores valores de macroporosidade e porosidade total. Já na camada de solo de 20-30 cm, os autores observaram maiores valores de macroporosidade, evidenciando a eficiência do sistema radicular da alfafa na profundidade normalmente não trabalhada mecanicamente.

Silva (1993), em estudo versando sobre formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo, afetadas pelo uso agrícola, encontrou alta correlação entre densidade de raízes e formação e estabilização de agregados. Neste sentido, Campos et. al. (1999) destacam a importância das raízes finas na camada de solo de 0 a 5 cm, as quais, juntamente com a matéria orgânica, envolvem os microagregados de solo, ao mesmo tempo em que atuam formando e estabilizando os macroagregados. Assim, a quantidade de

macroagregados normalmente declina com a diminuição do teor de matéria orgânica no solo e com a compactação causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

Molope et al. (1987) mencionam que a estabilidade de agregados do solo é bastante sujeita a variações temporais, tendo em vista ser altamente dependente da atividade microbiana do solo, a qual, no curto prazo, irá repercutir em melhorias na estabilidade dos seus agregados. De fato, a formação dos agregados de solo se dá devido à ação conjunta de vários fatores, entre os quais incluem-se os ciclos de umedecimento e secagem do solo. A argila e a matéria orgânica atuam como agentes cimentantes entre os diferentes tipos de partícula do solo, enquanto que os óxidos de ferro e alumínio, a sílica amorfa e os carbonatos são os responsáveis pelo bom condicionamento físico geral dos solos geneticamente bem desenvolvidos, conferindo-lhes maior resistência à desagregação de suas partículas (Alisson, 1968). Para Tisdall & Oades (1984), as plantas e os microorganismos do solo também são importantes agentes de agregação. Estudando a influência do cultivo na estabilidade de agregados do solo, estes últimos autores verificaram diminuição na proporção de macroagregados e aumento na proporção de microagregados estáveis em água com o aumento da intensidade de cultivo, o que causou desestabilização da estrutura do solo, com redução do volume total de poros. Neste sentido, há que se dizer que a estabilidade dos agregados de solo muda em um período de tempo relativamente curto quando sob a influência de diferentes tipos de cultivo, o que, provavelmente, deve estar mais relacionado com as mudanças nos constituintes orgânicos do solo do que com o seu conteúdo total de matéria orgânica propriamente dito.

Bruce et al. (1990), trabalhando com um sistema de rotação de culturas e três métodos de preparo do solo, observaram que o primeiro teve efeito nas características físicas do solo somente na semeadura direta. Os autores concluíram que os preparos de solo envolvendo mobilização eliminaram os efeitos benéficos da rotação de culturas na estruturação do solo. Segundo Grant & Lafond (1993), uma boa rotação de culturas irá aumentar a resistência do solo à ação desagregadora dos agentes erosivos, ao mesmo tempo em que melhorará a sua fertilidade e aumentará a sua estabilidade de agregados e disponibilidade e armazenamento de água no seu perfil, conseqüentemente

umentando o rendimento das culturas e a produção de alimentos. Campos et. al. (1999) relatam que a cobertura invernal do solo também tem importante influência na estabilização da sua estrutura, uma vez que ela dissipa a energia cinética do impacto das gotas da chuva, diminui a amplitude térmica e mantém a umidade do solo. Estes fatores irão favorecer o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e a atividade microbiana do solo, conseqüentemente a formação de um ambiente benéfico no mesmo para a agregação de suas partículas.

Silva (1993), em estudo básico sobre a agregação do solo, identificou agentes e substâncias diversas envolvidas na formação e na estabilização dos seus agregados, em diferentes tipos de solo, submetidos a diferentes tipos de uso agrícola (mata, campo nativo, gramínea perene, leguminosa, cultivo convencional e semeadura direta). O referido autor constatou a ocorrência de duas situações distintas em seu estudo, uma representada pela área com cultivo usando culturas anuais em fileira e mata, em que a agregação do solo aumentou com a elevação do teor de carbono orgânico, e outra pelas áreas com cultivo usando gramíneas perenes, cujo teor isolado de carbono orgânico não foi suficiente para explicar a elevada quantidade de agregados estáveis em água, formados na situação de manejo referida. Foi ainda constatado pelo autor em referência que a elevada densidade de raízes e as boas condições físicas de solo à elas associadas, nos cultivos com gramíneas perenes, foram as principais responsáveis pela melhor agregação e melhor estruturação do solo. Observou ainda o mesmo autor que, dentre as substâncias, os agentes e os atributos de solos por ele analisados, a densidade de raízes foi a que apresentou maior correlação com a formação e com a estabilização dos agregados de solo.

Diante do exposto, verifica-se a importância de, no processo de recuperação de solos fisicamente degradados, se envolver plantas, vivas ou mortas, para manter a superfície do solo protegida da ação dos agentes erosivos, e utilizar culturas que propiciem altas taxas de adição de restos vegetais e nitrogênio ao solo, este último por meio da fixação biológica dos microrganismos. Todos os organismos vivos dependem uns dos outros, e a sua diversidade beneficia tanto o eco quanto o agroecossistema dos quais eles fazem parte. A este respeito, as plantas desempenham papel fundamental para

que hajam melhorias no solo, do ponto de vista tanto de consecução quanto de manutenção das mesmas.

2.4. Qualidade do solo - definições e envolvimento no seu estudo

A melhoria e a manutenção da qualidade do solo constituem fator-chave na sustentabilidade dos agroecossistemas terrestres. Entretanto, para que se possa consegui-la, é necessário compreender e quantificar bem os processos envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera.

Várias definições de qualidade do solo são encontradas na literatura. Larson e Pierce (1991) apresentaram uma definição funcional de qualidade do solo muito interessante, como sendo a capacidade de um solo de servir uma função dentro dos limites de um ecossistema e de interagir positivamente com o ambiente externo a ele. Doran et al (1996) definiram qualidade do solo como sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover as saúdes humana, vegetal e animal. Gregorich (2002) concisamente definiu qualidade do solo como o grau de ajustamento de um solo a um uso específico – sua habilidade ou capacidade de servir uma função específica. A avaliação dessas formas de qualidade do solo por meio da análise de seus atributos, entretanto, é bastante complexa, tendo em vista a quantidade de definições de um solo com qualidade para determinado uso, a multiplicidade de inter-relações entre os fatores físicos, químicos e biológicos envolvidos no processo e os aspectos relacionados com a sua variação no tempo e no espaço (Doran et al., 1996). Apoiado nesta consideração, Stenferg (1999) enfatiza que, individualmente, nenhum indicador conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos relacionados com qualidade do solo, tendo em vista a necessidade de se considerar todas as inter-relações possíveis dos seus atributos. Os critérios usados na tarefa de selecionar indicadores de qualidade do solo relacionam-se, principalmente, com a utilidade ou o significado dos mesmos em definir os vários processos que ocorrem no ecossistema do qual o solo faz parte.

Segundo Tótola & Chaer (2002), um indicador de qualidade do solo pode ser simplesmente uma variável mensurável (temperatura do solo), um processo (taxa de mineralização do N) ou um índice, no qual são incluídas inúmeras medidas do solo, como densidade, porosidade, matéria orgânica e

vários outros. Ainda segundo os mesmos autores, quando as variáveis ambientais do solo (seus atributos físicos, químicos e biológicos) são analisadas em conjunto e correlacionadas com os diferentes ecossistemas, a visualização e a ordem de influência das mesmas tornam-se bem mais claras.

De acordo com Ingaramo (2003), algumas das principais propriedades e fatores físicos do solo considerados adequados para avaliar ou descrever a sua qualidade são: porosidade, distribuição de tamanho de poros, densidade do solo, resistência mecânica à penetração de raízes, condutividade hidráulica, distribuição de tamanho de partículas e profundidade de desenvolvimento radicular das plantas. Para Doran & Parkin (1994), os seguintes aspectos são importantes de serem levados em conta no estabelecimento de critérios para a seleção de indicadores de qualidade do solo: envolvimento de processos ocorrentes no ecossistema; integração de propriedades e processos físicos, químicos e biológicos; acessibilidade e aplicabilidade no campo; sensibilidade a variações de clima e manejo e possibilidade de formar banco de dados de solo. Ainda segundo os autores, dentre as propriedades físicas propostas como indicadores básicos para avaliar a qualidade de um solo se sobressaem a densidade do solo e a taxa de infiltração de água. Alves (1992), Anjos et al. (1994) e Veiga et al. (1994) observaram que, em solos degradados, há uma relação inversa entre densidade do solo e porosidade total, tendo então sugerido a primeira variável e a capacidade de infiltração de água do solo como indicadores de qualidade para os solos por eles estudados. Entretanto, há que se estar atento para o fato de que a densidade do solo varia com os diferentes tipos de solo.

O processo de infiltração de água no solo é o mais importante do ciclo hidrológico, uma vez que a partir dele (usado como parâmetro) pode-se estimar o escoamento superficial e, em consequência, calcular o armazenamento de água no solo. Contudo, além das condições físicas de superfície e subsuperfície, a infiltração de água no solo é determinada pela disponibilidade de água para infiltrar, a qual é função da quantidade total e da intensidade da chuva. Hillel (1998) enfatiza a importância de devidamente se conhecer e estudar o processo de infiltração de água no solo, ressaltando que o mesmo é especialmente afetado pelas suas características e propriedades físicas, com a

avaliação das mesmas, pois, constituindo pré-requisito fundamental nos estudos de recuperação e/ou de manutenção da qualidade do solo.

Um dos primeiros e mais importantes trabalhos na linha de pesquisa de qualidade do solo foi o desenvolvido por Yoder (1936). Este autor estudou e sugeriu características estruturais ligadas à condição física do solo para os propósitos de realização das operações de seu preparo e crescimento de plantas. Essencialmente baseando-se nestas características, Karlen & Stott (1994) sugeriram que, para devidamente cumprir a sua função de meio para crescimento de plantas e animais, o solo deve cumprir as seguintes funções específicas ou subfunções de qualidade do solo: oferecer mínima resistência à penetração de raízes; permitir livre entrada e moderada retenção de água da chuva, apresentar boa aeração e permitir boa troca de gases com a atmosfera; apresentar mínima competição entre água e ar na ocupação do seu espaço poroso; apresentar máxima resistência à erosão; facilitar a incorporação de plantas usadas como adubo verde e restos vegetais; promover a atividade biológica e promover tração estável para máquinas e implementos agrícolas.

Metodologias de avaliação da qualidade do solo, qualquer que seja a sua finalidade, permitem identificar áreas de produção problemáticas, monitorar mudanças na qualidade ambiental e assistir na formulação de políticas agrícolas sustentáveis (Acton, 1993). Entretanto, para que se tornem efetivas, essas metodologias devem refletir a capacidade atual do solo de desempenhar funções, como, por exemplo, permitir o fluxo e o armazenamento de água, ar e nutrientes no seu perfil, resistir à degradação física, tamponar e filtrar compostos tóxicos e manter a diversidade biológica (Daily et al., 1997). Tendo em vista que a avaliação direta de um conjunto tão amplo e diversificado de funções do solo como o apresentado é quase impraticável, Doran & Parkin (1996) sugerem selecionar apenas um conjunto mínimo de indicadores (CMI) de qualidade do solo, que integre as principais funções que lhes sejam designadas.

Diversos órgãos internacionais têm enfatizado que a proteção da qualidade do solo deve se constituir em objetivo fundamental de políticas nacionais para o meio ambiente. Neste sentido, segundo Karlen & Stott (1994), o Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (SCS/USDA) estabeleceu várias metas no que se

refere ao tema qualidade do solo, as quais podem ser tomadas como base para finalidades afins, tendo sido incluído o seguinte nas mesmas: identificação de parâmetros que sejam mensuráveis com a tecnologia corrente; estabelecimento de critérios ou de valores para quantificar tais parâmetros; desenvolvimento de uma arquitetura básica de trabalho para avaliar a qualidade do solo no curto e no médio prazo; identificação de todos os componentes de manejo e seus efeitos sobre a qualidade do solo e avaliação do conhecimento existente e dos dados de pesquisa disponíveis para poder se determinar tanto indicadores apropriados de qualidade do solo quanto procedimentos válidos para combiná-los.

Baseado nos fundamentos expostos, percebe-se a importância de se utilizar os solos em conformidade com suas classes de capacidade de uso e tratar cada classe segundo suas necessidades particulares, para evitar a degradação e para manter a qualidade para fins de produção vegetal em bom nível. E, tendo em vista que a erosão acelerada é a forma mais comum e prejudicial de degradação do solo no Planeta, conforme exposto no início desta revisão bibliográfica, impõe-se a necessidade de se estudar e monitorar a qualidade do solo também em relação a ela, para impedi-la ou, então, minimizá-la o máximo, para manter o solo conservado e produtivo, indefinidamente, para a presente e para as futuras gerações (Hudson, 1995; Brady & Weil, 2002; Cogo & Levien, 2002). Assim, é fundamental que se busquem informações tanto sobre o processo erosivo em si quanto sobre os fatores que o afetam, porém, nas condições locais, principalmente aquelas relacionadas com as variáveis presentes na combinação cobertura-manejo do solo, tendo em vista a estreita relação entre sustentabilidade de agroecossistemas e sistemas de manejo do solo (Volk, 2006). O número de pesquisas realizado no Brasil sob este enfoque ainda é muito pequeno, fazendo com que as informações disponíveis no assunto sejam escassas. Há necessidade, pois, de se incrementar este tipo de pesquisa em nosso País.

2.5. Qualidade física do solo para fins de controle da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial a ela associado

A diminuição da qualidade do solo pelo seu uso incorreto, acompanhado da adoção de práticas inadequadas de seu manejo, é

fortemente refletida na erosão que nele ocorre, na perda de sua matéria orgânica, na redução de sua fertilidade, por consequência das duas últimas na redução de sua capacidade produtiva global, e na contaminação química e degradação da qualidade da água e do ar (Daily et al., 1997).

A qualidade física do solo para fins de controle da erosão hídrica pluvial começou a receber mais atenção a partir da década de 1990, nos Estados Unidos da América (Karlen & Stott, 1994). Antes disso, dava-se mais importância a outros aspectos de qualidade do solo, principalmente aqueles relacionados com o seu estado geral de fertilidade para fins de crescimento vegetal. Com o decorrer do tempo, entretanto, essa forma de julgar qualidade do solo foi mudando, tendo em vista o reconhecimento de que as condições físicas do solo interferem em todos os seus processos, mas, especialmente, no processo de erosão, por consequência desempenham papel fundamental nos estudos de qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994). A qualidade física do solo pode se manifestar de várias formas: na infiltração, retenção e disponibilidade de água para as plantas, nas respostas ao seu manejo, na sua resistência à degradação, nas trocas de calor e gás entre ele e a atmosfera e no crescimento das raízes das plantas (Streck et al., 2008).

Dentre os poucos trabalhos realizados no assunto, inter-relacionando qualidade física e erosão do solo, merece destaque o efetuado por Karlen & Stott (1994), nos Estados Unidos da América. Estes autores propuseram uma arquitetura de trabalho interessante para se avaliar a qualidade física do solo com vistas ao controle da erosão hídrica pluvial nas terras cultivadas, tomando por base os componentes essenciais da erosão (desagregação e transporte de solo) e a habilidade do solo de reter, deixar infiltrar e movimentar água no seu perfil. Assim, os autores sugeriram que, para avaliar a qualidade física do solo do ponto de vista de redução da erosão hídrica pluvial, deve ser avaliada a sua capacidade de: (a) permitir a livre entrada de água da chuva na sua superfície, (b) permitir o movimento interno da água que infiltrou no seu perfil, (c) resistir às forças de degradação física originadas da ação de impacto das gotas da chuva e da ação cisalhante da enxurrada e (d) servir de meio para o crescimento de plantas e de animais. Desta forma, a avaliação de indicadores de qualidade física do solo para reduzir a erosão hídrica pluvial

deve traduzir a sua capacidade de atender cada um dos requisitos mencionados.

Mais recentemente, no Brasil, Cogo et al. (2003) apresentaram uma arquitetura de trabalho para avaliar a qualidade do solo com vistas ao controle da erosão hídrica pluvial semelhante à sugerida pelos últimos autores referidos, porém diferindo no que diz respeito à ordem de consideração dos fatores envolvidos (subfunções de qualidade do solo) e aos pesos relativos atribuídos a cada um deles, mas também levando em conta os componentes essenciais da erosão (desagregação e transporte de partículas), exceto que obedecendo a sua cronologia, ou seja, primeiro considerando e atribuindo maior peso à desagregação das partículas de solo pela ação de impacto das gotas da chuva e, então, o transporte das mesmas para fora da área de ocorrência do fenômeno pela ação da enxurrada, contrariamente ao considerado e pontuado por eles. A forma de considerar as subfunções de qualidade física do solo para fins de redução da erosão hídrica pluvial proposta por Cogo et al. (2003) parece ser mais lógica e mais apropriada do que a proposta por Karlen & Stott (1994), tendo em vista que ela obedece e atribui pesos relativos de influência seguindo a ocorrência normal dos processos, ou seja, primeiro a desagregação das partículas de solo pela ação de impacto das gotas da chuva, e depois, então, o seu transporte pela ação da enxurrada. Cogo et al (2003) também chamaram a atenção para as situações de conflito dos indicadores de qualidade física do solo, em que para dada(s) função(ões) são uns e para outra(s) são outros, além da possibilidade de existirem situações em que os indicadores de qualidade física são os mesmos para funções diferentes, porém, com graus diferentes de influência ou importância relativa no que se refere ao cumprimento de uma e de outra função. Deduz-se disto, pois, a necessidade de, em algumas situações, ter que se compatibilizar os indicadores de qualidade física do solo, de modo tal que ao mesmo tempo atendam bem várias funções, e não somente uma ou duas delas, por exemplo.

Trabalhos na linha de pesquisa sobre qualidade física do solo para fins de controle da erosão hídrica pluvial foram desenvolvidos em nosso meio por Streck (1999) e Volk (2002 e 2006), no Estado do Rio Grande do Sul. Estes autores avaliaram condições físicas de superfície e subsuperfície do solo relacionadas, respectivamente, com a perda (a partir de um solo sob campo

nativo) e perda e ganho (a partir de um solo sob cultivo anual) de qualidade física da sua estrutura, associadas à infiltração de água e às perdas de água e solo por erosão hídrica pluvial. O primeiro autor observou que, após 2,5 anos sem mais preparar o solo, a sua superfície se reconsolidou ao ponto que a sua erosão foi reduzida em 81% e 93%, respectivamente nos tratamentos sem e com cultivo, comparada à erosão ocorrida quando o solo se encontrava na sua condição de recém-preparado (pelo método convencional de preparo). Poder-se-ia muito bem depreender disto que a consolidação da superfície do solo poderia ser utilizada como indicador da sua qualidade física para resistir à erosão hídrica pluvial. Entretanto, esta condição não é a desejável para infiltrar água da chuva no solo, como será visto em breve. Em estudo semelhante ao que foi relatado, Volk (2006) também observou que a descontinuidade do preparo do solo efetivamente reconsolidou a sua superfície e se refletiu em valores decrescentes de perda de solo por erosão hídrica pluvial com o passar do tempo, entretanto com os valores de perda de água da chuva permanecendo sempre altos. O mesmo autor também observou que a incorporação dos resíduos culturais ao solo, comparada à não-incorporação, causou considerável redução nas perdas de água e solo por erosão hídrica, refletindo-se em melhoria geral da estrutura do solo.

Em um outro trabalho Volk (2006) observou que as seqüências culturais por ele estudadas impuseram condições físicas diferentes na camada superficial do solo, traduzidas pelas diferentes características físicas de superfície e subsuperfície avaliadas, antes e após o seu preparo, o que se refletiu em respostas diferentes da erosão hídrica e do escoamento superficial. O autor em referência verificou que a perda de água foi a maior no solo não-mobilizado, mesmo estando ele com elevada quantidade de cobertura superficial, e a menor no solo recém-mobilizado, embora sem nenhuma cobertura superficial, com estes comportamentos sendo mantidos até o final do período de experimentação. Por outro lado, a perda de solo foi a menor no solo não-mobilizado com elevada quantidade de cobertura superficial, seguida de perto, entretanto, pela perda tanto do solo não-mobilizado quanto do solo recém-mobilizado, ambos sem nenhuma cobertura superficial, mas todas elas aumentando com o passar do tempo e com os preparos de solo subseqüentes. A massa de raízes mortas, o diâmetro médio ponderado de agregados do solo

em água e o índice de rugosidade superficial do solo mostraram-se bons indicadores de qualidade física para o propósito de redução da perda total de água em todas as condições físicas estudadas da camada superficial do solo, e muito bons indicadores para o propósito de redução da perda total de solo, porém, excetuando a condição de solo com elevada quantidade de cobertura superficial, na qual o efeito das variáveis referidas foi irrelevante.

Tendo em vista a importância do assunto e a escassez de trabalhos de pesquisa desta natureza em nosso meio, especialmente quando se sabe da estreita relação entre sustentabilidade de agroecossistemas e sistemas de manejo do solo, impõe-se a necessidade de se estudar, definir e sugerir indicadores de qualidade física do solo para fins de controle da erosão hídrica pluvial, sem dúvida a principal e mais extensiva forma de degradação do solo no Brasil. Assim, é fundamental que se realizem mais estudos no assunto, nas mais variadas condições de clima, solo, topografia, vegetação e uso da terra, porém, de forma sistemática e em sólida base científica, para que se possa, num futuro próximo, estimar com confiança a erosão que ocorre nas terras cultivadas brasileiras. Isto possibilitará a elaboração de planejamentos de uso da terra e de manejo do solo na propriedade rural em base conservacionista quantitativa, permitindo avaliar melhor os impactos econômico, social e ambiental das práticas de manejo agrícola usualmente empregadas no processo de produção vegetal, tendo como meta principal o controle da erosão e, em decorrência, a redução dos danos ambientais causados pelo fenômeno.

2.6. Condições físicas de superfície e subsuperfície do solo e sua relação com a erosão hídrica pluvial e com o escoamento superficial a ela associado – aspectos conceituais e fundamentos envolvidos com vistas aos propósitos da presente pesquisa

A perda de água por erosão hídrica pluvial refere-se à quantidade de água da chuva que não infiltrou e nem ficou retida nas microdepressões de armazenamento superficial do solo durante a vigência do processo erosivo, tendo escoado para fora da área de ocorrência do fenômeno na forma de escoamento superficial ou enxurrada. Por sua vez, a perda de solo pelo mesmo fenômeno refere-se à quantidade de solo superficial (base de massa) que foi removida para fora da área de interesse (normalmente uma lavoura) pela ação

da enxurrada. Estas duas definições estão sendo trazidas de volta à discussão tendo em vista que os processos que elas descrevem são altamente dependentes das condições físicas externas ou superficiais e internas ou subsuperficiais do solo, as quais constituem o ponto principal deste item e, também, da presente pesquisa.

Dentre as condições físicas externas ou de superfície do solo que afetam a erosão hídrica pluvial se destacam a quantidade de resíduos culturais e sua equivalente percentagem de cobertura do solo, o grau de consolidação da superfície do solo diretamente exposta à ação da chuva e da enxurrada a ela associada, incluindo ou não a presença de crostas e/ou selos na mesma, e o grau de rugosidade superficial ou microrelevo do solo induzido pelas operações de seu preparo, automaticamente acompanhado da porosidade total da camada preparada do solo, a qual inclui os vazios formados pelas microdepressões ou microelevações associadas à sua rugosidade superficial. Quanto às condições físicas internas ou de subsuperfície do solo, se destacam as que determinam sua condição física estrutural propriamente dita, especialmente a porosidade e distribuição de tamanho de poros e a agregação e estabilidade de agregados. Para um mesmo tipo de solo e sistema de cultivo, as condições físicas referidas (superficiais e subsuperficiais) num primeiro momento irão ser função do método de preparo do solo e/ou de semeadura/plantio da cultura empregado no empreendimento agrícola, e, a partir disso, da ação do tempo, incluindo nele o clima e o homem. É importante ainda dizer que estas condições físicas de solo irão influenciar de modo diferente a erosão hídrica pluvial nas terras cultivadas, dependendo se é a perda de solo ou a perda de água que está sendo considerada, como será comentado a seguir.

A cobertura do solo por resíduo cultural e a rugosidade superficial do solo induzida pelos métodos de seu preparo, sem dúvida alguma são as que mais se sobressaem no que diz respeito ao controle do processo de erosão hídrica pluvial propriamente dito (perda física de solo), mas principalmente a primeira. É universalmente referido que a cobertura do solo por resíduos culturais, por si só, explica 65% a 85% da variação observada nas perdas de solo por erosão hídrica pluvial. Isto se deve, como referido, à sua efetiva dissipação de energia cinética das gotas da chuva junto à superfície do solo,

não permitindo reaquisição de energia no processo e, desta forma, evitando ou diminuindo muito a desagregação inicial de suas partículas, ao mesmo tempo prevenindo a formação de crostas e/ou selos superficiais, o que irá auxiliar a infiltração de água no solo. Em adição, a cobertura vegetal morta serve de obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial, diminuindo a sua velocidade e, com isto, permitindo mais tempo para que a água infiltre no solo, além de induzir deposição das partículas erodidas do solo, aprisionando-as por entre os seus constituintes ou restos vegetais. Estes efeitos irão se refletir nas quantidades finais de água e solo perdidas por erosão, significativamente diminuindo-as. Quanto à rugosidade superficial ou microrelevo do solo criado pelos métodos de seu preparo, tem efeito marcante na retenção superficial tanto da água da chuva, auxiliando sua infiltração no solo e, por conseguinte, diminuindo o volume total de enxurrada (também sua velocidade), quanto das partículas erodidas do solo, aprisionando-as nas microcavidades ou microdepressões do terreno formadas pela rugosidade superficial ou microrelevo. Estes efeitos também irão se refletir nas quantidades finais de água e solo perdidas por erosão, significativamente diminuindo-as, igualmente como acontece com a cobertura do solo por resíduos culturais. Assim, quando estas duas variáveis estão presentes em uma lavoura, as perdas de solo e água por erosão irão ser grandemente reduzidas ou, até, anuladas, conforme o caso. Depreende-se disto a importância de devidamente se analisar o método de preparo do solo e/ou de semeadura/plantio da cultura a ser empregado no empreendimento agrícola em dado local, para se lograr êxito na obtenção das referidas condições físicas superficiais do solo. Ainda no mesmo enfoque, há que se chamar a atenção para o fato de que, quando o solo é cultivado sem ser mobilizado, como ocorre quando se usa a técnica de semeadura direta/plantio direto, a rugosidade superficial é a menor dentre todas as possíveis no processo normal de produção vegetal, sem qualquer ganho de porosidade por revolvimento da camada arável ou porosidade total da camada preparada do solo, simplesmente porque não houve preparo de solo na referida técnica, além do que, geralmente, a camada superficial do solo na mesma tende a se consolidar, mesmo com alta percentagem de cobertura por resíduos culturais. Situações como esta irão propiciar ao solo excelentes condições para que ele resista bem ao processo erosivo, com a perda de solo ou não ocorrendo ou,

então, sendo muito pequena (dentro de limites, é claro). Entretanto, esta mesma condição de solo se reverte em alto potencial para a formação de grandes quantidades de enxurrada, tendo em vista que ela restringe muito a infiltração de água no solo, mesmo estando a sua superfície bem protegida por resíduos culturais.

No que se refere às condições físicas internas ou de subsuperfície do solo, essencialmente afetam a erosão hídrica pluvial de forma indireta, mas nem por isto são menos importantes. Isto deve ao fato de que primeiramente a infiltração de água no solo é afetada, e depois, então, o escoamento superficial ou enxurrada e, em prosseguimento, as quantidades finais de água e solo perdidas por erosão. Como referido, desempenham papel importante nisto a porosidade e distribuição de tamanho de poros e a agregação e estabilidade de agregados do solo, as quais são as principais responsáveis pela formação de boa estrutura do mesmo. Assim, quanto maiores a porosidade total e a quantidade de macroporos, bem como a agregação e a estabilidade de agregados do solo em água, estas últimas sendo as principais responsáveis pela manutenção da qualidade do espaço poroso do solo, tanto maior será a infiltração de água no solo e, por conseguinte, menor a quantidade total de enxurrada, o que irá resultar em menores perdas de água e solo por erosão.

As considerações efetuadas acima foram baseadas em trabalhos de pesquisa no assunto realizados por vários pesquisadores, destacando-se os seguintes: Duley (1939); McIntyre (1958); Burwell et al. (1969); Allmaras et al. (1967); Larson & Gill (1973); Wischmeir & Smith (1978); Cogo (1981); Cogo et al. (1983 e 1984); Norton et al. (1985); Bertol et al. (1987); Renard et al. (1997); Hernani et al. (1997); Streck (1999); Schick et al. (2000); Volk (2002 e 2006); Cogo & Streck (2003); Streck & Cogo (2003); Volk et al. (2004); Volk & Cogo (2008). Por oportuno, informa-se que as condições físicas superficiais e subsuperficiais do solo tratadas neste item da revisão bibliográfica são as mesmas que estiveram associadas aos resultados obtidos na presente pesquisa, como será visto adiante, na seção de resultados e discussão deste trabalho.

Diante do exposto, mais uma vez verifica-se a necessidade de se usar e tratar o solo segundo um plano de ação, previamente definido e devidamente elaborado, levando em consideração os fatores locais, desde o clima até a

ação do homem, com vistas à obtenção de condições físicas no solo como as que foram apresentadas e discutidas, para, ao mesmo tempo, conservar o solo e a água na propriedade agrícola e preservar o ambiente como um todo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, data e solo de realização da pesquisa

O experimento que gerou os dados para a elaboração deste trabalho de pesquisa foi instalado na Área Experimental de Erosão com Chuva Simulada III, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), município de Eldorado do Sul, RS, e vigiu na mesma por 3,5 anos, do início de maio de 2004 ao final de outubro de 2007. Os testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos delineados no mesmo, entretanto, foram realizados a partir da última data e se prolongaram até meados de dezembro de 2007.

A EEA/UFRGS está localizada à altura do km 146 da rodovia BR 290, na região fisiográfica Depressão Central-RS, entre as coordenadas geográficas de 30°00' e 30°15' de latitude Sul e 51°30' e 51°45' de longitude Oeste (de Greenwich), na altitude média de 46 m, distando ao redor de 60 km de Porto Alegre, RS. A região da Depressão Central-RS é caracterizada por apresentar relevo formado por planícies aluviais amplas e pendentes sedimentares onduladas de dezenas de metros. Segundo a classificação de Köeppen, o clima da mesma é do tipo Cfa - subtropical úmido com verão quente, com a temperatura do mês mais frio oscilando entre -3°C e 18°C e a do mês mais quente superior a 22°C (Mota, 1961), apresentando precipitação pluvial média anual ao redor de 1.400 mm, com média mensal aproximada de 120 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O solo utilizado na pesquisa encontra-se classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Brasil, 1973, atualizado conforme EMBRAPA, 2006, e Streck et al., 2008), tendo como material de origem o granito e apresentando as seguintes características no local do experimento: textura superficial franco-

argilo-arenosa, horizontes diagnósticos A moderado e B textural, profundidade e drenagem moderadas, declividade média de 0,115 m m⁻¹ e profundidade efetiva inferior a 0,80 m (Lopes, 1984). Na tabela 1 são apresentados os valores de algumas características físicas e o teor de matéria orgânica do solo em questão, na sua condição original de campo nativo, avaliados em fevereiro de 1995, conforme Badelucci (1997) e Cassol et al. (1999).

TABELA 1. Composição granulométrica, teor de matéria orgânica (MO), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo utilizado na pesquisa, em duas de suas camadas, avaliados em fevereiro de 1995, na sua condição original de campo nativo, conforme Badelucci (1997) e Cassol et al. (1999)

Camada do solo	Composição granulométrica			MO	Ds	Pt	DMP
	Areia	Silte	Argila				
cm	----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³	mm	
0 - 10	560	180	260	30	1,50	0,45	4,1
10 - 20	550	140	310	21	1,66	0,38	3,5

3.2. Natureza e condições de desenvolvimento da pesquisa, aparelhos e equipamentos principais utilizados e unidades e planejamento experimentais empregados na sua execução

A presente pesquisa foi de natureza básico-aplicada, desenvolvida nas condições reais de campo, porém sob a ação de chuva artificial. Para isso, empregou-se o aparelho simulador de chuva tipo de braços rotativos ou modelo Swanson (Swanson, 1965). Este aparelho é constituído de uma estrutura especial de ferro, montada sobre um chassi também de ferro, provido com quatro rodas pneumáticas, esta última feição dando pronta mobilidade ao aparelho. Possui no seu topo 10 braços horizontais giratórios, dispostos lembrando varetas de guarda-chuva aberto, construídos com ferro galvanizado, com raio efetivo de ação de 6 m cada um e contendo três bicos aspersores do tipo Vee-jet 80/100 em cada braço, sendo que, no conjunto dos braços, os bicos aspersores ficam dispostos em forma de espiral concêntrica. Quando em

operação, o referido aparelho asperge água com jato em forma de leque ou V-invertido, simultaneamente sobre duas unidades experimentais ou parcelas de erosão, dispostas em pares. O suprimento de água ao aparelho usualmente é feito com equipamento moto-bomba. Nesta pesquisa, utilizou-se um conjunto moto-bomba movido a diesel, com potência de 12 CV, instalado às margens de um pequeno açude contíguo à área experimental, o qual serviu de fonte de água para abastecer o aparelho. Na figura 1 é fornecida uma vista geral da área experimental em dada época do período de experimentação, evidenciando culturas de verão no estágio de desenvolvimento vegetativo dispostas nos pares de parcelas experimentais, ao mesmo tempo em que se vê o açude que serviu de fonte de água para abastecer o aparelho simulador de chuva. Na figura 2 é mostrado o referido aparelho simultaneamente operando sobre um par de unidades experimentais ou parcelas de erosão.



FIGURA 1. Vista geral da área experimental em dada época do período de experimentação, evidenciando o açude que serviu de fonte de água para abastecer o aparelho simulador de chuva utilizado no estudo (primeiro plano) e culturas de verão no estágio de desenvolvimento vegetativo dispostas nos pares de unidades experimentais ou parcelas de erosão (segundo plano).



FIGURA 2. Aparelho simulador de chuva utilizado no estudo (tipo de braços rotativos ou modelo Swanson), simultaneamente operando sobre um par de unidades experimentais ou parcelas de erosão.

As parcelas experimentais em pauta possuíam 3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento cada uma (área efetiva de 38,5 m²), com a maior dimensão sendo disposta no sentido da pendente do terreno, e se encontravam espaçadas uma da outra, num mesmo par, de 3,5 m, com a distância mínima de 4 m entre os pares, conforme recomendações de EMBRAPA (1975). Cada parcela foi delimitada nas laterais e porção superior por chapas galvanizadas, com 2,0 m de comprimento por 0,20 m de largura cada uma, as quais foram cravadas 0,10 m no solo. Na porção inferior de cada parcela foi instalada uma calha especial para coleta da enxurrada, confeccionada também com chapa galvanizada, à qual foi acoplado um cano plástico com 6 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, com caimento suficiente para conduzir o escoamento superficial até uma pequena trincheira localizada 6 m abaixo, onde eram, intermitentemente, a cada três minutos, coletadas as amostras de enxurrada, conforme será mais detalhado adiante. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi predeterminado que as duas parcelas constituintes de um dado par seriam as repetições dos tratamentos a serem estudados, sorteando-se nelas (par), então, os mesmos. Assim, pode-se dizer que a pesquisa foi

conduzida num delineamento experimental próximo ao completamente casualizado, com duas repetições por tratamento.

3.3. Histórico da área experimental onde foi instalado o experimento da pesquisa

Historicamente, até março de 1995, o terreno escolhido para sediar a área experimental onde foi instalado o experimento da pesquisa se encontrava na condição de campo nativo, com pastagem de baixa a regular qualidade, predominando espécies de gramíneas, com destaque para a grama forquilha (*Paspalum notatum*), em regime de pastejo de baixa carga animal (bovinos). Nessa data, foram então dados os primeiros passos para instalar a área experimental, por meio de sua demarcação e seu cercamento, para evitar a entrada de animais. Em abril de 1995 a área experimental já se encontrava instalada e pronta para uso, tendo sido utilizada pela primeira vez por Badelucci (1997), a qual realizou um estudo de infiltração de água no solo e perdas por erosão hídrica, sob a ação de chuva artificial, envolvendo diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa, porém, sem causar nenhum revolvimento no solo, o qual se estendeu até novembro de 1995. Finalizado esse estudo, a área experimental permaneceu em pousio (sem cultivo) até fins de março de 1996, com o objetivo de recuperar a massa vegetativa original, quando então novamente predominava na mesma a pastagem nativa de gramíneas referida no início desta exposição. Ao final de abril de 1996, a área experimental foi dessecada quimicamente, por meio da aplicação de herbicida, e, a partir do final de maio do mesmo ano, passou a ser usada para um estudo desenvolvido por Streck (1999), versando sobre o efeito residual da pastagem nativa dessecada, sem e com preparo do solo, portanto sem e com incorporação dos resíduos culturais, sobre a erosão hídrica e parâmetros relacionados, também sob a ação de chuva artificial. Completada a fase de campo desse estudo, em maio de 1997, parte da área experimental passou a ser utilizada para um estudo desenvolvido por Moraes (1999), versando sobre comprimentos críticos de declive para redução da erosão hídrica pluvial em diferentes tipos e formas de manejo de resíduo cultural na técnica de semeadura direta, novamente sob a ação de chuva artificial, porém, dessa vez, concomitante à aplicação de fluxos extras de água limpa na cabeceira das

parcelas experimentais para simular longos comprimentos de rampa, requeridos nesse tipo de estudo. Finalizada a fase de campo desse estudo, em outubro de 1998, a área experimental foi mantida com os mesmos preparos de solo e as mesmas seqüências culturais que vinham sendo utilizados pelos dois últimos autores referidos, até abril de 2000, quando, então, foi iniciado o último estudo na mesma, anterior a este, desenvolvido por Volk (2006). Este autor investigou o efeito residual do uso da terra (subfator “PLU – Prior Land Use” do modelo “RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation” de predição da erosão hídrica – Renard et al., 1997) na qualidade da estrutura do solo, relacionado à erosão hídrica pluvial e ao escoamento superficial a ela associado. Para isso, o referido autor, a partir de maio de 2000 e até outubro de 2003 (3,5 anos), empregou diferentes formas de manejo do solo na área experimental, incluindo sem e com preparo do solo, sem e com cultivo (espécies e seqüências culturais de ciclo anual distintas), cultivo contínuo e cultivo descontínuo e sem e com resíduos culturais na superfície do solo. Finalizado esse período de experimentação, ao final de outubro de 2003, as culturas que vigiam na área experimental foram colhidas e o autor em referência deu início aos testes de erosão com chuva simulada para concretização do seu estudo, os quais foram finalizados ao final de abril de 2004. Nesse período (seis meses), o autor realizou sete testes de erosão com chuva simulada, os dois primeiros com o solo sem ter sofrido nenhuma mobilização (o primeiro deles com cobertura integral por resíduos culturais e o segundo com muito pouco dela, entretanto) e os cinco restantes com o solo tendo sido mobilizado, antes de cada teste, por meio de uma operação única com grade leve ou niveladora, com 36 discos, operando no solo à profundidade de 0,10/0,12 m, e mantido sempre descoberto. É fácil deduzir, pois, que ao final do estudo de Volk (2006) o solo se encontrava bastante desestruturado, tendo sofrido a ação contínua, em relativamente curto espaço de tempo (seis meses), de cinco operações de gradagem e de sete testes de erosão com chuva simulada (de alta intensidade - $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ - e de longa duração - 90 min), além de estar ausente de plantas (cultivadas ou espontâneas) também já por seis meses. Assim, pode-se dizer que o solo utilizado na pesquisa se encontrava, no seu início, de modo geral degradado, conforme pode ser visto na tabela 2, comparando-se os teores de matéria orgânica e os valores de

diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo entre as suas condições original e alterada. Nesta última condição de solo, no início de maio de 2004, foi então dado início à presente pesquisa, reiniciando-se o cultivo do solo na área experimental do modo como será descrito em breve, que, de fato, se constituiu nos tratamentos principais da mesma.

Ao encerrar o relato do histórico da área experimental, e antes de iniciar o relato do que virá daqui para frente, relativo à esta pesquisa, cumpre informar que as operações de preparo do solo e semeadura das culturas neste tipo de pesquisa são (e foram) realizadas no sentido do declive do terreno, conforme filosofia de obtenção de valores do fator C – cobertura e manejo do solo do modelo “RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation” de predição da erosão hídrica (Renard et al., 1997).

TABELA 2. Teor de matéria orgânica e valores de algumas características físicas do solo original da área experimental (condição de campo nativo), avaliados em fevereiro de 1995¹, e do mesmo solo, porém alterado (degradado por ação antrópica, correspondendo ao início da pesquisa), avaliados em abril de 2004²

Característica do solo	Prof. (cm)	Condição física do solo	
		original	alterada
Teor de matéria orgânica, g kg ⁻¹	0-10	30,0	19,0
	10-20	21,0	18,0
Densidade do solo, Mg m ⁻³	0-10	1,50	³
	10-20	1,66	-
Porosidade total, m ³ m ⁻³	0-10	0,45	-
	10-20	0,38	-
Diâm. méd. pond. agreg. - DMP, mm	0-10	4,1	1,0
	10-20	3,5	0,9

¹Badelucci, 1997; Cassol et al., 1999. ²Volk, 2006; Volk & Cogo, 2008. ³Não determinado.

3.4. Adequação do solo na área experimental para implantação dos tratamentos da pesquisa

Antes da implantação dos tratamentos da presente pesquisa, o solo da área experimental teve sua acidez (pH) e fertilidade básica (NPK) corrigidas. Para isso, aplicou-se ao mesmo, superficial, manualmente e a lanço, 6 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT de 65%) e 600 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK (5-20-20), os quais foram incorporados na sua camada superficial (0-0,10/0,12 m) por meio de uma operação única com grade leve ou niveladora, com 36 discos,

com o propósito de misturá-los e, assim, conferir maior uniformidade à área experimental. Em prosseguimento, ao final de maio de 2004, deu-se início ao cultivo do solo na área experimental propriamente dito, com vistas à construção dos tratamentos da pesquisa, os quais serão especificados a seguir.

3.5. Tratamentos da pesquisa e sua operacionalização

Os tratamentos da pesquisa foram constituídos de espécies culturais de ciclo sazonal (outono-inverno e primavera-verão), dispostas no modo de sucessão contínua, incluindo cultivos isolados e cultivos consorciados, na maior parte das vezes implantadas em linha e de forma tratorizada (adiante serão fornecidos maiores detalhes a este respeito), no método de semeadura direta ou sem preparo do solo (exceto o primeiro cultivo, em função da operação de adequação do solo na área experimental, em que foi usado grade, conforme mencionado no item anterior). As culturas que constituíram as seqüências culturais do período de outono-inverno foram as de aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca (*Vicia sativa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), trevo alexandrino (*Trifolium alexandrinum*) - cultivar Calipso, e azevém (*Lolium multiflorum* L.), enquanto que as do período de primavera-verão foram as de milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum*), teosinto (*Euchlaena mexicana* Schrad), feijão miúdo (*Vigna unguiculata*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformes* L.). O número de vezes que estas culturas tomaram parte no experimento e a forma como elas integraram as seqüências culturais e foram dispostas nos pares de parcela da área experimental são apresentados na tabela 3.

No que se refere às seqüências culturais arroladas na tabela 3, cumpre dizer que, por ocasião do planejamento da pesquisa, tinha-se em mente colocar no experimento, em cada seqüência cultural, sempre as mesmas culturas, repetidamente.

TABELA 3. Disposição espacial e temporal das seqüências culturais usadas na pesquisa (tratamentos principais estudados), implantadas pelo método de semeadura direta ou sem preparo do solo¹

Par de parcelas	Ano de 2004		Ano de 2005		Ano de 2006		Ano de 2007	Convenção usada neste trabalho
	Out.-Inv. ² .	Prim.-Ver. ³ .	Out.-Inv.	Prim.-Ver.	Out.-Inv.	Prim.-Ver.	Out.-Inv.	
1 e 2	Aveia preta	Feijão miúdo	Aveia preta+ Ervilhaca	Feijão miúdo	Aveia preta+ Ervilhaca	Feijão miúdo	Aveia preta+ Ervilhaca	1Av,3Av+Er/3Fm
3 e 4	Aveia preta	Feijão miúdo	Aveia preta	Teosinto	Aveia preta	Teosinto	Aveia preta	4Av/1Fm,2Te
5 e 6	Aveia preta	Feijão miúdo	Trevo alexandrino	Milho+Feijão miúdo	Nabo forrageiro	Milho+ Feijão miúdo	Azevém	1Av, Tr, Nf, Az/1Fm, 2Mi+Fm
7 e 8	Parcela padrão ⁴	Feijão miúdo	Aveia preta+ Ervilhaca	Milheto	Aveia preta+ Nabo forrageiro	Milheto	Aveia preta+ Azevém	1Sc, Av+Er, Av+Nf, Av+Az/ 1Fm, 2Mt
9 e 10	Aveia preta	Feijão miúdo	Ervilhaca	Milho+Feijão de porco	Ervilhaca	Milho+Feijão de porco	Ervilhaca	1Av, 3Er/1Fm, 2Mi+Fp

¹Exceto o cultivo de aveia preta no outono-inverno de 2004, cuja semeadura foi efetuada após o solo ter sido mobilizado com grade leve, para incorporação do calcário e do adubo usados na correção da sua acidez e da sua fertilidade, por ocasião da sua adequação na área experimental. ²Out.-Inv.=outono-inverno. ³Prim-Ver.=primavera-verão. ⁴Parcela unitária de Wischmeier & Smith (1978), desde maio de 1996, caracterizada por ser continuamente preparada pelo método convencional (1 aração+2 gradagens) e mantida descoberta (sem cultivo e livre de vegetação espontânea).

Entretanto, por razões diversas (em parte relatadas ao final deste item), isto não foi possível, lamentavelmente, o que também não invalidou o propósito principal da pesquisa, frisa-se, embora se saiba que foi uma fonte de variação (circunstancial e com grau de influência não sabido) introduzida no experimento. Informa-se ainda que, por quase dois terços do tempo de experimentação, as plantas nas parcelas experimentais estiveram sujeitas a estiagens, tendo em vista que somente no verão de 2006/2007 é que foi possível instalar equipamento de irrigação na área experimental, com as culturas passando a ser irrigadas sempre que necessário.

No que diz respeito à época de semeadura das culturas, as de ciclo cultural de outono-inverno foram sempre implantadas em maio/junho, enquanto que as de ciclo de primavera-verão em outubro/novembro, e sempre sobre os resíduos culturais (dessecados e/ou roçados e/ou rolados) pré-existentes (remanescentes dos cultivos anteriores), exceto o último cultivo (culturas do período de outono-inverno de 2007), para o qual os resíduos culturais, na medida do possível (para não alterar muito a condição física da superfície do solo, há três anos sendo construída, com vistas à realização dos três primeiros testes de erosão com chuva simulada, conforme será melhor explicado adiante), foram todos retirados da superfície do solo nas parcelas experimentais (desejava-se, por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, quando fosse o caso, ter resíduos culturais somente das últimas culturas inseridas no experimento).

Quanto à forma de semeadura das culturas, exceto o cultivo (todas as suas culturas) nos períodos de outono-inverno de 2006 e 2007, em que foi feita manualmente, a lanço, e o cultivo do feijão de porco nos períodos de primavera-verão de 2005/2006 e 2006/2007, em que também foi feita manualmente, porém, em covas, foi feita em linha e de forma tratorizada, no método de semeadura direta ou sem preparo do solo. Para isso, usou-se máquina semeadora-adubadora de fluxo contínuo com discos duplos desencontrados (funções de corte da palha ou restos culturais e deposição das sementes na profundidade de solo de 0,04/0,06 m) para implantar as culturas de aveia preta, ervilhaca, trevo alexandrino, milho e teosinto, e máquina semeadora-adubadora de precisão com hastes sulcadoras (ponteiras de 0,02

m de largura cada uma, com o propósito de colocar o adubo na profundidade de solo de 0,10/0,12 m) para implantar as culturas de milho e feijão miúdo.

Em relação à densidade de semeadura das culturas (massa de sementes ou número planejado de plantas por unidade de área) e espaçamento entre suas linhas (para as culturas semeadas em fileira), procedeu-se da forma como segue, conforme a cultura (espécie vegetal) e seu modo de cultivo (isolado ou consorciado e em linha ou a lanço). Assim, quando cultivada no modo isolado, em linha e de forma tratorizada, a aveia preta foi semeada no espaçamento de 0,17 m entre linhas e na dose de 80 kg de sementes ha^{-1} , enquanto que, quando semeada manualmente e a lanço, também como cultivo isolado, na dose de 100 kg de sementes ha^{-1} . Quando consorciada com a ervilhaca e as duas culturas sendo semeadas em linha e de forma tratorizada, o espaçamento entre linhas continuou sendo de 0,17 m, porém, as doses usadas foram de 60 kg de sementes ha^{-1} para a aveia preta e 30 kg de sementes ha^{-1} para a ervilhaca. Quando consorciada com o nabo forrageiro e as duas culturas também sendo semeadas manualmente e a lanço, as doses foram de 80 kg de sementes ha^{-1} para a aveia preta e 15 kg de sementes ha^{-1} para o nabo forrageiro. Quando consorciada com o azevém e as duas culturas novamente sendo semeadas manualmente e a lanço, as doses foram de 50 kg de sementes ha^{-1} para a aveia preta e 8 kg de sementes ha^{-1} para o azevém. A ervilhaca, como cultivo isolado, foi semeada em linha, de forma tratorizada, no espaçamento de 0,17 m entre linhas e na dose de 40 kg de sementes ha^{-1} . O nabo forrageiro e o azevém ambos foram implantados como cultivo isolado, manualmente, a lanço, na dose de 15 kg de sementes ha^{-1} para cada um deles. O feijão miúdo, também como cultivo isolado, foi semeado em linha, de forma tratorizada, no espaçamento de 0,45 m entre linhas e na população planejada de 350.000 plantas ha^{-1} . Quando consorciado com o milho e as duas culturas sendo semeadas em linha e de forma tratorizada, o espaçamento entre linhas foi de 0,90 m para ambos (um por entre as fileiras do outro, entretanto, ficando fileiras de planta nas parcelas experimentais a cada 0,45 m), e as populações planejadas a metade do normal para cada um deles, ou seja, 30.000 plantas ha^{-1} para o milho e 175.000 plantas ha^{-1} para o feijão miúdo. O trevo alexandrino, o milheto e o teosinto foram cultivados apenas no modo isolado, em linha, de forma tratorizada e no

espaçamento de 0,17 m entre linhas, sendo que na dose de 12 kg de sementes ha^{-1} para o trevo alexandrino, 20 kg de sementes ha^{-1} para o milho e 60 kg de sementes ha^{-1} para o teosinto. A consorciação milho+feijão de porco teve ambas as suas culturas semeadas em linha, no espaçamento de 0,90 m (uma por entre as fileiras da outra, entretanto, ficando fileiras de planta nas parcelas experimentais a cada 0,45 m), sendo que o milho de forma tratorizada e na população planejada a metade do normal, ou seja, 30.000 plantas ha^{-1} , e o feijão de porco de forma manual, em covas (abertas com enxada, distanciadas uma da outra de 0,20 m, com duas sementes por cova), e na população planejada também a metade do normal, ou seja, 90.000 plantas ha^{-1} .

Com respeito à adubação usada no experimento, em adição à da correção do solo, efetuada por ocasião da sua adequação na área experimental (item 3.4), foram feitas a de manutenção básica das culturas (NPK) e a nitrogenada de cobertura (N). Para isso, em relação à primeira aplicou-se, em cada ciclo cultural (todas as suas culturas), por ocasião da operação de semeadura, 400 kg ha^{-1} de fertilizante NPK (5-20-20). Esta aplicação se deu na profundidade de solo de 0,10/0,12 m para as culturas que foram implantadas usando máquina semeadora-adubadora de precisão com hastes sulcadoras e de 0,04/0,06 m para as culturas que foram implantadas usando máquina semeadora-adubadora de fluxo contínuo com discos duplos desencontrados, conforme mencionado no quarto parágrafo deste item. Quanto à adubação nitrogenada de cobertura, também foi feita em cada ciclo cultural, porém somente para as espécies não-leguminosas e na forma manual, sendo que a lança nos cultivos isolados e na linha de semeadura das culturas não-leguminosas nos cultivos consorciados, dividida em duas aplicações. A primeira aplicação se deu aos 30-40 dias e a segunda aos 50-60 dias da semeadura (na média das vezes em que foram feitas durante o período experimental, cada uma delas na dose de 100 kg ha^{-1} do fertilizante uréia (45% de N), o que equivaleu à dose de 45 kg N ha^{-1} em cada aplicação.

No que se relaciona com o controle de inços ou plantas espontâneas, foi feito mecanicamente, por meio de capinas manuais, e quimicamente, por meio da aplicação de herbicidas, na maior parte das vezes tendo sido usado glifosato em pré-semeadura das culturas, mas também fluazifop-p-butil na cultura do feijão miúdo, com suas plantas já tendo sido estabelecidas. Estes

herbicidas foram usados em doses variadas, conforme o tipo de plantas espontâneas presente e o grau de infestação das mesmas, mas sempre na faixa da recomendação técnica.

No que tange à colheita das culturas propriamente dita (retirada das plantas das parcelas experimentais – exceto as espigas de milho que sempre foram retiradas das suas plantas), não foi realizada. O que se fez, pouco antes de sua época, em cada ciclo cultural, foi dessecar (quimicamente com a aplicação de herbicidas, usando pulverizador costal) e/ou roçar (com roçadora costal ou com roçadora tratorizada) e/ou rolar (com rolo-faca tratorizado) as plantas nas parcelas experimentais, conforme o tipo e a quantidade das biomassas aéreas presentes, o estado em que se encontravam as plantas naquele momento, se eretas e/ou se deitadas/semi-deitadas, e o tipo e grau de infestação das plantas espontâneas presentes, deixando os resíduos culturais (todos os tipos) uniformemente espalhados na superfície do solo para a semeadura das culturas seguintes (exceto o último cultivo do experimento – culturas do ciclo de outono-inverno de 2007, para o qual os resíduos culturais, na medida do possível, foram retirados da superfície do solo nas parcelas experimentais, conforme mencionado no terceiro parágrafo deste item).

Para encerrar o relato associado com a descrição da operacionalização dos tratamentos da pesquisa, cumpre informar alguns imprevistos e contratemporalidade ocasional, circunstancial e naturalmente ocorridos durante o seu desenvolvimento. Esses acontecimentos, em algum grau, em uma e/ou outra época do estudo, interferiram nos resultados da pesquisa, cabendo mencionar os seguintes: não-uniformidade de condições na superfície do solo nas parcelas experimentais (mesmo nas repetições dos tratamentos), especialmente por ocasião da operação de semeadura das culturas e da preparação dos testes de erosão com chuva simulada, causada pelas operações mecanizadas nas mesmas com máquinas e equipamentos tratorizados, em função do seu relativamente pequeno tamanho (3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento ou 38,5 m² de área) frente a tal porte de maquinário (tamanho médio, compatível para tração com trator de 75 CV de potência); faltas de chuva em quase dois terços do período experimental (somente no verão de 2006/2007 foi possível instalar equipamento de irrigação na área experimental, com as culturas passando a ser irrigadas sempre que

necessário, conforme mencionado no segundo parágrafo deste item); desiguais falhas na germinação das sementes e, conseqüentemente, desiguais operações de ressemeadura das culturas; desiguais entradas de animais (silvestre - rato-do-banhado - e doméstico - gado) na área experimental, com desiguais ataques às plantas nas unidades de observação, e desiguais reincidências de plantas espontâneas também nestas últimas, fatos estes que (nitidamente se viu) interferiram no desenvolvimento normal e das plantas, mesmo em uma mesma parcela experimental, conseqüentemente, provavelmente também no seu efeito no solo, principalmente no que se refere à ação de suas raízes e dos mecanismos a elas associados. Mesmo assim, como também frisado quando da exposição do planejamento inicial da pesquisa, em relação aos tipos de cultura que se tinha em mente colocar no experimento em cada seqüência cultural - segundo parágrafo deste item -, os acontecimentos narrados não invalidaram o propósito principal da mesma, em que pese se saber que, também, foram fontes de variação (involuntárias e com grau de influência não sabido) introduzidas no experimento.

3.6. Testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa e sua operacionalização

Foram aplicados seis testes de erosão com chuva simulada (T1 a T6) nos tratamentos da presente pesquisa, no período compreendido entre fins de outubro e meados de dezembro de 2007, sem mais haver plantas nas parcelas experimentais (somente os seus resíduos culturais – dessecados - foram usados nesta fase da pesquisa), empregando-se o aparelho simulador de chuva descrito no item 3.2 (de braços rotativos ou modelo Swanson). Cada teste consistiu da aplicação de uma chuva com intensidade constante planejada de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ e duração variável (60 a 180 minutos), dependendo do comportamento da enxurrada, basicamente tempos de início e equilíbrio, em dado tratamento, e foram caracterizados da forma como será descrita a seguir, com o que se encontra sublinhado na descrição destacando o aspecto principal ou a condição básica de estudo no teste em voga, para sua melhor mentalização.

- Teste 1 (T1): solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% de cobertura superficial (constituída de plantas dessecadas por meio da aplicação de herbicida, roçadas com roçadora costal e uniformemente espalhadas na superfície do solo nas parcelas experimentais); realizado em 25 e 26 de outubro de 2007; doravante este teste será referido como T1 - solo não-mobilizado, crosta natural, 100% de cobertura superficial.

- Teste 2 (T2): solo não-mobilizado, crosta rompida (manual e levemente, com ancinho de dentes de plástico, durante a operação de retirada dos resíduos culturais das parcelas experimentais após a realização de T1), 18% (média de valores entre 15% e 20%) de cobertura superficial (remanescente da operação descrita imediatamente acima, que não foi possível retirar para não alterar muito a superfície do solo nas parcelas experimentais); realizado em 03 e 04 de novembro de 2007; doravante este teste será referido como T2 - solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% de cobertura superficial.

- Teste 3 (T3): solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta tênue ou recente (formada naturalmente após a realização de T2), 18% (média de valores entre 15% e 20%) de cobertura superficial (remanescente de T2); realizado em 09 de novembro de 2007; doravante este teste será referido como T3 - solo não-mobilizado, crosta recente, 18% de cobertura superficial.

- Teste 4 (T4): solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% de cobertura superficial (adicionada manualmente, usando os resíduos culturais que haviam sido retirados para a realização de T2); realizado em 15 e 16 de novembro de 2007; doravante este teste será referido como T4 - solo recém-escarificado, 100% de cobertura superficial.

- Teste 5 (T5): solo previamente escarificado (antes da realização de T4), 18% (média de valores entre 15% e 20%) de cobertura superficial (remanescente da operação de retirada dos resíduos culturais após a realização de T4), que não foi possível retirar para não alterar muito a superfície do solo nas parcelas experimentais; realizado em 23 de novembro de 2007; doravante este teste será referido como T5 - solo previamente escarificado; 18% de cobertura superficial.

- Teste 6 (T6): solo recém-gradeado (após a realização de T5), 0% de cobertura superficial (a pequena quantidade de resíduo cultural remanescente de T5 foi toda incorporada na camada superficial do solo durante a sua operação de gradagem); realizado em 13 e 14 de dezembro de 2007; doravante este teste será referido como T6 - solo recém-gradeado, 0% de cobertura ou descoberto.

O escarificador usado no quarto teste de erosão (T4) foi o de hastes parabólicas, com ponteiros estreitas (0,06 m de largura cada uma), em número de cinco, distanciadas uma da outra de 0,45 m e operando no solo à profundidade de 0,20/0,25 m. A grade usada no sexto teste de erosão (T6) foi a leve ou niveladora, com 36 discos, operando no solo à profundidade de 0,10/0,12 m. Uma vista da superfície do solo nas parcelas experimentais, logo após a construção da condição básica de estudo em cada teste de erosão com chuva simulada arrolados acima, é fornecida na figura 3.



FIGURA 3. Vista da superfície do solo nas parcelas experimentais logo após a construção da condição básica de estudo em cada teste de erosão com chuva simulada (T1 a T6), porém antes da sua realização (obs: a superfície de solo escarificada e com 0% de cobertura superficial – cs – mostrada acima não recebeu chuva simulada, constando na figura apenas para fins de ilustração).

3.7. Amostragens e determinações

No transcurso da pesquisa (maio de 2004 a dezembro de 2007) foram feitas amostragens e determinações diversas, no campo e no laboratório, englobando variáveis de manejo do solo (medidas nas parcelas experimentais) e variáveis de erosão hídrica do solo (medidas no escoamento superficial). Para a elaboração deste trabalho, entretanto, foram usados somente os resultados das medições efetuadas no terço final do período de experimentação (março de 2006 a dezembro de 2007).

3.7.1. Variáveis de manejo do solo

3.7.1.1. Biomassa vegetal aérea (dossel)

A biomassa vegetal aérea (dossel) foi avaliada quando as culturas já haviam completado o seu estágio de desenvolvimento vegetativo, coletando-se amostras das mesmas (plantas) de uma área de 1 m² ou 0,24 m², respectivamente, em um ou dois locais representativos dentro de cada parcela experimental, conforme a situação (tipo de cultura sendo avaliada e uniformidade do seu desenvolvimento dentro da parcela). Após a coleta, as amostras foram ensacadas, levadas para o laboratório, postas a secar em estufa com ventilação forçada a 60°C por três a quatro dias e pesadas, após o que retornaram aos seus respectivos lugares nas parcelas experimentais. Efetuou-se os devidos cálculos e conversões e usou-se a média (quando foi o caso) dos valores obtidos como referência. Os resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

3.7.1.2. Percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais

A percentagem de cobertura do solo por resíduos culturais foi avaliada diretamente no campo, usando-se o método da corda marcada ou linha de transeção de pontos, com 10 m de comprimento e marcas a cada 0,10 m, conforme descrito em Hartwig & Laflen (1978). Foram efetuadas leituras de percentagem de cobertura do solo nas duas diagonais de cada parcela

experimental, usando-se a média dos valores obtidos como referência. Os resultados foram expressos na forma percentual (%).

3.7.1.3. Biomassa vegetal subterrânea (raízes)

A biomassa vegetal subterrânea (raízes) foi avaliada em diferentes épocas, especificadas em tabela própria na seção dos Resultados e Discussão, coletando-se uma amostra composta de solo, constituída de seis ou doze subamostras, respectivamente, aleatoriamente em seis locais para as culturas semeadas a lanço ou dos locais representativos para as culturas semeadas em linha, dentro de cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. No caso das culturas semeadas em linha, foram retiradas seis subamostras de cada local previamente selecionado (dois, conforme mencionado acima), sendo duas na linha, entre as plantas, e duas de cada lado da linha, entre as fileiras, circundando uma ou mais plantas, conforme a cultura. Para isso, usou-se trado de ferro de formato cilíndrico com 4,75 cm de diâmetro, o que equivaleu ao volume amostrado de solo de $173,5 \text{ cm}^3$ para cada subamostra, em cada camada amostrada de solo com 10 cm de espessura (exceto a amostragem feita por ocasião da realização do sexto teste de erosão com chuva simulada - T6 -, para a qual foi usado trado de ferro de formato cilíndrico com 5,9 cm de diâmetro - novo trado adquirido -, equivalendo ao volume amostrado de solo de $273,4 \text{ cm}^3$ para cada subamostra, em cada camada amostrada de solo com 10 cm espessura). Estas amostragens foram feitas quando as culturas se encontravam próximo do fillorescimento, igualmente como se procedeu com a avaliação da biomassa aérea, e também por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, quando foi o caso. Finalizada a operação de coleta, as amostras de solo contendo raízes foram levadas para o laboratório e postas a secar ao ar por dois a três dias. Em prosseguimento, as amostras foram imersas em balde contendo água, sendo leve e manualmente destorroadas, derramadas por sobre peneira com malha de 0,5 mm e colocadas sob jato de água de torneira, lavando-se e separando-se as raízes da massa de solo que as envolviam. Feito isto, as amostras foram transferidas para latas de alumínio, postas a secar em estufa a 60°C por 24 a 48 horas e pesadas. Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em kg ha^{-1} .

3.7.1.4. Teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo

Para estas avaliações, foi coletada uma amostra composta de solo, constituída de seis subamostras, em locais aleatórios dentro de cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, conforme a situação (propósito da determinação e tipo do teste de erosão a ser realizado), usando trado calador convencional. Para determinação do teor de matéria orgânica as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises (de rotina) de Solo e Água do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, tendo sido analisadas pelo método da combustão úmida com dicromato de potássio - Walkley & Black -, conforme descrito em Tedesco et al. (1995), enquanto que para determinação do teor de carbono orgânico foram moídas em almofariz de ágata e analisadas no Laboratório de Manejo do Solo da mesma instituição referida, usando-se o método da combustão seca a 900°C e com o CO₂ gerado sendo quantificado em detector de infravermelho em analisador Shimadzu TOC-VCSH, conforme descrito em Zanatta et al. (2007).

3.7.1.5. Teor de glomalina no solo

A glomalina é definida como um composto de natureza glicoproteica, extraído do solo em autoclave com tampão de ácido cítrico e detectada pelo teste Bradford (Bradford, 1976) e (Rilling et al, 2002). A sua ocorrência no solo se dá em função do envolvimento de fungos micorrízicos arbusculares no armazenamento de carbono (C) no solo, para produzir uma glicoproteína, denominada de glomalina, a qual tem influência na estabilidade dos agregados do solo. Esses fungos tendo sido bastante estudados e mostram-se importantes nos mecanismos de absorção de nutrientes pelas plantas (Miranda, 2002) e na agregação do solo (Wright et al, 1998). Eles formam uma associação simbiótica com as raízes das plantas, com suas hifas externas atuando como uma extensão do sistema radicular das mesmas, absorvendo nutrientes de um volume de solo maior do que o normalmente alcançado pelas raízes não colonizadas, e por isto constituindo um aspecto importante na absorção de nutrientes do solo pelas plantas. Quanto à estruturação do solo, o

micélio externo do fungo agrega as suas partículas e efetivamente contribui na estabilização dos seus agregados (Wright et al, 1998).

O teor de glomalina no solo foi avaliado coletando-se uma amostra composta deste último, constituída de seis subamostras, em locais aleatórios dentro de cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, usando trado calador convencional. Finda a operação de coleta, as amostras foram devidamente acondicionadas e enviadas para análise no Laboratório de Microbiologia do Solo do CPATC/EMBRAPA, em Aracaju, SE. Existem diferentes procedimentos para remover a glomalina do solo, alguns complicados, como a técnica de fluorescência, que requer o uso de anticorpos e que expressa a glomalina imunoreativa. Neste trabalho, foi utilizado o método simplificado descrito por Bradford (1976), que expressa a glomalina facilmente extraível. Em um tubo de centrifuga, misturaram-se 1,0 g de solo e 8 ml de citrato de sódio 50 mM, usado como tampão, com a mistura tendo sido autoclavada a 121°C por 30 minutos e centrifugada a 5000 xg (15 min.). O sobrenadante foi coletado e analisado colorimetricamente quanto ao conteúdo de proteína. O teor de proteína foi expresso em equivalentes de soro albumina bovina, utilizada como padrão de proteínas na curva padrão. Os resultados foram expressos em mg de proteína g⁻¹ de solo.

3.7.1.6. Evolução de CO₂ do solo

A evolução de CO₂ do solo foi avaliada coletando-se uma amostra composta do mesmo, constituída de seis subamostras, em locais aleatórios dentro de cada parcela experimental, na sua camada de 0 a 5 cm, usando trado calador convencional. Finda a operação de coleta, as amostras foram devidamente preparadas e analisadas pelo método descrito em Stotzky (1965). As unidades experimentais foram constituídas de recipientes de vidro com capacidade de armazenamento de 800 mL, providos de tampas herméticas. Para a análise da evolução do CO₂ propriamente dita, foi utilizada uma amostra de solo com peso de 100 g, incubada à temperatura ambiente, com a umidade do solo tendo sido ajustada para 75% do valor da sua capacidade de campo. Foram também utilizados três recipientes sem solo como controle. O CO₂ produzido foi capturado por uma solução de NaOH 0,5 M e quantificado por

titulação com HCl 0,3 M, tendo antes sido adicionado BaCl_2 a 30% e utilizado fenolftaleína a 1% como indicador. Foram realizadas titulações diárias, com os valores obtidos sendo somados para se obter o valor referente ao período de 30 dias de incubação. Os resultados foram expressos em $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg solo}^{-1}$.

3.7.1.7. Diâmetro médio ponderado (DMP) e percentagens de agregação e estabilidade de agregados do solo

O diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo foi obtido usando-se as técnicas de peneiramento a úmido e a seco, sendo a primeira nos modos sem e com remoção da fração areia da amostra ou classe de agregados. Por sua vez, as percentagens de agregação e estabilidade de agregados do solo em água, para agregados maiores do que 0,5 mm, foram calculadas com base nos resultados da análise de distribuição de tamanho de agregados do solo efetuada pela técnica de peneiramento a úmido, porém após remover-se a fração areia de cada amostra ou classe de agregados. Para qualquer das determinações referidas, foi coletada uma amostra composta de solo, constituída de duas subamostras, em dois locais representativos dentro cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Estas amostras foram tamisadas ainda no campo, sob a umidade atual do solo, usando-se peneiras com abertura de malha de 7,96 mm e 4,76 mm, sobrepostas nesta ordem. A porção de solo que ficou retida na peneira de menor tamanho de malha foi acondicionada em pote plástico e levada para o laboratório para posterior análise de distribuição de tamanho de agregados propriamente dita, conforme será especificado a seguir.

As amostras de solo trazidas do campo, contendo agregados do solo com tamanho entre 7,96 mm e 4,76 mm, foram postas a secar ao ar por 24 a 48 horas. Findo este tempo, as amostras foram novamente tamisadas na peneira com malha de 4,76 mm, descartando-se a porção que passava pela mesma. Para a análise da distribuição de tamanho de agregados do solo a úmido (duas repetições de laboratório), utilizou-se a metodologia descrita por Kemper e Chepil (1965), fundamentalmente baseada no método original de Yoder (1936), exceto que utilizando amostra de solo com massa de 50 g (seca ao ar) e tempo e velocidade de oscilação do conjunto de peneiras em água de,

respectivamente, 10 minutos e 45 ciclos por minuto. As peneiras usadas nesta análise foram as de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm de abertura de malha. Finda a operação de peneiramento em água, a massa de agregados de solo retida em cada peneira foi transferida com o auxílio de bisnaga plástica contendo água para latas de alumínio, posta a secar em estufa a 105°C durante 24 a 48 horas e pesada. Feito isto, calculou-se a distribuição percentual de agregados (base de massa) nas diferentes classes de tamanho, por meio da razão entre a massa de agregados contida em cada peneira e a massa total de solo utilizada na amostra (50 g, porém, corrigida para massa de solo seca em estufa a 105°C). Após devidamente ponderar-se os valores obtidos, a distribuição de tamanho de agregados do solo em água foi representada pelo índice DMP - diâmetro médio ponderado, expresso em mm, o qual foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$DMP = \sum_{k=1}^n (AGR_k - C_k)$$

em que AGR_k é a proporção de agregados em cada classe de tamanho em relação ao total da amostra e C_k é o diâmetro médio de cada classe em mm, conforme descrito em Silva (1993). O mesmo procedimento e os mesmos tamanhos de peneira foram usados na análise da distribuição de tamanho de agregados do solo a seco (efetuada somente no modo sem remoção da fração areia da amostra ou classe de agregados), exceto que usando-se o aparelho Produtest, da Soil Test, no tempo de oscilação do conjunto de peneiras de 1 minuto. De posse dos valores de DMP a úmido e a seco, ambos obtidos no modo sem remoção da fração areia das amostras ou classes de agregados, foi calculada a razão DMP úmido/DMP seco, a qual foi utilizada como um índice de estabilidade dos agregados de solo. No que se refere às percentagens de agregação e estabilidade de agregados de solo em água maiores do que 0,5 mm, foram calculadas com base nos valores da análise de distribuição de tamanho de agregados do solo a úmido, porém após remover-se a fração areia das amostras ou classes de agregados, o que foi feito adicionando-se às mesmas uma solução de hidróxido de sódio a 1%, usado como dispersante, em quantidade suficiente para cobrir toda a massa ou porção de agregados. Em prosseguimento, lavou-se a fração areia das amostras de agregados sob

jato de água de torneira, usando um conjunto de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50 mm, sobrepostas nesta ordem. Uma vez separada a fração areia das amostras de agregados, retornou-se as mesmas para suas respectivas latas de alumínio e secou-se em estufa a 105°C durante 24 a 48 horas, após o que foram pesadas e efetuados os devidos cálculos, conforme descrito em Embrapa (1979). Os resultados foram expressos na forma percentual (%), tanto para a proporção de agregação quanto para a proporção de estabilidade de agregados, ambas para agregados de solo maiores do que 0,5 mm.

3.7.1.8. Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo

Para estas avaliações, foram coletadas duas amostras indeformadas de solo, em dois locais representativos dentro de cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, utilizando-se anéis volumétricos com 5,0 cm de altura e 8,5 cm de diâmetro, e tomando-se a média dos valores obtidos como referência. A densidade do solo foi determinada pelo método descrito por Forsythe (1975) e expressa em Mg m^{-3} , a porosidade total pelo método descrito por Danielson & Sutherland (1986) e expressa em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, enquanto que a macro e a microporosidade foram determinadas por sucção, utilizando funil e coluna de água com 0,60 m de altura, conforme descrito por Bouma (1973), e também sendo expressas em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

3.7.1.9. Resistência do solo à penetração mecânica

Para esta avaliação, foram tomadas leituras diretamente no solo, dentro das parcelas experimentais, com dois equipamentos distintos: penetrógrafo estático da SOILCONTROL (modelo Penetrographer^{PTA} SC-60, SAE S313.2), com ponteira de 1,28 cm de diâmetro e área de secção transversal de 1,287 cm^2 , e penetrômetro estático de bolso da CHANTILLON-NY/USA (modelo Gauge-R), com diâmetro do pistão de 0,5 cm e área de secção transversal de 0,196 cm^2 , conforme descrito em Forsythe (1975). Independentemente do equipamento utilizado na medição, foram tomadas leituras de resistência do solo à penetração mecânica em cinco locais aleatórios dentro de cada parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 0,5 cm quando foi usado o penetrômetro e de 0 a 60 cm quando foi usado o

penetrógrafo, tomando-se a média das leituras como referência, ao mesmo tempo em que foram coletadas amostras de solo (camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm) para avaliação do teor de água no momento das medições. De posse dos resultados das leituras obtidas com o penetrógrafo, calculou-se o índice de cone para a camada de solo de 0 a 15 cm, utilizando-se a média aritmética dos valores correspondentes às profundidades de 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; e 15,0 cm. Para qualquer dos equipamentos usados, os resultados foram expressos em kPa.

3.7.1.10. Rugosidade superficial do solo induzida pelo preparo

A rugosidade superficial do solo induzida pelo preparo, sem distinção para a rugosidade ao acaso e para a rugosidade orientada, como seria o ideal, foi avaliada por meio do uso de um pequeno perfilômetro ou rugosímetro, com vinte varetas de alumínio dispostas verticalmente, similar ao descrito por Burwell et al. (1963). Com este aparelho, foram efetuadas leituras das elevações da superfície do solo em três locais representativos dentro de cada parcela experimental, tomando-se a média dos valores obtidos como referência. O cálculo do índice de rugosidade superficial do solo (IR) foi efetuado por dois procedimentos: índice de rugosidade georeferenciado e índice de rugosidade feito igual ao desvio padrão das leituras (em relação às suas médias). O índice de rugosidade georeferenciado foi calculado com base na sugestão feita por Castro et al. (2000), utilizando-se a seguinte fórmula:

$$IR = \sqrt{\sum_{i=2}^n \frac{h_i - h_{i-1}}{n-1}}$$

onde n é o número de leituras efetuadas e h as leituras das elevações e depressões da superfície do solo, em cm. Para qualquer dos procedimentos de cálculo usados na determinação, os resultados foram expressos em cm.

3.7.1.11. Teor de água no solo

O teor de água no solo, em qualquer das suas camadas amostradas e para qualquer finalidade de uso, foi avaliado pelo tradicional método gravimétrico, pesando-se as amostras de solo (constituídas de seis subamostras cada uma, coletadas aleatoriamente dentro de cada parcela parcela experimental, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm) antes e após secagem em estufa a 105°C, por 24 a 48 horas, conforme descrito por Forsythe (1975). Os resultados foram expressos em kg kg^{-1} .

Ao encerrar o relato associado com o procedimento adotado na avaliação das variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais, efetuada com o propósito primordial (espinha dorsal da hipótese principal da pesquisa) de acompanhar a evolução nas suas características, mas especialmente as de natureza física, num primeiro momento causada pelo efeito das seqüências culturais estudadas, e posteriormente ver o seu reflexo nas respostas do processo erosivo do solo causado pela água da chuva e da enxurrada à ela associada, baseado nos valores das variáveis de erosão hídrica medidas no escoamento superficial, cujo procedimento de avaliação será descrito no próximo sub-item, cumpre fazer alguns comentários e esclarecimentos. Isto porque, em se tratando de um trabalho como este (tese de doutorado), de natureza acadêmica, muitos (alunos, professores, pesquisadores e profissionais em geral interessados no assunto) poderão acessar e, assim, talvez melhor se ferramentarem para desenvolver suas pesquisas, atuais ou futuras. Acredita-se que, em se agindo desta forma, colocando honestidade no relato dos acontecimentos e narrando com fidelidade as limitações e/ou deficiências sabidas terem existido na pesquisa, possa se contribuir mais e melhor para o avanço científico na área. Desta forma, informa-se que se tinha plena consciência de que o número de amostras, o modo, a época e a regularidade das amostragens, bem como o método empregado em determinada análise, por vezes não era o mais apropriado. Entretanto, houveram razões, e ao nosso ver justificáveis, para isto, cabendo mencionar as seguintes (sem qualquer relação com a freqüência de ocorrência e/ou ordem de importância na pesquisa): distância do experimento à sede de trabalho (ao redor de 60 km), associada a nem sempre pronta disponibilidade de veículos para viagens ao campo (também de motoristas

credenciados para dirigi-los, tendo em vista serem carros oficiais); não existência de materiais e equipamentos de trabalho em quantidade suficiente e em pronta disponibilidade para uso; adversidades climáticas, caracterizadas pela falta ou pelo excesso de chuva em dadas épocas planejadas de se fazer amostragem, especialmente no que se relaciona com o estado físico do solo para esta finalidade, estando ele ou muito duro ou muito pastoso para ser amostrado e, assim, retardando ou, mesmo, fazendo com que se desistisse de dado plano de trabalho, e tamanho das unidades experimentais empregadas no estudo, que, conforme referido, são muito pequenas (3,5 m de largura por 11,0 m de comprimento ou área de 38,5 m²) para determinados propósitos. Em relação a este último aspecto, inclusive um dos mais importantes associados ao propósito o qual está sendo referido, já foi comentado o problema relacionado com o uso nas mesmas de máquinas e equipamentos tratorizados de porte médio, e, em se tratando de amostragem representativa de solo, a situação é igualmente crítica. Isto porque, para algumas determinações, especialmente massa de raízes e densidade, porosidade e estabilidade de agregados do solo, há necessidade de se abrir pequenas trincheiras nas parcelas experimentais para devidamente se poder coletar as amostras, as quais, em número elevado (exatamente o requerido para se obter maior representatividade da amostra), e ainda por cima acompanhado do inevitável pisoteio das pessoas para coletá-las, poderão interferir nos resultados de erosão hídrica esperados de dada superfície do solo, há tempo e lentamente sendo construída, e, agora, pronta para ser avaliada, principalmente no que se refere à infiltração de água, conseqüentemente ao escoamento superficial, e ao processo erosivo do solo em si (desagregação de solo pela ação de impacto das gotas da chuva e desagregação e, principalmente, transporte de solo pela ação da enxurrada), culminando com os resultados finais de perda de água e de perda de solo não condizentes com a realidade. Não se sabe bem ainda como sobrepôr ou, pelo menos, significativamente reduzir o erro experimental introduzido na experimentação neste tipo de pesquisa, causado pelas deficiências e/ou limitações que foram narradas, especialmente o pequeno número de amostras para algumas determinações e os próprios métodos usados nas mesmas, face ao tamanho e número (repetição de tratamentos)

das parcelas experimentais usadas como unidades de observação, como já comentado, mas o certo é que mais esforços devem ser feitos a este respeito.

3.7.2. Variáveis de erosão hídrica do solo

3.7.2.1. Tempo de início da enxurrada e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu

O tempo de início da enxurrada foi medido a partir do início das chuvas simuladas aplicadas, usando-se cronômetro, com os seus resultados tendo sido expressos em minuto (min). A lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada foi calculada por regra de três simples, usando-se os valores de tempo de início da enxurrada e intensidade observada das chuvas simuladas aplicadas, com os seus resultados tendo sido expressos em mm.

3.7.2.2. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada

As taxas instantâneas de descarga da enxurrada foram medidas diretamente sob o seu fluxo, a cada três minutos, a partir do seu início. Para isso, usaram-se provetas graduadas de 500, 1.000 e/ou 2.000 ml, conforme a intensidade do fluxo, e cronômetro, com os tempos de duração das coletas tendo variado de três a quinze segundos, também conforme a intensidade do fluxo. Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em mm h^{-1} .

3.7.2.3. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada

Nos mesmos intervalos de tempo em que foram efetuadas as medições das taxas instantâneas de descarga da enxurrada (a cada três minutos - item anterior), foram também coletadas amostras da mesma para posterior determinação, em laboratório, das suas concentrações instantâneas de sedimento. Para isso, utilizou-se potes plásticos de 1,0 L, na maior parte das vezes sendo enchidos até o seu limite (exceto os casos em que o fluxo era muito pequeno e, então, levaria muito tempo para encher o pote, o que poderia mascarar o valor da concentração instantânea de sedimento na amostra). Findas as coletas, os potes plásticos foram vedados, levados para o laboratório

e pesados, para posteriormente se saber a quantidade de água e a quantidade de sedimento contida na amostra e, então, poder fazer os cálculos das perdas totais de água e solo. Em prosseguimento, adicionou-se a cada pote 3 a 5 ml (dependendo da carga de sedimento na amostra) da solução saturada (5%) de alumínio de potássio comercial, usada como precipitante, deixando-os em repouso por 24 a 48 horas para decantação. Transcorrido este tempo, e usando mangueira plástica de pequeno diâmetro, succionou-se o sobrenadante dos potes plásticos e colocou-se os mesmos a secar em estufa com ventilação forçada a 60°C por três a quatro dias. A seguir, pesou-se os potes com e sem sedimento (este último foi removido dos potes com o auxílio de pequena escova), fez-se as devidas subtrações e dividiu-se a massa seca (60º) de cada um deles pelas correspondentes massas de enxurrada contidas nas amostras (peso dos potes com enxurrada menos peso dos potes sem enxurrada, conforme informado ao final do parágrafo anterior), multiplicando-se os resultados obtidos por 100 para expressar as concentrações de sedimento na enxurrada na forma percentual (%).

3.7.2.4. Taxas instantâneas de perda de solo

As taxas instantâneas de perda de solo foram obtidas multiplicando-se as concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (item anterior) pelas correspondentes taxas instantâneas de descarga (sub-item 3.7.2.2) e posteriormente dividindo-se os resultados obtidos pela área da parcela experimental (38,5 m²). Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em kg ha⁻¹ h⁻¹.

3.7.2.5. Velocidade da enxurrada

A velocidade da enxurrada, quando possível (sob pequena quantidade de resíduo cultural e/ou pequena rugosidade superficial do solo), foi medida pouco antes do final das chuvas, quando o fluxo se encontrava ou estava próximo à sua condição de equilíbrio, registrando-se, com cronômetro, o tempo gasto para um corante (azul de metileno a 2%) percorrer um segmento de 6 m, equidistantemente das extremidades demarcado sobre as parcelas

experimentais. Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em $m s^{-1}$.

3.7.2.6. Índice (D_{50}) da distribuição de tamanho das partículas erodidas em transporte na enxurrada

No mesmo momento em que foi feita a medição da velocidade da enxurrada (próximo ao final das chuvas - item anterior), foram também coletadas amostras da mesma para a análise de distribuição de tamanho das partículas erodidas que por ela estavam sendo transportadas. Para isso, acoplou-se um conjunto de peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm, sobrepostas nesta ordem, sobre um balde plástico com capacidade de armazenamento de 2,0 L, o qual era posicionado sob o fluxo da enxurrada até próximo seu enchimento. Em prosseguimento, as partículas de solo retidas em cada peneira foram transferidas com auxílio de bsnaga plástica contendo água para potes plásticos com capacidade de 0,5 L, os quais foram vedados e levados para o laboratório, para posterior cálculo da sua distribuição de tamanho nas classes referidas acima. Da mesma forma, vedou-se os baldes plásticos contendo as partículas de solo que haviam passado na peneira com malha de 0,250 mm e levou-se também eles para o laboratório, para posterior novo fracionamento, em classes de tamanho mais estreitas, como será explicado a seguir.

Chegados ao laboratório, os baldes plásticos trazidos do campo contendo as amostras de enxurrada com partículas de solo menores do que 0,25 mm tiveram seus conteúdos agitados com bastão de vidro, para trazer as partículas erodidas à suspensão, e, então, mais uma vez serem fracionadas, agora usando-se um conjunto de peneiras com malhas de 0,105; 0,053 e 0,037 mm, sobrepostas nesta ordem. Em prosseguimento, os materiais retidos em cada peneira, tanto para as classes de tamanho que foram separadas no campo ($>2,0$ e até 0,25 mm) e se encontravam armazenadas nos potes plásticos de 0,5 L (referidos ao final do parágrafo anterior), quanto para as classes de tamanho que foram separadas agora em laboratório ($>0,105$ a 0,037 mm e $<0,037$ mm), foram transferidos com auxílio de bsnaga plástica contendo água para latas de alumínio e postos a secar em estufa a $105^{\circ}C$ por 24 a 48 horas. Uma vez secos, os materiais (todas as classes de tamanho)

retidos em cada peneira foram pesados e, então, calculada a fração de partículas erodidas em cada classe de tamanho, cujos valores foram utilizados no cálculo do índice D_{50} , usado como representante da distribuição de tamanho das partículas erodidas do solo que estavam sendo transportadas na enxurrada, naquele momento de sua coleta (próximo ao final das chuvas), como será explicado a seguir.

O índice D_{50} representa o tamanho ou a linha de separação de sedimentos em que 50% deles, em base de massa, estão acima e 50% estão abaixo, sendo calculado por interpolação linear entre os valores da distribuição acumulada de tamanho de sedimentos transportados na enxurrada compreendidos nas classes de tamanho de $>2,0$ a $<0,037$ mm, para as percentagens imediatamente inferior e superior a 50%, por meio da seguinte fórmula:

$$D_{50} = (50 - y_1)x_2 + (y_2 - 50)x_1 / (y_2 - y_1),$$

onde y_1 é o valor da massa de partículas de solo imediatamente superior a 50%, x_1 o valor da classe de tamanho de sedimentos correspondente a y_1 e x_2 o maior valor da classe de tamanho de sedimentos correspondente a y_2 . Alternativamente, o índice D_{50} pode ser obtido graficamente, por meio da confecção de curvas de distribuição acumulada de tamanho de sedimentos transportados na enxurrada, conforme ilustrado em Cogo (1981) e Lopes (1984).

3.7.2.7. Checagem da intensidade das chuvas simuladas aplicadas

Findas as aplicações de chuva simulada, foi feita a checagem da intensidade de cada uma delas, para fins de comparação com a intensidade da chuva do projeto ou chuva planejada de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ e, quando fosse o caso, efetuar ajustes nos dados, conforme foi feito e se encontra explicado adiante – item 3.8). Para isso, estrategicamente foram distribuídos vinte canecos de alumínio, com 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro cada um, usados como pluviômetros, sob a área de projeção de água do aparelho simulador de chuva. Ao final das chuvas, usando proveta graduada, mediu-se a quantidade de água (ml) coletada em cada caneco e dividiu-se ela pelo tempo (min) de duração da

chuva, tomando-se a média dos valores obtidos como referência. Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em mm h^{-1} .

3.7.2.8. Perda total de água

A perda total de água foi obtida temporalmente integrando-se os valores das taxas instantâneas de descarga da enxurrada (sub-item 3.7.2.2). Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos na forma percentual (%), em relação à quantidade total de chuva aplicada.

3.7.2.9. Perda total de solo

A perda total de solo foi obtida temporalmente integrando-se os valores das taxas instantâneas de perda do solo (sub-item 3.7.2.4). Após os devidos cálculos e conversões, os resultados foram expressos em kg ha^{-1} .

Ao encerrar o relato do procedimento adotado na avaliação das variáveis de erosão hídrica do solo medidas no escoamento superficial, cumpre dizer que os cálculos das taxas instantâneas de descarga da enxurrada, concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada, taxas instantâneas de perda de solo e perdas totais de água e solo foram feitos por meio do programa PEDEROSÃO, desenvolvido, e gentilmente cedido, pelo professor Elemar Antonino Cassol, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.8. Ajuste de dados

Devido à variação (normal) ocorrida nos valores de intensidade das chuvas simuladas aplicadas (Tabela 13), em relação ao valor de intensidade da chuva planejada ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), os valores observados de perda total de água e perda total solo foram ajustados para a intensidade da chuva planejada. A perda total de solo foi ainda ajustada para a declividade média do solo nas parcelas experimentais ($0,115 \text{ m m}^{-1}$), obtida pela média aritmética dos valores de declividade de cada uma delas, os quais são apresentados na tabela 13. Estes ajustes foram efetuados conforme descrito em Cogo (1981) e serão explicados a seguir.

A perda total ajustada de água, para a intensidade da chuva planejada ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), foi obtida subtraindo-se a quantidade total observada de água infiltrada (quantidade total de chuva aplicada menos quantidade total de enxurrada observada) da quantidade total da chuva planejada (intensidade x duração da mesma). A perda total ajustada de solo, também para a intensidade da chuva planejada ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), foi obtida multiplicando-se os valores observados de perda total de solo pelo quadrado da razão entre a intensidade da chuva planejada e a intensidade da chuva observada, enquanto que para a declividade média do solo nas parcelas experimentais ($0,115 \text{ m m}^{-1}$) multiplicando-se os valores de perda de solo obtidos do ajuste mencionado acima pelo resultado da divisão do valor “S” do declive médio de $0,115 \text{ m m}^{-1}$ pelo valor “S” do declive de cada parcela experimental (Tabela 13), empregando-se a fórmula $S=0,065 + 4,65 \text{ sen } \theta + 65,41 (\text{sen } \theta)^2$, onde θ é o ângulo do declive, conforme descrito em Wischmeier & Smith (1978).

3.9. Análise estatística e interpretação dos resultados

Num primeiro momento, os resultados da pesquisa foram submetidos à análise estatística da variância, com as médias tendo sido comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,1$), usando-se o programa “SPSS – Statistical Package for Social Sciences” (versão 18.0), disponibilizado aos docentes da UFRGS em “site” específico da própria instituição. Num segundo momento, usando o programa Sigma Plot (versão 11.0), os resultados foram submetidos, em função de seu comportamento, essencialmente à análise de regressão linear simples (uma variável), usando-se os valores das variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais na camada de solo de 0 a 10 cm e os valores das variáveis de erosão hídrica medidas no escoamento superficial, em inter-relações dos tipos variáveis de manejo do solo versus variáveis de manejo do solo e variáveis de erosão hídrica versus variáveis de manejo do solo, com o grau de significância de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las (equação da reta) tendo sido baseado em Fischer & Yates (1971). A interpretação final dos resultados, entretanto, em adição à consideração estatística, foi baseada em tudo o que se viu (e dele pôde ser deduzido) durante seu desenvolvimento, não medido numericamente, como os

imprevistos e contratemplos ocorridos com as seqüências culturais usadas como tratamentos principais da pesquisa e os acontecimentos presenciados *in loco*, junto às parcelas experimentais, por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, notadamente a ocorrência em si do processo erosivo, causado pela água da chuva e do escoamento superficial a ela associado. Este tipo de pesquisa permite visualizar este último aspecto, o qual, junto às demais ocorrências mencionadas, constituem excelente base de apoio para interpretar e explicar dados, principalmente quando se associa os mesmos a conceitos básicos e teorias comprovadas de erosão, como se fez neste trabalho, desenvolvidos em estudos de mecânica da erosão hídrica pluvial do solo, existentes na literatura especializada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Considerações iniciais

Os resultados obtidos na pesquisa serão apresentados e discutidos nesta seção seguindo uma dada ordem cronológica de sua obtenção e um dado interligamento (sucessivo) das variáveis que, daqui para frente, passarão a representar numericamente. Assim, primeiramente serão apresentados e discutidos os resultados das variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais no terço final do período de experimentação. Num segundo momento, serão apresentados e discutidos os resultados das variáveis de erosão hídrica medidas no escoamento superficial por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada. Para qualquer uma delas, entretanto, em função do tipo de resultados obtidos e da variação neles ocorrida, em alguns casos esperada e em outros não, e com o intuito de facilitar a descrição e o entendimento das ocorrências pertinentes, será adotado um padrão ou formato único de abordagem e discussão dos dados, subdividido em três tipos ou modos de análise, assim expostos e caracterizados: 1) análise básica dos resultados: sob este título, os dados serão analisados e discutidos tal e qual são apresentados, na forma de tabelas (Tabelas 4 a 19), acompanhados dos resultados da análise estatística (teste de comparação de médias), para cada variável em particular ou grupo de variáveis, atendo-se quase que exclusivamente aos tratamentos de seqüência cultural usados na pesquisa (principal fonte ou causa de variação delineada na mesma) e à(s) época(s) ou ciclo(s) cultural(is) em que foram avaliados, praticamente sem referência ou comparação com qual(is) quer outra(s) variável(is), exceto as do solo original (condição de campo nativo) e do mesmo solo, porém quando foi iniciada a pesquisa (degradado por ação antrópica); 2)

análise das inter-relações dos resultados: sob este título, os dados serão analisados e discutidos com base nas várias inter-relações que com eles foram efetuadas, apresentadas na forma de figuras (Figuras 5-1 a 5-32), também acompanhados dos resultados da análise estatística (grau de ajuste do modelo matemático usado na inter-relação), independentemente dos tratamentos de seqüência cultural e da(s) época(s) ou ciclo(s) em que foram avaliados. Ao mesmo tempo, neste modo de análise será verificada a consistência na ocorrência das significâncias estatísticas, acusadas pelo teste de comparação de médias e pelo grau de ajuste do modelo matemático usado nas inter-relações, para verificar, por exemplo, se dada diferença estatisticamente significativa (ou não) nos resultados de dada variável, denotada pelo teste de comparação de médias, corresponde (ou não) à diferença estatisticamente significativa (ou não) nos resultados da mesma variável, porém quando ela foi inter-relacionada com outra e, dessa vez, sendo denotada pelo grau de ajuste do modelo matemático usado na inter-relação; e 3) análise sumarizada global dos resultados: sob este título, os dados serão analisados e discutidos com base no todo, sumarizadamente expondo-se o que de mais importante se julgou ter sido observado na pesquisa, baseado nas análises básica e das inter-relações dos resultados que foram expostas acima, como se fossem as principais conclusões extraídas do assunto. Por oportuno, é importante lembrar que, conforme mencionado no Material e Métodos, considerando a natureza ou o tipo de pesquisa que se fez, os resultados serão analisados e discutidos levando-se em consideração ambos, os resultados da análise estatística em si e os conceitos e teorias desenvolvidos em estudos de mecânica da erosão hídrica pluvial do solo, de forma conjunta e igualitária, sem dar mais valor ou peso a uma ou outra base de apoio, prevalecendo no julgamento final de dada ocorrência, quando for o caso, a lógica e o bom senso. Julga-se ser esta a forma mais apropriada e confiável de se analisar, interpretar, discutir e concluir dados de pesquisa em erosão hídrica pluvial do solo, especialmente quando são obtidos no campo, sob condições controladas, como foi o caso deste trabalho, em que foi possível presenciar *in loco* tanto a ocorrência em si do processo erosivo quanto a sua magnitude. Neste estudo, foi usada chuva simulada com intensidade constante e foram mantidos constantes também os outros fatores que afetam o processo erosivo do solo pela água da chuva e da

enxurrada a ela associada, exceto o fator combinado cobertura-manejo do solo, cujas variáveis que o integraram foram usadas como fonte ou causa principal de variação da pesquisa (variável independente), no que se refere tanto à ocorrência do fenômeno quanto à sua magnitude, cujas variáveis associadas constituíram o efeito ou a resposta do processo (variável dependente). Feitas estas considerações, com o intuito de facilitar o entendimento do que, daqui para frente, será tratado e discutido, será dado início à apresentação e discussão dos resultados propriamente dito, conforme o plano de abordagem estabelecido.

4.2. Variáveis de manejo do solo

4.2.1. Análise básica dos resultados

4.2.1.1. Biomassas vegetais aérea e subterrânea de algumas culturas integrantes dos tratamentos da pesquisa

Os resultados de biomassa vegetal aérea (dossel) e biomassa vegetal subterrânea (raízes) de algumas culturas integrantes dos tratamentos da pesquisa, referentes a dois ciclos culturais de primavera-verão e um ciclo cultural de outono-inverno, avaliados no terço final do período de experimentação (março de 2006 a outubro de 2007), são apresentados na tabela 4 e seus seguimentos (necessários em função da extensão da tabela). Analisando os dados, verifica-se grande variação nos mesmos em ambas as variáveis em consideração, ora havendo diferenças estatisticamente significativas entre eles, entretanto sem regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias nos tratamentos de seqüência cultural (fonte ou causa principal de variação hipotetizada na pesquisa), ora não havendo, no que se refere tanto às épocas de avaliação ou aos ciclos culturais quanto às camadas de solo avaliadas (válidas somente para a biomassa subterrânea ou raízes). Verifica-se ainda na tabela 4 que em nenhuma época de avaliação ou ciclo cultural os valores da razão biomassa aérea/biomassa subterrânea na camada de solo de 0 a 20 cm foram estatisticamente diferentes entre si.

TABELA 4. Biomassas aérea (dossel) e subterrânea (raízes) em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento) – continua

<u>21/03/2006</u> – 4 meses após a semeadura, culturas de verão, plantas em crescimento, solo não-mobilizado					
Seqüência cultural ¹	Biomassa aérea - Ba ²	Biomassa subterrânea – Bs ²			Razão Ba/Bs _(0-20 cm)
		0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	
	kg ha ⁻¹				
1Av,3Av+Er/3Fm	7.989 b	5.755 c	993 a	6.748 a	1.18
4Av/1Fm,2Te	25.569 a	14.820 a	954 a	15.774 c	1,62
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	17.719 ab	11.816 ab	2.583 b	14.399 bc	1,23
1 Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	26.309 a	10.259 abc	1.329 a	11.589 abc	2,27
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	15.599 ab	7.862 bc	1.314 a	9.176 ab	1,70
Coeficiente de variação – CV, %	41,1	34,7	47,0	32,4	85,4

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava no momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²Biomassa seca em estufa a 60°C. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

TABELA 4. continuação

Seqüência cultural ¹	13/02/2007 - 3,5 meses após a semeadura, culturas de verão, plantas em crescimento, solo não-mobilizado				Razão Ba/Bs _(0-20 cm)
	Biomassa aérea - Ba ²	Biomassa subterrânea – Bs ²			
		0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	
	----- kg ha ⁻¹ -----				
1Av,3Av+Er/3Fm	4.545 a	4.554	2.322 a	6.875 a	0,66
4Av/1Fm,2Te	21.094 d	15.179	7.634 b	22.814 b	0,92
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	11.429 b	4.464	2.009 a	6.474 a	1,77
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	15.346 c	8.884	2.188 a	11.072 ab	1,39
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	9.459 b	9.402	4.286 ab	13.688 ab	0,69
Coeficiente de variação – CV, %	47,9	58,2	69,1	58,8	58,0

^{1,2}Mesmas notas de rodapé do primeiro segmento da tabela.

TABELA 4. continuação

Seqüência cultural ¹	09/10/2007 - 4 meses após a semeadura, culturas de inverno, plantas em crescimento, solo não-mobilizado				
	Biomassa aérea - Ba ²	Biomassa subterrânea – Bs ²			Razão Ba/Bs _(0-20 cm)
		0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	
	----- kg ha ⁻¹ -----				
1Av,3Av+Er/3Fm	4.742 ab	2.755	916	3.672	1,29
4Av/1Fm,2Te	5.721 bc	5.003	807	5.810	0,98
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	3.961 a	5.188	1.470	6.657	0,59
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	6.166 c	6.035	1.026	7.061	0,87
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	4.053 a	4.836	1.620	6.456	0,63
Coeficiente de variação – CV, %	19,9	48,1	49,2	40,3	47,5

^{1,2}Mesmas notas de rodapé do primeiro segmento da tabela.

TABELA 4. continuação

Seqüência cultural ¹	13/11/2007 - 5 meses após a semeadura, culturas de inverno, plantas tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos, solo não-mobilizado		13/12/2007 – idem data anterior, porém, 1 mês após e com o solo escarificado e gradeado	
	Biomassa subterrânea ²			
	0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	0-10 cm
	----- kg ha ⁻¹ -----			
1Av,3Av+Er/3Fm	4.288	778 a	5.067	5.201
4Av/1Fm,2Te	6.317	4.277 b	10.594	3.080
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	3.920	432 a	4.352	3.863
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	3.216	1.107 ab	4.323	8.051
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	3.706	1.210 ab	4.917	3.738
Coeficiente de variação – CV, %	57,9	105,1	54,3	48,6

^{1,2}Mesmas notas de rodapé do primeiro segmento da tabela.

Atribui-se a irregularidade ocorrida nos resultados da análise estatística a fontes de variação involuntárias e circunstancialmente introduzidas na pesquisa, conforme mencionado no Material e Métodos, o que resultou em valores do coeficiente de variação relativamente grandes. Incluem-se no contexto das fontes de variação recém-referidas as seguintes ocorrências: relativamente pequeno número e tamanho das amostras coletadas; fragilidades em alguns dos procedimentos de coleta e em algumas determinações, ambos em si, às vezes sendo feitos por pessoas diferentes (ocorrência normal neste tipo de pesquisa, entretanto); desiguais falhas na germinação das sementes e, decorrente disso, desiguais operações de ressemeadura; desiguais reincidências de plantas espontâneas e desiguais entradas de animais (silvestre e doméstico) na área experimental, fatores estes que, no conjunto e no tempo, afetaram o desenvolvimento normal e equilibrado das plantas nas parcelas experimentais, refletindo-se nas quantidades medidas de suas biomassas, principalmente a subterrânea ou raízes. Independentemente disto, verifica-se na tabela 4 e seus seguimentos a larga predominância das culturas de primavera-verão sobre as de outono-inverno, usadas na pesquisa, no que se refere às suas produções de biomassa aérea e biomassa subterrânea, bem como a larga predominância desta última na camada de solo de 0 a 10 cm, comparada à da camada de solo de 10 a 20 cm, para qualquer dos grupos ou tipos de cultura (período de primavera-verão ou de outono-inverno). Assim, ao se fazer a média dos valores de biomassa aérea e biomassa subterrânea sobre os dois ciclos culturais de primavera-verão avaliados no experimento e comparando-se com a média dos valores correspondentes ao ciclo cultural de outono-inverno, encontrar-se-á que as culturas de primavera-verão usadas na pesquisa produziram 3,15 vezes ou 215% mais biomassa aérea ou dossel e 2 vezes ou 100% mais biomassa subterrânea ou raízes que as culturas de outono-inverno, bem como maior quantidade de biomassa aérea em relação à quantidade de biomassa subterrânea na camada de solo de 0 a 20 cm (1,3 vezes ou 30% mais para as culturas de primavera-verão e 0,80 vezes ou 20% menos para as culturas de outono-inverno). Usando o mesmo tipo de cálculo e fazendo-se o mesmo tipo de comparação, encontrar-se-á que as culturas de primavera-verão produziram ao redor de 2 vezes ou 100% mais raízes que as culturas de outono-inverno, em qualquer das camadas avaliadas do solo, e

que, independentemente do grupo ou tipo de culturas (primavera-verão ou outono-inverno), a quantidade de raízes na camada de solo de 0 a 10 cm foi ao redor de 3,8 vezes ou 280% mais elevada que na camada de solo de 10 a 20 cm, com praticamente 80% delas concentrando-se na camada de solo de 0 a 10 cm, em relação à quantidade total na camada de solo de 0 a 20 cm. Ainda com os mesmos tipos de cálculo e formas de comparação, verifica-se na tabela 4 que as seqüências culturais que mais se destacaram quanto à produção de biomassa vegetal foram as que, por ocasião da avaliação, tinham vigindo nas parcelas experimentais o teosinto, o milheto e o milho+feijão miúdo, nesta ordem decrescente de valores e no que se refere à biomassa aérea, e o teosinto e, praticamente em igual grau, o milheto e o milho+feijão de porco, nesta ordem decrescente de valores e no que se refere à biomassa subterrânea. Verifica-se, pois, que o teosinto foi a cultura que, de modo geral, mais se destacou em termos de produção de biomassa vegetal, tanto aérea quanto subterrânea. Em princípio, julga-se que os resultados mencionados, apesar da variação ocorrida nos dados originais de campo, se situam na faixa de normalidade, no que se refere tanto aos grupos ou tipos de cultura quanto às camadas de solo que foram avaliadas.

4.2.1.2. Teores de matéria orgânica e carbono orgânico no solo

Os resultados destas variáveis (seis medições para o teor de matéria orgânica e uma para o de carbono orgânico), obtidos em diferentes épocas ou ciclos culturais no terço final do período de experimentação, na quase totalidade dos casos nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, são apresentados na tabela 5. Analisando os dados, verifica-se que houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural apenas na medição única do teor de carbono orgânico, efetuada em 09/10/2007, com as culturas de outono-inverno ainda presentes nas parcelas experimentais, e em duas medições do teor de matéria orgânica, efetuadas próximo ao encerramento da pesquisa, sem mais haver plantas nas parcelas experimentais, nas duas camadas avaliadas do solo (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), quando foi o caso. Entretanto, estas diferenças estatisticamente significativas não tiveram regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias nos tratamentos estudados.

TABELA 5. Teores de matéria orgânica e carbono orgânico em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos de seqüência cultural estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	Matéria orgânica					Carbono orgânico		Matéria orgânica					
	28/03/06 ²		29/09/06 ³		28/02/07 ²		09/10/07 ³		25/10/07 ⁴		13/11/07 ⁵		13/12/07 ⁶
	0-10 cm	10-20cm	0-10 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-5 cm		
	----- g kg ⁻¹ -----												
1Av,3Av+Er ³ /3Fm	28	22	27	27	20	10,4 c	7,3 a	27	31 b	19 b	25 c		
4Av/1Fm,2Te	25	21	28	27	20	10,1 bc	7,3 a	28	22 a	16 ab	22 bc		
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	25	22	29	26	18	8,6 a	7,8 ab	29	23a	16 ab	18 a		
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,Mt	24	25	24	23	18	9,1 ab	7,6 ab	24	26ab	16 ab	20 ab		
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	22	21	24	25	20	9,4 abc	8,8 b	25	26ab	19 b	18 a		
Coefficiente de variação – CV, %	9,6	11,4	10,9	10,4	8,2	8,1	8,3	10,3	14,3	9,0	13,3		

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de verão) em crescimento. ³Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de inverno) em crescimento. ⁴Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de inverno) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais mantidos. ⁵Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de verão) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos ⁶Idem data anterior, porém, com o solo tendo sido escarificado e gradeado. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade $p < 0,1$.

No que se refere à sua influência na erosão hídrica, acredita-se que as diferenças estatisticamente significativas encontradas nos teores de matéria orgânica e carbono orgânico constantes na tabela 5 não tenham maior significado, portanto dos com nenhum valor ou tratamento a ser destacado a respeito, salvo melhor juízo. Observa-se ainda na tabela 5 que, embora sem a análise estatística dos dados, praticamente não houve diferença nos resultados do teor de matéria orgânica entre as épocas de avaliação ou ciclos culturais, o que pode ser explicado pelo relativamente curto espaço de tempo entre elas. Contudo, ao se comparar os teores de matéria orgânica apresentados na tabela 5 (todas as seqüências e ciclos culturais) com os apresentados na tabela 2 (inserida no item 3.3 do Material e Métodos, nesta última nas condições de solo original (uso com campo nativo, praticamente com $30,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica em qualquer das suas camadas mais superficiais) e solo alterado (degradado por ação antrópica, correspondendo ao início da pesquisa, praticamente com $19,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria orgânica também em qualquer das camadas mais superficiais do solo), verifica-se que, já nos primeiros 2,5 anos de experimentação, todas as seqüências culturais usadas na pesquisa agiram positivamente no que se refere ao aumento do teor de matéria orgânica no solo, principalmente nas suas camadas mais superficiais, situando-se na faixa de $25,0$ a $27,0 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de solo de 0 a 10 cm e de $18,0$ a $20,0 \text{ g kg}^{-1}$ na camada de solo de 10 a 20 cm, rumo ao teor do solo original, quando ele se encontrava na condição de campo nativo, cujos teores de matéria orgânica nas suas camadas mais superficiais se situavam ao redor de $30,0 \text{ g kg}^{-1}$, conforme informado acima.

4.2.1.3. Teor de glomalina no solo

Os teores de glomalina no solo obtidos na pesquisa são apresentados na tabela 6, avaliados em três momentos próximo ao encerramento do período de experimentação e, na maior parte dos casos, em três camadas do solo. Analisando os dados, verifica-se que, de modo geral, os valores encontrados foram baixos, com diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural apenas nas camadas de solo de 0 a 5 cm e 10 a 20 cm na primeira avaliação e na camada de solo de 5 a 10 cm na última avaliação, entretanto outra vez sem regularidade quanto à ordem de ocorrência

TABELA 6. Teor de glomalina em diferentes datas e camadas de solo próximo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	<u>09/10/2007</u> - solo não-mobilizado e com plantas em crescimento			<u>13/11/2007</u> - solo não-mobilizado e com plantas tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos			<u>13/12/2007</u> - idem data anterior, porém 1 mês após e com o solo escarificado e gradeado	
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-5 cm	5-10 cm
	----- mg proteína g solo seco ⁻¹ -----							
1Av,3 <u>Av+Er</u> /3Fm	0,89 b	0,38	0,45 abc	1,29	0,55	0,65	0,67	0,60 a
4 <u>Av</u> /1Fm,2Te	0,64 ab	0,42	0,63 c	1,06	0,64	0,67	0,49	0,79 ab
1Av,Tr,Nf, <u>Az</u> /1Fm,2Mi+Fm	0,52 ab	0,21	0,29 c	1,29	0,67	0,63	0,56	0,50 a
1Sc, <u>Av+Er</u> ,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	0,38 a	0,37	0,50 bc	1,11	0,93	0,87	0,59	1,11 b
1Av,3 <u>Er</u> /1Fm,2Mi+Fp	0,31 a	0,27	0,39 ab	1,33	0,87	0,57	0,89	0,59 a
Coefficiente de variação - CV, %	42,2	41,9	28,7	18,1	24,9	19,7	31,9	33,7

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava no ou anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

das significâncias nos referidos tratamentos. Observa-se também certa tendência de os teores de glomalina serem maiores nas camadas mais superficiais do solo, o que deve estar relacionado com a maior disponibilidade de substrato e de nutrientes para os microrganismos nas mesmas (Passos, 2000). No que se refere à sua influência na erosão hídrica, acredita-se que as diferenças estatisticamente significativas nos teores de glomalina apresentados na tabela 6 não tenham maior significado, portanto, em princípio, sem nenhum valor ou tratamento de seqüência cultural que mereça ser destacado.

4.2.1.4. Evolução acumulada de CO₂ do solo

Os resultados de evolução acumulada de CO₂ no solo (30 dias) são apresentados na tabela 7, obtidos em dois momentos ao final do período de experimentação, sem mais haver plantas nas parcelas experimentais e tendo sido avaliados somente na camada de solo de 0 a 5 cm. Analisando os dados, verifica-se que, de modo geral, os valores encontrados foram relativamente baixos, comparados aos observados na maior parte dos solos em condições naturais ou sob diferentes sistemas de manejo. Islam e Weil (2000), em ecossistemas florestais de Bangladesh, encontraram valores de 259 mg C kg⁻¹ solo em áreas com floresta natural, de 338 mg C kg⁻¹ solo em área reflorestada e de 394 mg C kg⁻¹ solo em área de pastagem, contrastados com o valor de 156 mg C kg⁻¹ solo encontrado em área cultivada, isto em condições de clima subtropical, caracterizado por temporadas de chuvas anuais intensas, com temperaturas moderadamente calorosas e alta umidade no solo. Castro (1998), no mesmo solo deste estudo e estando ele também bastante degradado, constatou que, de modo geral, a taxa de liberação de CO₂ foi muito baixa, em média de 57 mg C kg⁻¹ de solo. Retornando aos resultados da tabela 7, verifica-se que houve diferenças estatisticamente significativas nos tratamentos de seqüência cultural nos dois momentos de avaliação da evolução de CO₂, entretanto também sem regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias e, julga-se, também sem maior significado do ponto de vista de sua influência na erosão hídrica, assim também com nenhum valor ou tratamento a destacar a respeito, igualmente como se opinou para algumas variáveis já analisadas. Entretanto, do ponto de vista de sua influência nas características e propriedades do solo, os resultados de evolução acumulada de

CO₂ apresentados na tabela 7 foram interessantes, como será visto adiante, no outro tipo ou modo de análise dos dados (inter-relações dos resultados).

TABELA 7. Evolução acumulada de CO₂ (30 dias) na camada de solo de 0 a 5 em duas datas ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	13/11/2007 - solo não-mobilizado e com plantas tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos	13/12/2007 – idem data anterior, porém 1 mês após e com o solo escarificado e gradeado
	-----mg CO ₂ kg solo seco ⁻¹ -----	
1Av,3Av+Er/3Fm	59,8 a	57,9 a
4Av/1Fm,2Te	88,3 c	79,6 b
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	77,4 b	69,7 ab
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	76,6 b	57,7 a
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	60,6 a	67,0 ab
Coeficiente de variação - CV, %	16,0	13,8

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

4.2.1.5. Diâmetro médio ponderado (DMP) e percentagens de agregação e estabilidade de agregados do solo em água

Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água, obtidos em diferentes épocas ou ciclos culturais no terço final do período de experimentação, nas camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, são apresentados na tabela 8. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo a seco, acompanhados dos valores obtidos a úmido (essencialmente os mesmos referidos há pouco, constando na tabela apenas para fins de comparação de dados), bem como os valores de percentagens de agregação e estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm, obtidos em um único momento ao encerrar o período de experimentação, nas mesmas camadas de solo referidas anteriormente, são apresentados na

tabela 9 e seu seguimento. Estes resultados serão analisados e discutidos separadamente, conforme suas respectivas tabelas, do modo como será feito a seguir. Analisando os resultados de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água apresentados na tabela 8, verifica-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural em quatro épocas de avaliação ou ciclos culturais, todas elas restritas à camada de solo de 0 a 10 cm, com os valores desta camada sempre superando os da camada de 10 a 20 cm, o que geralmente é esperado. Observa-se ainda que os resultados da variável em consideração praticamente não diferiram entre as épocas de avaliação ou ciclos culturais (certamente tempo muito curto para isso), permanecendo, de modo geral, dentro de uma mesma faixa de valores entre a primeira e última avaliação, exceto um e outro valor isolado, independentemente das seqüências culturais e em cada camada avaliada do solo. Embora havendo diferenças estatisticamente significativas nos resultados de DMP entre os tratamentos de seqüência cultural na camada de solo de 0 a 10 cm na maior parte das épocas de avaliação, as mesmas, mais uma vez, não tiveram regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias nos referidos tratamentos, ora um e outro se sobressaindo, ora outro(s), igualmente como ocorreu na maior parte das variáveis já analisadas, assim também com nenhum valor ou tratamento a ser destacado como tendo sido o melhor ou o pior. Independentemente disto, verifica-se que todas as seqüências culturais apresentaram valor de DMP a úmido bem maior (3,0 mm na média das mesmas) do que o existente no início do experimento, quando o solo se encontrava degradado (valor de DMP ao redor de 1,0 mm em qualquer das suas camadas mais superficiais – Tabela 2), embora ainda inferior ao valor medido no solo original, quando ele se encontrava na condição de campo nativo (4,1 e 3,5 mm, respectivamente para as camadas de solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm – Tabelas 1 e 2).

Analisando os resultados da tabela 9 e seu seguimento, com os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo a seco (junto com os valores de DMP a úmido, essencialmente os mesmos da tabela 8, constando nesta tabela apenas para facilitar a comparação de dados, conforme mencionado) e percentagens de agregação e estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm, avaliados em dois momentos ao

TABELA 8. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água em diferentes datas e camadas de solo no terço final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	28/03/2006 ²		29/06/2006 ³		28/02/2007 ²		13/11/2007 ⁴		13/12/2007 ⁵
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm
	-----mm-----								
1Av,3Av+Er/3Fm	3,07 b	1,60	2,65	1,32	2,91 ab	1,25	2,85 ab	1,09	2,74 ab
4Av/1Fm,2Te	3,03 b	1,65	1,98	1,55	3,91 b	1,50	3,50 b	1,72	3,41 b
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	2,56 ab	1,36	2,40	0,89	2,87 ab	1,57	3,00 ab	1,56	3,09 b
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	1,82 a	0,70	2,76	1,09	2,44 a	0,96	3,23 ab	1,33	2,10 a
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	2,51 ab	2,04	2,64	1,24	2,64 a	1,37	2,53 a	1,29	2,65 a
Coeficiente de variação – CV, %	20,8	41,7	14,6	36,13	21,2	44,8	13,3	28,6	17,7

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de verão) em crescimento. ³Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de inverno) em crescimento ⁴Solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de inverno) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos. ⁵Idem data anterior, porém com o solo tendo sido escarificado e gradeado. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

TABELA 9. Diâmetro médio ponderado de agregados do solo a úmido (DMPu) e a seco (DMPs), razão DMPu/DMPs e percentagens de agregação e estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm em duas datas e camadas de solo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento) – continua

13/11/2007 - solo não-mobilizado e com plantas tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos

Seqüência cultural ¹	DMPu		DMPs		Razão DMPu/DMPs		% de agregação de agregados >0,5 mm		% de estabilidade de agregados >0,5 mm	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
	----- mm -----						----- % -----			
1Av,3 <u>Av</u> +Er/3Fm	2,85 ab	1,09	5,84	5,84	0,49 ab	0,19	59	42	80 ab	61
4 <u>Av</u> /1Fm,2Te	3,50 b	1,72	5,77	5,53	0,61b	0,31	61	40	86 b	64
1Av,Tr,Nf, <u>Az</u> /1Fm,2Mi+Fm	3,00 ab	1,56	5,69	5,51	0,53 ab	0,28	51	35	77 ab	59
1Sc,Av+Er,Av+Nf, <u>Av</u> +Az/1Fm,2Mt	3,23 ab	1,33	6,15	5,98	0,53 ab	0,22	60	30	80 ab	54
1Av,3 <u>Er</u> /1Fm,2Mi+Fp	2,53 a	1,29	5,95	5,61	0,40 a	0,23	56	37	74 a	62
Coeficiente de variação – CV, %	13,3	28,6	4,7	4,9	15,9	29,8	13,2	18,5	6,3	10,4

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

TABELA 9. continuação

Seqüência cultural ¹	13/12/2007 – idem data anterior, porém 1 mês após e com o solo escarificado e gradeado				
	DMP _u 0-10 cm ----- mm -----	DMP _s 0-10 cm ----- mm -----	Razão DMP _u /DMP _s 0-10 cm	% de agregação de agregados >0,5 mm 0-10 cm ----- % -----	% de estabilidade de agregados >0,5 mm 0-10 cm ----- % -----
1Av,3Av+Er/3Fm	2,74 ab	4,89	0,56 a	48 b	69 ab
4Av/1Fm,2Te	3,41 b	4,32	0,79 b	64 b	82 b
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	3,09 b	5,48	0,56 a	59 bc	72 ab
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	2,10 a	4,92	0,43 a	32 a	51 a
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	2,65 a	4,85	0,55 a	47 b	67 ab
Coeficiente de variação – CV, %	17,7	9,7	22,7	24,5	17,2

¹Mesma nota de rodapé do primeiro segmento da tabela.

encerrar o período de experimentação, nas camadas de solo de 0 a 10 e 10 a 20 cm na primeira avaliação e na camada de 0 a 10 cm na segunda avaliação, verifica-se que houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural. Entretanto, estas diferenças ocorreram somente na primeira avaliação, na camada de solo 0 a 10 cm, e para os valores das seguintes variáveis: diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo a úmido (discutido no parágrafo anterior e também apresentado na tabela 8), razão DMP a úmido/DMP a seco e percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm, além da percentagem de agregação destes últimos na segunda avaliação e, como antes, somente na camada de solo de 0 a 10 cm. Desta vez, entretanto, contrariamente ao que até agora vinha ocorrendo, houve regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias estatísticas nos tratamentos de seqüência cultural nas três variáveis referidas, destacando-se a segunda seqüência cultural da lista, com a aveia vigindo por ocasião da avaliação e tendo a presença de teosinto na mesma, com o maior valor para todas as variáveis em consideração, e a última seqüência cultural da lista, com a ervilhaca vigindo por ocasião da avaliação e sem cultura de destaque na mesma, com o menor valor. As demais seqüências culturais apresentaram valor intermediário das variáveis em consideração e não diferiram estatisticamente entre si. Interessante também observar na tabela 9 que os valores da razão DMP a úmido/DMP a seco na primeira avaliação, embora relativamente pequenos (1,0 é o valor máximo da razão), foram consistentes quanto a indicarem estabilidade dos agregados de solo, tendo em vista que a ordem de ocorrência das significâncias estatísticas foi a mesma apresentada na análise da percentagem de estabilidade em água de agregados de solo maiores do que 0,5 mm, significando que, em princípio, a referida razão pode ser usada como um índice confiável de estabilidade dos agregados de solo.

4.2.1.6. Densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo

Os resultados destas variáveis são apresentados na tabela 10 e seu seguimento, avaliados em duas épocas ou ciclos culturais no terço final do período de experimentação, sendo que na primeira época somente na camada

de solo de 0 a 10 cm e na segunda nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Analisando os dados, verifica-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural apenas na primeira avaliação, na única camada avaliada do solo (0 a 10 cm). Entretanto, como aconteceu nas vezes anteriores, não houve regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias nos tratamentos estudados, com nenhum deles, pois, que mereça ser destacado a respeito. Independentemente disto, e de qualquer outro fato, todos os valores de densidade do solo apresentados na tabela 9 são relativamente grandes e os de macroporosidade e porosidade total relativamente pequenos, o que se atribui ao tipo de solo utilizado na pesquisa e ao fato de as seqüências culturais estarem sob semeadura direta desde o início do experimento (3,5 anos), o que deve ter contribuído para a consolidação da superfície do solo, comparados aos valores originais, quando o solo se encontrava na condição de campo nativo (1,50 e 1,66 Mg m⁻³ e 0,45 e 0,38 m³ m⁻³, respectivamente para densidade e porosidade total do solo nas suas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm – Tabela 1). Para Kiehl (1979), a distribuição da porosidade total do solo considerada ideal para produção agrícola deve ser ao redor de 0,50 m³ m⁻³, com a distribuição percentual de 1/3 para macroporos e de 2/3 para microporos. Segundo Baver et al. (1973), o valor mínimo de espaço poroso a ser ocupado por ar, para que haja desenvolvimento satisfatório do sistema radicular das plantas, deve ser ao redor de 0,10 m³ m⁻³. Comparando os resultados de macroporosidade e porosidade total do solo referidos pelos autores citados com os obtidos na presente pesquisa (Tabela 9), verifica-se que os desta última, realmente, são baixos, o que poderá se refletir em baixa capacidade de infiltração de água no solo e, por conseguinte, altas taxas e quantidades totais de enxurrada, o que será visto adiante, entretanto, por ocasião da apresentação e discussão dos resultados das variáveis de erosão hídrica.

TABELA 10. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em duas datas e diferentes camadas de solo no último ano de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento) – continua

Seqüência cultural ¹	28/02/2007 - solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de verão) em crescimento			
	Densidade do solo	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total
		0-10 cm		
	Mg m ⁻³	-----	m ³ m ⁻³ -----	
1Av,3Av+Er/3Fm	1,59 a	0,107 bc	0,261 a	0,368 ab
4Av/1Fm,2Te	1,58 a	0,129 c	0,291 ab	0,420 b
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	1,73 b	0,055 a	0,218 a	0,273 a
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	1,70 b	0,060 ab	0,357 b	0,417 b
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	1,59 a	0,084 abc	0,249 a	0,333 ab
Coeficiente de variação – CV, %	4,5	36,1	19,2	17,7

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

TABELA 10. continuação

Seqüência cultural ¹	13/11/2007 - solo não-mobilizado e com plantas (ciclo de inverno) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos							
	Densidade do solo		Macroporosidade		Microporosidade		Porosidade total	
	0-10 cm	10-20cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
	----- Mg m ⁻³ -----		----- m ³ m ⁻³ -----					
1Av,3Av+Er/3Fm	1,70	1,68	0,112	0,096	0,256	0,266	0,368	0,362
4Av/1Fm,2Te	1,63	1,70	0,146	0,095	0,251	0,256	0,397	0,351
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	1,67	1,66	0,115	0,080	0,247	0,277	0,362	0,357
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	1,75	1,67	0,093	0,077	0,254	0,252	0,347	0,329
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	1,62	1,62	0,091	0,090	0,262	0,263	0,353	0,353
Coefficiente de variação – CV, %	3,6	2,1	23,7	24,9	2,0	6,2	7,2	5,7

¹Mesma nota de rodapé do primeiro segmento da tabela.

4.2.1.7. Resistência do solo à penetração mecânica

Os resultados de resistência do solo à penetração mecânica obtidos com penetrógrafo até a profundidade de 0,60 m são apresentados nas figuras 4a e 4b, enquanto que os obtidos com penetrógrafo e com penetrômetro em profundidades e camadas selecionadas do solo são apresentados na tabela 11, ambos tendo sido avaliados em dois momentos distintos ao final do período de experimentação (antes da realização do segundo e do terceiro teste de erosão com chuva simulada, os quais serão abordados adiante), assim caracterizados: a) solo não-mobilizado, crosta superficial manual e levemente rompida e com maior teor de água e b) solo não-mobilizado, crosta superficial de formação recente e com menor teor de água, ambos com a mesma quantidade de cobertura morta e de raízes (também mortas). Estes resultados serão analisados e discutidos separadamente, conforme o caso e forma de sua apresentação, do modo feito a seguir.

Analisando os resultados das figura 4a e 4b, verifica-se que as curvas de resistência do solo à penetração mecânica apresentaram comportamento aproximadamente o mesmo em todos os tratamentos de seqüência cultural, exceto com valores um pouco maiores (especialmente nos primeiros 5 cm de solo) na condição de solo com crosta superficial de formação recente e com menor teor de água (Figura 4b), comparados aos valores da condição de solo com crosta superficial manual e levemente rompida e com maior teor de água (Figura 4a), ambas as situações com o solo não-mobilizado, raízes mortas e 18% de cobertura por resíduo cultural. A diferença no que se refere à crosta superficial, numa situação ausente por ter sido rompida e na outra presente, porém de consistência frágil (formação recente - uma semana), certamente não influenciou os resultados de resistência mecânica do solo à penetração obtidos com o penetrógrafo, mas a diferença no teor de água no solo, provavelmente sim, o que está dentro do esperado. Por esta última razão, verifica-se na figura 4 (a e b) que o valor de resistência do solo à penetração mecânica considerado crítico para o desenvolvimento normal das raízes da maior parte das plantas cultivadas, de 2.000 kPa (Taylon & Burnett, 1964; Nesmith, 1987; Sene et al.,1985), se situou a partir de 25 a 30 cm de profundidade no solo na sua condição mais seca (Figura 4b) e de 30 a 35 cm na sua condição mais úmida

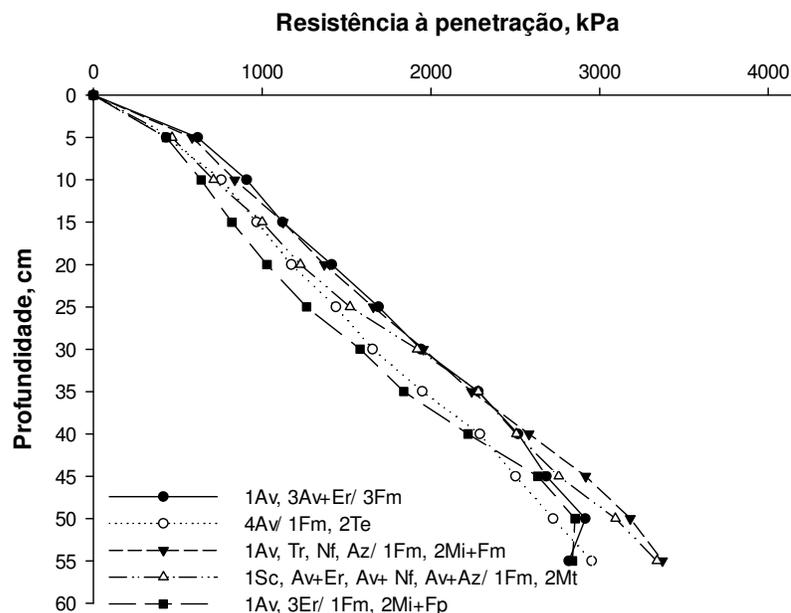


FIGURA 4a. Resistência do solo à penetração mecânica (0 a 60 cm, medida com penetrógrafo) na sua condição de não-mobilizado, raízes mortas, crosta superficial rompida, 18% de cobertura por resíduo cultural e umidade gravimétrica de $0,150 \text{ kg kg}^{-1}$ na camada de 0-10 cm e de $0,149 \text{ kg kg}^{-1}$ na de 10-20 cm (condição de realização do segundo teste - T2 - de erosão com chuva simulada), nas seqüências culturais estudadas (valores médios de duas repetições por tratamento).

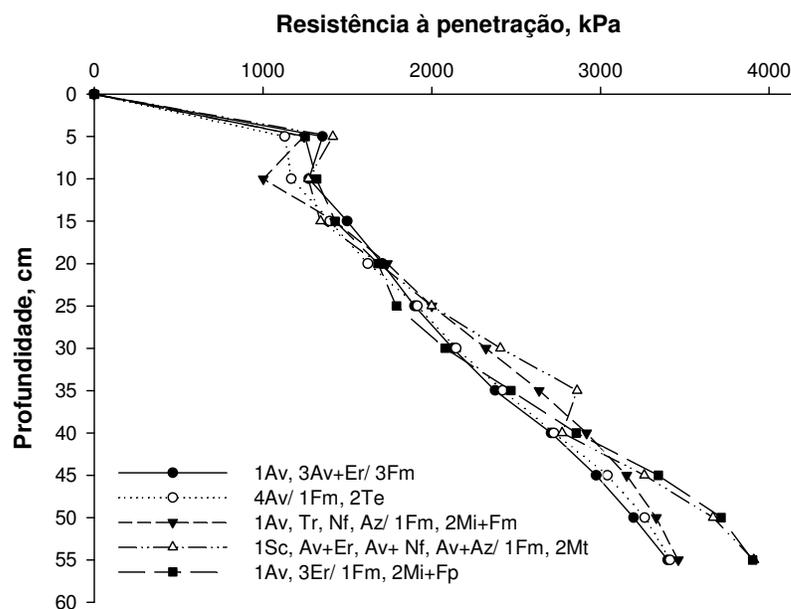


FIGURA 4b. Resistência do solo à penetração mecânica (0 a 60 cm, medida com penetrógrafo) na sua condição de não-mobilizado, raízes mortas, crosta superficial recente, 18% de cobertura por resíduo cultural e umidade gravimétrica de $0,109 \text{ kg kg}^{-1}$ na camada de 0-10 cm e de $0,127 \text{ kg kg}^{-1}$ na camada de 10-20 cm (condição de realização do terceiro teste - T3 - de erosão com chuva simulada), nas seqüências culturais estudadas (valores médios de duas repetições por tratamento).

(Figura 4a). Baseado nestes resultados, pode-se dizer que, nos teores de água no solo que foram apresentados, qualquer das condições de solo em discussão, em princípio, não constituiria impedimento mecânico à penetração de raízes na profundidade de solo considerada normal para o crescimento radicular da maior parte das plantas cultivadas (20 a 25 cm). Ainda baseado no fato de os valores de resistência do solo à penetração mecânica superarem o valor crítico de 2.000 kPa abaixo dos 25/30 cm de profundidade no solo, conforme também encontrado por Volk (2006) em estudo desenvolvido na mesma área experimental, isto deve-se ao solo em questão (Argissolo Vermelho Distrófico típico) apresentar um perfil tipicamente com gradiente textural, em que o horizonte B é mais argiloso do que o horizonte A (Streck et al., 2008).

Quanto aos resultados de resistência do solo à penetração mecânica apresentados na tabela 11, se referem aos mesmos momentos de avaliação, portanto às mesmas condições de solo referidas e discutidas acima, cujos resultados foram apresentados na figura 4, porém desta vez com as medidas de resistência tendo sido tomadas com equipamentos distintos e em profundidades selecionadas do solo (exatamente devido aos tipos de equipamento usados na medição), restritas às suas camadas mais superficiais. Os equipamentos de medição de resistência à penetração referidos são o penetrógrafo estático da SOILCONTROL (modelo Penetrographer^{PTA} SC-60), com ponteira do tipo SAE S313.2 com 10,3 mm de diâmetro, e o penetrômetro estático da CHANTILLON-NY/USA (modelo Gauge-R), com diâmetro seccional do pistão de 5 mm e regulado para penetrar o solo na sua camada de 0 a 0,5 cm, conforme relatado na seção do Material e Métodos. Realmente, são equipamentos distintos, com modos também distintos de usá-los para penetrar o solo, portanto com seus resultados não sendo diretamente comparáveis (podem ser usados para comparações relativas, entretanto). Assim, analisando os resultados apresentados na tabela 11, verifica-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural somente nas medições efetuadas com o penetrógrafo na profundidade de solo de 0 a 15 cm (índice de cone) e nas medições efetuadas com o penetrômetro na profundidade de solo de 0 a 0,5 cm, ambas no primeiro momento de avaliação, além de diferenças significativas nos resultados das medições

TABELA 11. Resistência do solo à penetração mecânica medida por dois equipamentos em duas datas e diferentes profundidades/camadas de solo ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	03/11/2007 ²			09/11/2007 ³		
	Penetrógrafo aos 5 cm	Penetrógrafo (índice de cone) 0 a 15 cm	Penetrômetro 0 a 0,5 cm	Penetrógrafo aos 5 cm	Penetrógrafo (índice de cone) 0 a 15 cm	Penetrômetro 0 a 0,5 cm
	----- kPa -----					
1Av,3Av+Er/3Fm	618	789 b	1.882 b	1.353	1.375	4.401 a
4Av/1Fm,2Te	433	639 a	1.436 a	1.130	1.048	7.725 bc
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	586	757 b	1.170 a	1.243	1.223	8.153 c
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	468	643 a	1.396 a	1.415	1.341	8.825 c
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	433	563 a	1.286 a	1.250	1.332	6.405 b
Coeficiente de variação – CV, %	21,4	13,2	18,7	13,9	13,4	13,9

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²Solo não-mobilizado, plantas (ciclo de inverno) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos, crosta rompida, umidade gravimétrica Ug=0,150 kg kg⁻¹ (0-10 cm) e 0,149 kg kg⁻¹ (10-20 cm). ³Solo não-mobilizado, plantas (ciclo de inverno) tendo sido dessecadas e seus resíduos culturais removidos, crosta recente, umidade gravimétrica Ug=0,109 kg kg⁻¹ (0-10 cm) e 0,127 kg kg⁻¹ (10-20 cm). Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

efetuadas com o último equipamento referido na segunda avaliação. Desta vez, exceto o valor do índice de cone em um tratamento, houve regularidade na ocorrência das significâncias estatísticas nos tratamentos de seqüência cultural nos dois tipos de dados, obtidos com penetrógrafo e com penetrômetro, na primeira avaliação, mas não nas deste último na segunda avaliação, com os valores da primeira avaliação sendo bem menores do que os da segunda avaliação, independentemente do equipamento utilizado na medição. Verifica-se ainda na tabela 11 que somente os valores de resistência à penetração obtidos com o penetrômetro (0 a 0,5 cm) na segunda avaliação foram superiores ao valor crítico de 2.000 kPa, denotando a influência da crosta superficial, mesmo de formação recente (uma semana após ter sido manual e levemente rompida), neste tipo de medida, associada, é claro, ao menor teor de água na camada mais superficial do solo por ocasião da sua medição. Teoricamente, a presença de crosta superficial mais endurecida irá ter maior influência na infiltração de água no solo, o que será visto adiante, durante a apresentação e discussão dos resultados das variáveis de erosão hídrica. Apesar da existência de diferenças estatisticamente significativas nos valores de resistência do solo à penetração mecânica entre os tratamentos de seqüência cultural, não se tem certeza se foram devido a estes últimos ou a razões associadas aos equipamentos utilizados na medição. Para fins de comparação, em estudo realizado no mesmo tipo de solo e usando um penetrômetro estático de bolso, Souza (1976) encontrou valores de resistência do solo à penetração mecânica de 2.394 e 7.367 KPa nas camadas de solo de 0 a 25 cm e 25 a 50 cm para uma área de solo virgem, de 5.743 e 5.052 kPa nas camadas de solo de 0 a 12 cm e 12 a 25 cm para uma área de pastagem cultivada e de 8.319 e 6.592 KPa nas camadas de solo de 0 a 6 cm, 6 a 12 cm e 12 a 25 cm para uma área de culturas anuais.

4.2.1.8. Índice de rugosidade superficial do solo

Os valores do índice de rugosidade superficial do solo, sem distinção para a rugosidade ao acaso e a rugosidade orientada, resultantes da análise do microrelevo criado pelas operações de seu preparo, obtidos por dois procedimentos de cálculo (georeferenciado e desvio padrão da média), em três momentos (três superfícies distintas de solo) ao final do período de experimentação, são apresentados na tabela 12. Analisando os dados, verifica-se que em nenhuma das situações criadas na pesquisa houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural, contrariamente ao esperado. Provavelmente, isto se deveu ao fato de as seqüências culturais em estudo ainda não terem tido tempo (3,5 anos de inserção no estudo) para manifestar suas ações no solo, ao ponto de modificar a sua estrutura, para que dela resultassem microrelevos superficiais diferentes quando o solo viesse a ser preparado, ou, então, porque os seus sistemas radiculares realmente não se diferenciam nas suas ações quanto a este aspecto. Independentemente disto, todos os valores de índice de rugosidade superficial do solo apresentados na tabela 12 são muito superiores aos obtidos quando o solo ainda não havia sido mobilizado (0,48 cm pelo método de cálculo georreferenciado e 0,91 cm pelo método de cálculo usando o desvio padrão da média). Isto significa que a porosidade total da camada preparada do solo (a que, além da porosidade normal existente em sua massa, inclui os vazios da superfície criados pelas microdepressões e microelevações resultantes das operações de seu preparo) foi grandemente aumentada, a qual, juntamente com a rugosidade superficial da qual ela se originou, irão constituir ótimas condições de solo para reter e infiltrar água da chuva e para induzir deposição das partículas erodidas do solo que se encontram em transporte na enxurrada (Cogo, 1981; Cogo et al., 1983; Norton et al., 1985; Castro et al., 2006). Estas condições físicas de superfície de solo (rugosidade superficial e porosidade total da camada preparada), entretanto, são efêmeras, bastante vulneráveis à ação do tempo (chuvas, práticas culturais, acomodação natural da superfície do solo etc.), o que pode ser constatado examinando-se os valores do índice de rugosidade superficial do solo para qualquer dos procedimentos de cálculo (método do IRg ou método do IRs) obtidos antes da

TABELA 12. Rugosidade superficial do solo avaliada por dois procedimentos em diferentes datas ao final do período de experimentação, nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	<u>15/11/2007</u> - solo recém- escarificado, antes da chuva do quarto teste de erosão (T4)		<u>23/11/2007</u> – solo previamente escarificado - em T4 e após sua chuva -, antes da chuva do quinto teste de erosão (T5)		<u>13/12/2007</u> – solo recém- gradeado - após a realização de T5 -, antes da chuva do sexto teste de erosão (T6)	
	IRg ²	IRs ³	IRg	IRs	IRg	IRs
	----- cm -----					
1Av,3 <u>Av+Er</u> /3Fm	1,55	2,33	1,43	2,01	1,56	2,44
4 <u>Av</u> /1Fm,2Te	1,58	2,92	1,18	1,90	1,44	2,38
1Av,Tr, Nf, <u>Az</u> /1Fm,2Mi+Fm	1,92	2,98	0,84	1,67	0,89	1,55
1Sc,Av+Er,Av+Nf, <u>Av+Az</u> /1Fm,2Mt	1,99	3,35	1,06	1,79	1,62	2,29
1Av,3 <u>Er</u> /1Fm,2Mi+Fp	1,77	2,93	1,14	1,88	1,82	2,58
Coeficiente de variação - CV, %	13,0	15,0	25,0	16,2	32,0	23,6

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²Índice de rugosidade superficial do solo georeferenciado. ³Índice de rugosidade superficial do solo baseado no desvio padrão das leituras. A ausência de letra nos valores das colunas desta tabela significa falta de significância estatística entre os mesmos, pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

aplicação da chuva simulada (primeira avaliação na tabela 12) e após a sua aplicação (segunda avaliação na tabela 12), em que foram bastante reduzidos pela ação da chuva. Ao se reparar o solo com grade (última avaliação na tabela 12), entretanto, os valores do índice de rugosidade superficial voltaram a ter maior magnitude, de certa forma aproximando-se dos valores observados logo após a escarificação (primeira avaliação na tabela 12). Quanto às diferenças nos valores do índice de rugosidade superficial obtidos pelos dois procedimentos de cálculo, bem mais elevados no método em que se usou o desvio padrão da média para representá-lo (IRs), não há o que comentar, tendo em vista que são procedimentos distintos, não comparáveis. Entretanto, qualquer um deles pode ser usado para fins de comparações relativas, o que já não pode ser dito quando intencionados, por exemplo, para uso em equações de predição da perda de solo por erosão, onde se requer que um dado índice de rugosidade superficial do solo tenha, antes, sido devidamente validado, em termos de magnitude de sua influência na perda de solo pelo fenômeno referido (Norton et al., 1985; Castro et al., 2000).

4.2.2. Análise das inter-relações dos resultados

Uma quantidade expressiva de inter-relações com os resultados das variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais foi efetuada na pesquisa, sempre procurando-se observar a relação de causa (variável independente) e efeito (variável dependente) entre elas. Estas inter-relações foram efetuadas independentemente dos tratamentos de seqüência cultural (incluiu-se todas as observações na análise, individualmente, inclusive as das repetições dos tratamentos, totalizando dez pontos na regressão – 5 tratamentos x 2 repetições) e somente com os resultados obtidos na camada de solo de 0 a 10 cm, este último fato em função de a erosão hídrica pluvial do solo ser um fenômeno essencialmente se desenvolvendo na sua superfície. Feitas as inter-relações e analisados os seus resultados, verificou-se que algumas delas resultaram em grande dispersão de pontos, sem qualquer indicação de tendência nos dados, e, mesmo que não se estivesse esperando isto, foram descartadas e deixadas fora deste trabalho. Por outro lado, várias inter-relações que se esperava indicarem tendência nos dados e apresentarem significância estatística quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado

para descrevê-las (essencialmente a equação da reta), resultaram ou sem tendência ou com tendência mas sem significância estatística e, em adição, ora ocorrendo na direção esperada e ora na direção oposta. Mesmo assim, tendo em vista o esperado delas (algumas constituíram elementos importantes usados na elaboração das hipóteses da pesquisa) e com o propósito de acumular informações no assunto para servir pesquisas futuras, foram consideradas e feitas presentes neste trabalho, juntamente com as inter-relações que resultaram estatisticamente significativas mas que, por sua vez, também ora ocorreram na direção esperada e ora na direção oposta. Assim, para facilitar a sua visualização, o último conjunto de inter-relações referido foi reunido e disposto neste trabalho em uma única figura (Figura 5), composta de várias partes, subnumeradas de 1 a 32 (Figuras 5-1 a 5-32), cada uma delas correspondendo a uma inter-relação em particular. A ordenação das inter-relações na figura 5 seguiu um dado interligamento (sucessivo e escalonado) das variáveis usadas na sua composição, conforme referido nas considerações iniciais desta seção (item 4.1) e usado na abordagem da análise básica dos resultados (sub-item 4.2.1). Importante ainda lembrar que as inter-relações em consideração englobaram situações nas quais as variáveis usadas na sua composição provieram de três condições distintas da superfície do solo, assim expostas e caracterizadas: a) solo não-mobilizado - semeadura direta ou sem preparo do solo: esta condição serviu três situações com plantas em crescimento (raízes vivas) e doze situações com plantas tendo sido dessecadas (raízes mortas) e seus resíduos culturais removidos; b) solo mobilizado - escarificação seguida de gradagem: esta condição serviu doze situações, todas com plantas tendo sido dessecadas (raízes mortas) e seus resíduos culturais removidos; e c) solo não-mobilizado e solo mobilizado: esta condição serviu cinco situações, em que as variáveis de manejo do solo usadas como causa na inter-relação (variável independente) tiveram seus valores obtidos na condição de solo não-mobilizado e as usadas como efeito (variável dependente) na condição de solo mobilizado, ambas com plantas tendo sido dessecadas (raízes mortas) e seus resíduos culturais removidos.

Quanto às variáveis que participaram das inter-relações mencionadas acima, num primeiro momento, tendo em vista os tratamentos de seqüência cultural constituírem a fonte ou causa principal de variação hipotetizada na

pesquisa, usou-se a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes como variável independente e fez-se com ela dezoito relações (Figuras 5-1 a 5-18), usando os teores de matéria orgânica, de carbono orgânico, de glomalina, a quantidade de evolução de CO₂, o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água, a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm e o índice de rugosidade superficial do solo (este último obtido por dois procedimentos de cálculo, georreferenciado e baseado no desvio padrão da média) como variáveis dependentes. Num segundo momento, usou-se o teor de matéria orgânica como variável independente e fez-se com ela uma única relação (Figura 5-19), usando o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água como variável dependente. Num terceiro momento, usou-se o teor de glomalina no solo como variável independente e fez-se com ela duas relações (Figuras 5-20 e 5-21), usando o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água como variável dependente. Num quarto momento, usou-se a quantidade de evolução de CO₂ do solo como variável independente e fez-se com ela duas relações (Figuras 5-22 e 5-23), também usando o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água como variável dependente. Num quinto momento, usou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água como variável independente e fez-se com ele cinco relações (Figuras 5-24 a 5-28), usando os índices de rugosidade superficial do solo georreferenciado e baseado no desvio padrão da média e a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm como variáveis dependentes. Num sexto momento, utilizou-se a razão DMP a úmido/DMP a seco como variável independente e fez-se com ela duas relações (Figuras 5-29 e 5-30), usando a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm como variável dependente. Num sétimo e último momento, usou-se o índice de cone como variável dependente e fez-se com ele duas relações (Figuras 5-31 e 5-32), usando os índices de rugosidade superficial do solo georreferenciado e baseado no desvio padrão da média como variáveis dependentes. Completados os esclarecimentos das inter-relações que irão ser tratadas daqui para frente, feitos com o propósito de facilitar o seu entendimento, passar-se-á à análise das inter-relações dos resultados das variáveis de manejo do solo propriamente dita.

Analisando os resultados da figura 5, verifica-se que, das trinta e duas inter-relações efetuadas com as variáveis de manejo do solo (Figuras 5-1 a 5-32), treze resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, com valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,3225 no nível de probabilidade $p < 0,1$ a 0,9262 no nível de probabilidade $p < 0,001$, e dezenove resultaram estatisticamente não-significativas. Em continuidade, observa-se que, das treze inter-relações que resultaram estatisticamente significativas, quatro ocorreram no nível de probabilidade $p < 0,1$, com valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,3225 a 0,4070 (Figuras 5-14, 5-19, 5-21 e 5-25), três ocorreram no nível de probabilidade $p < 0,05$, com valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,4411 a 0,4476 (Figuras 5-8, 5-10 e 5-12), uma ocorreu no nível de probabilidade $p < 0,02$, com valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,7210 (Figura 5-27), três ocorreram no nível de probabilidade $p < 0,01$, com valores do coeficiente de correlação (R^2) variando de 0,6136 a 0,7203 (Figuras 5-22, 5-23 e 5-29), e duas ocorreram no nível de probabilidade $p < 0,001$, com valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,8851 e 0,9062 (Figuras 5-28 e 5-30). Neste conjunto de inter-relações estatisticamente significativas, as de maior destaque, com o menor nível de probabilidade estatística (p) e com os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2), conforme os valores mencionados acima, foram as de percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (Figura 5-28) e com a razão DMP a úmido/DMP a seco (Figura 5-30), ambas associadas à condição de solo mobilizado (escarificação seguida de gradagem), seguidas em posição um pouco inferior das mesmas inter-relações, porém, associadas à condição de solo não-mobilizado (Figuras 5-27 e 5-29). Em posição um pouco abaixo destas últimas, mas ainda de certo destaque, se situaram as inter-relações de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água com a quantidade de evolução de CO_2 do solo associadas às condição de solo não-mobilizado e mobilizado (Figuras 5-22 e 5-23).

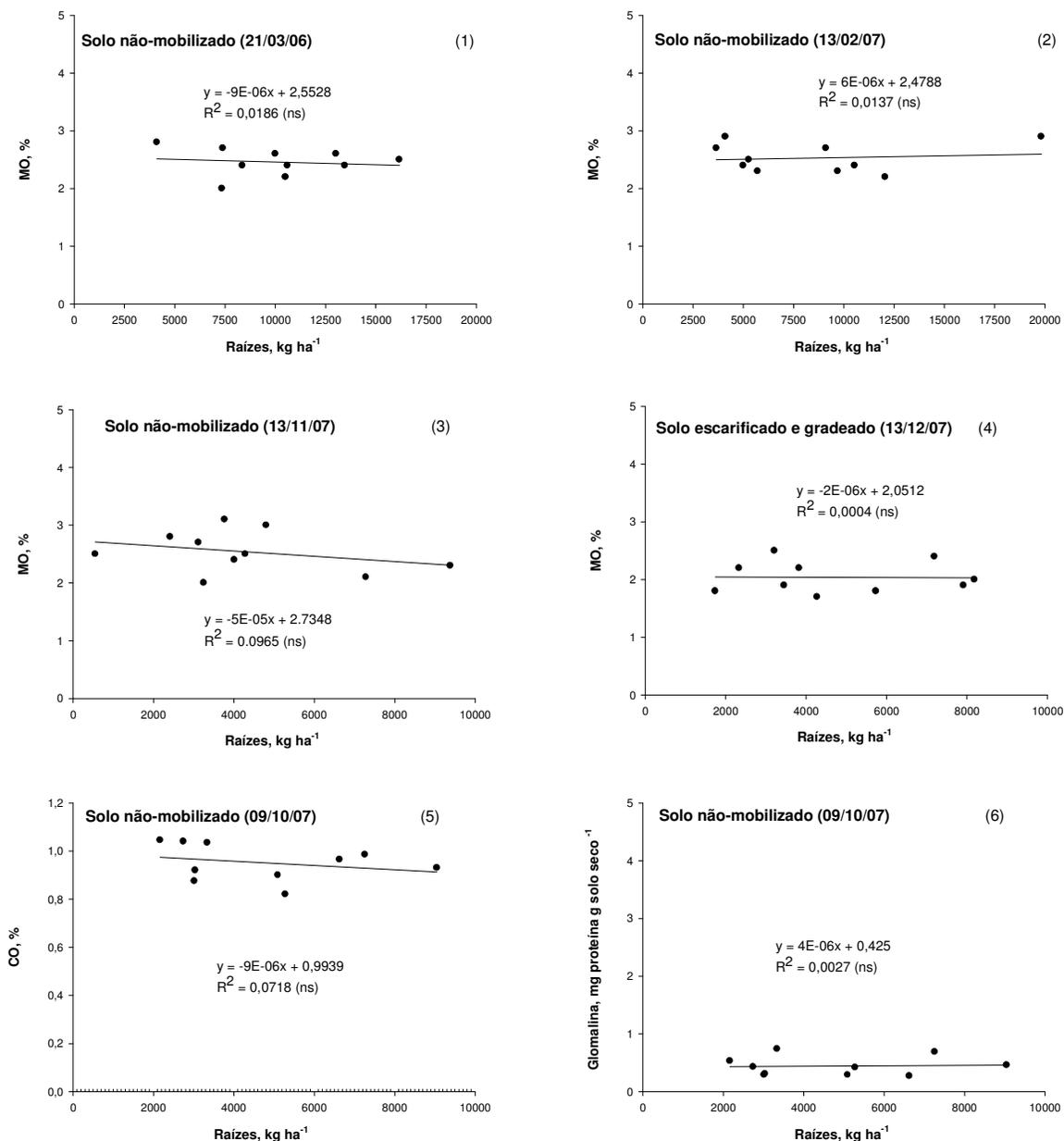


FIGURA 5. Inter-relações variáveis de manejo do solo-variáveis de manejo do solo efetuadas com os valores obtidos da camada de solo de 0-10 cm, independentemente das seqüências culturais estudadas (obs. 1: exceto as relações das sub-figuras 1, 2 e 5, correspondentes às datas de 21/03/06, 13/02/07 e 09/10/07, em que a amostragem do solo foi feita com o solo portando plantas em crescimento - raízes vivas -, as demais são todas para o caso em que as plantas já haviam sido dessecadas - raízes mortas - e seus resíduos culturais removidos da superfície do solo; obs. 2: as convenções usadas nas várias partes desta figura têm o seguinte significado: MO=matéria orgânica, CO=carbono orgânico, DMP=diâmetro médio ponderado de agregados, u=úmido, s=seco, IRg=índice de rugosidade superficial do solo georeferenciado, IRs=índice de rugosidade superficial do solo baseado no desvio padrão das leituras e IC=índice de cone) – continua

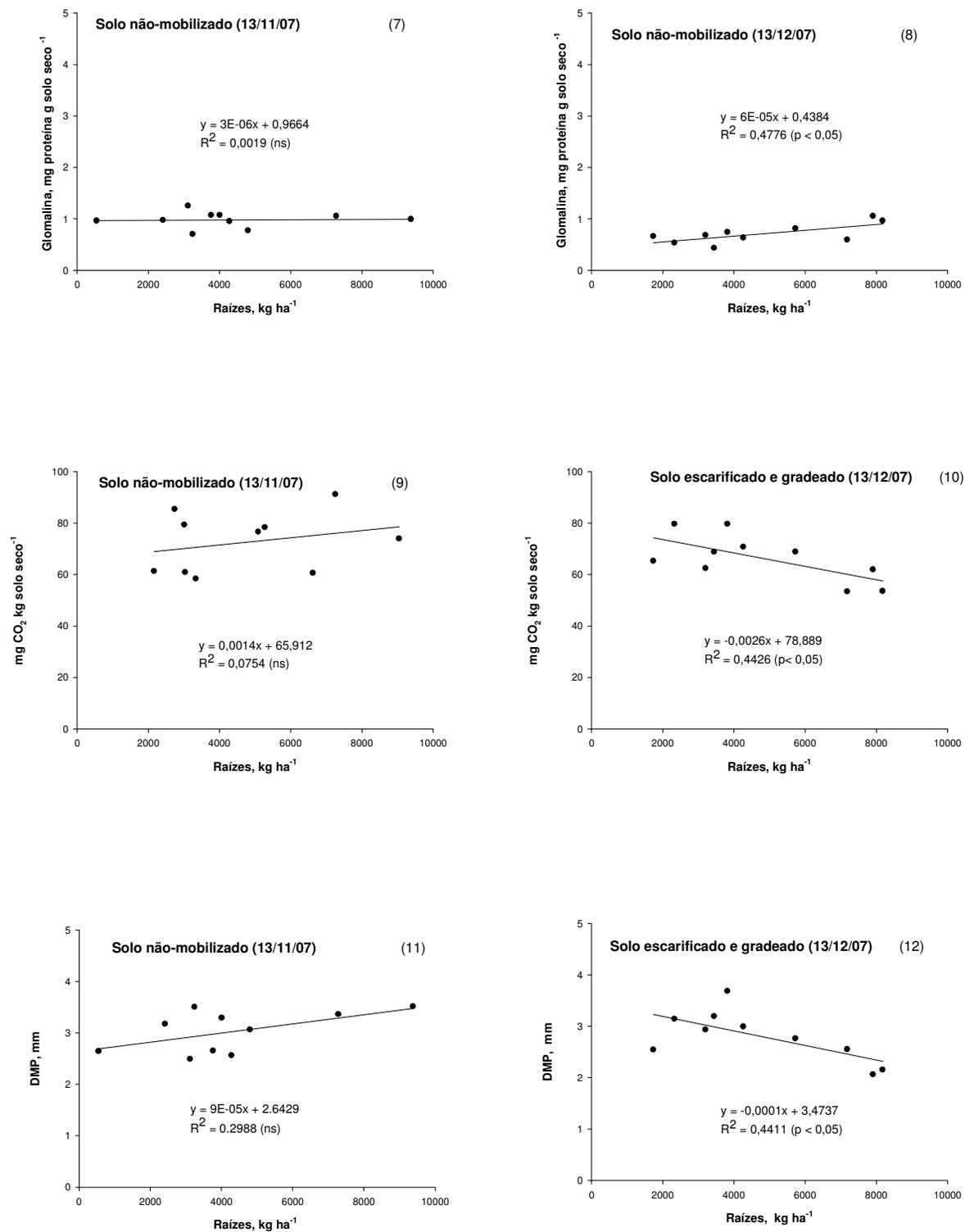


FIGURA 5. continuação

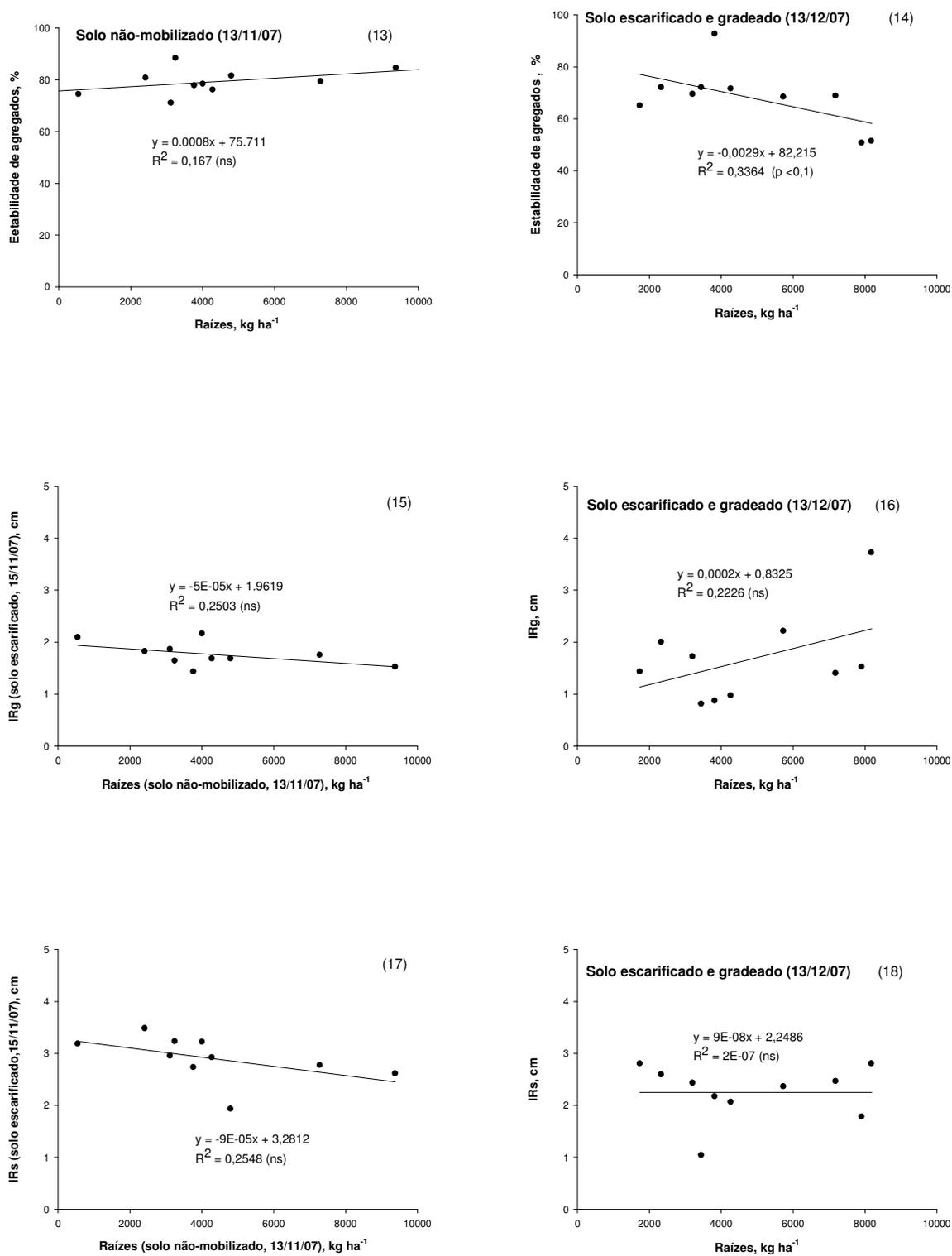


FIGURA 5. continuação

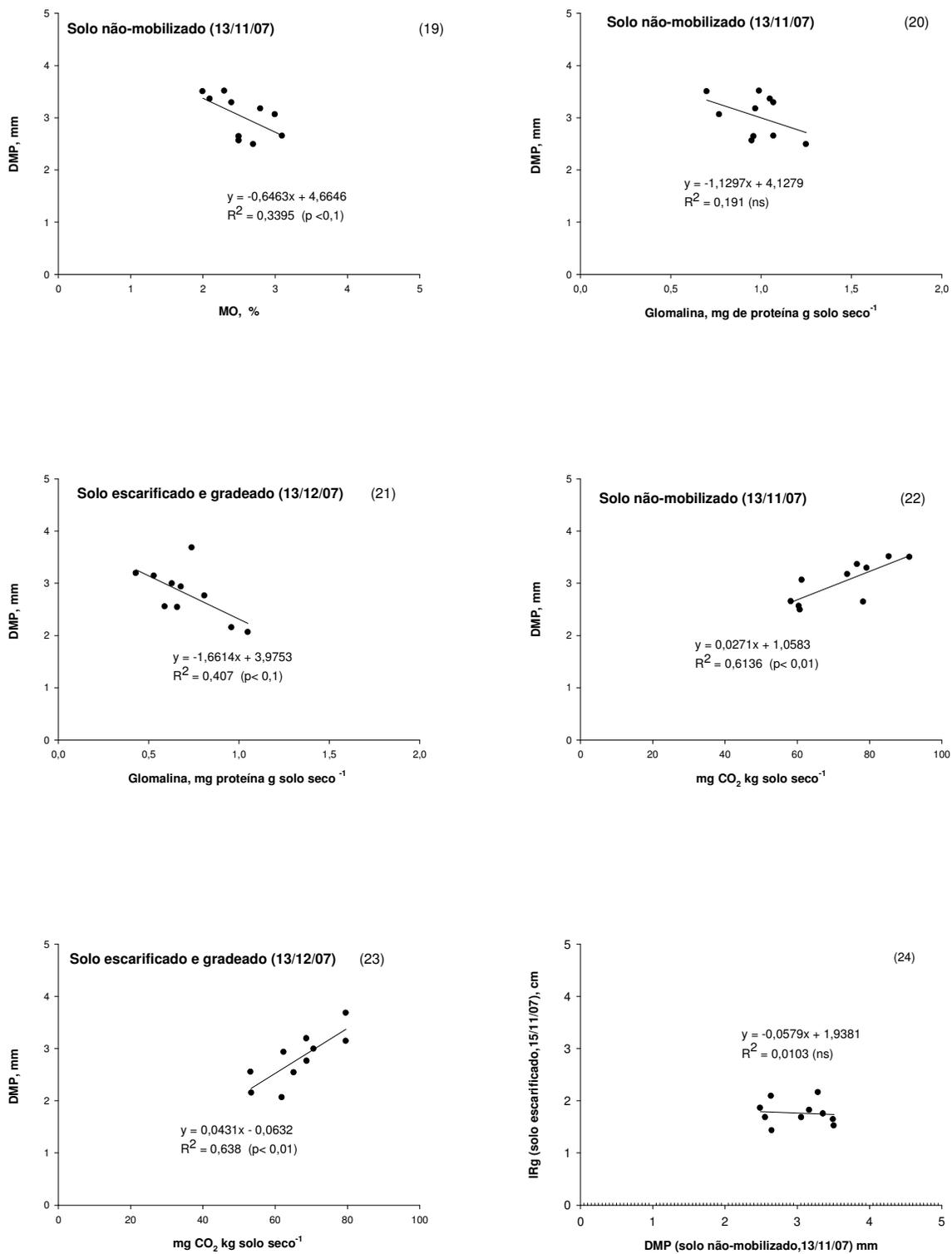


FIGURA 5. continuação

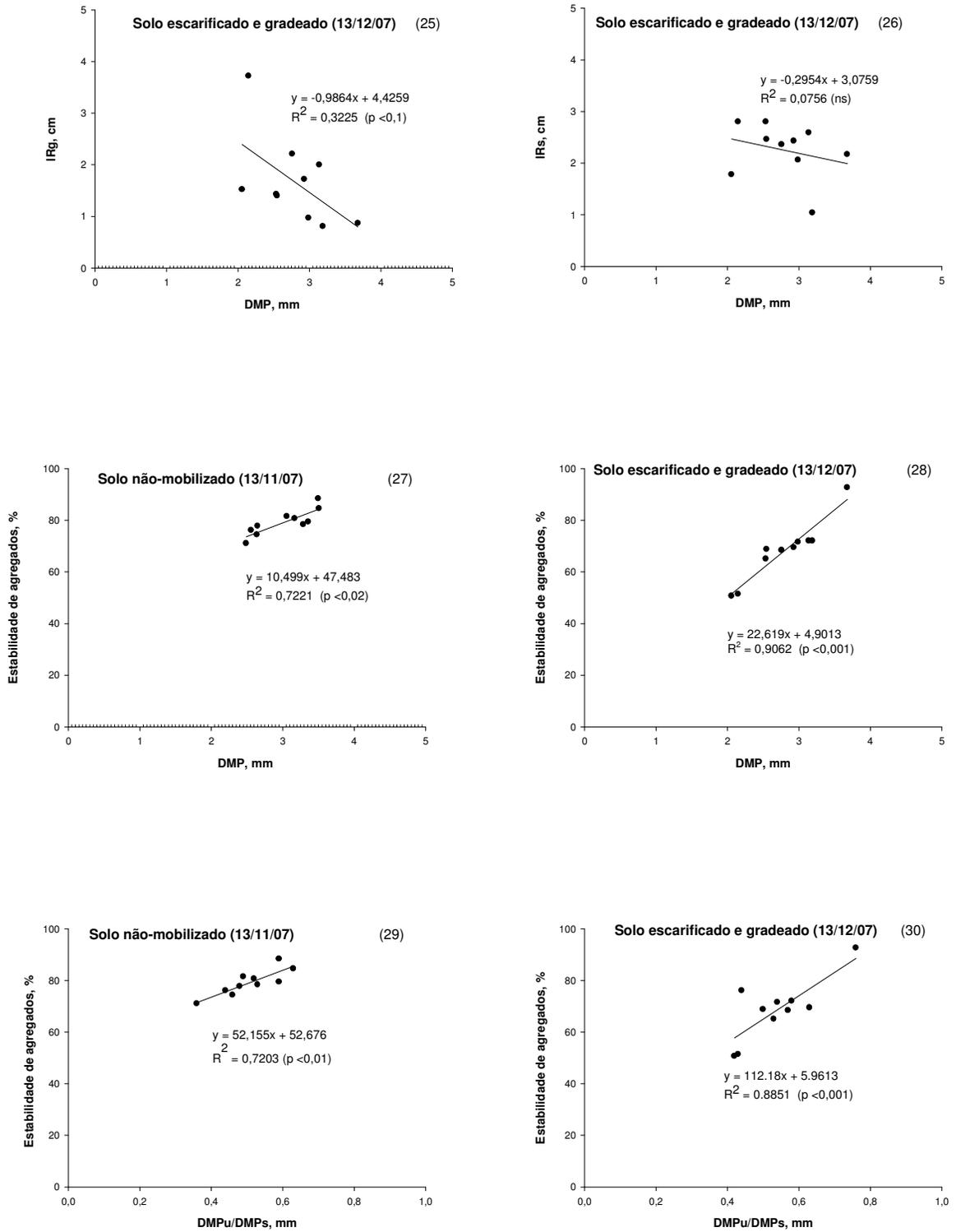


FIGURA 5. continuação

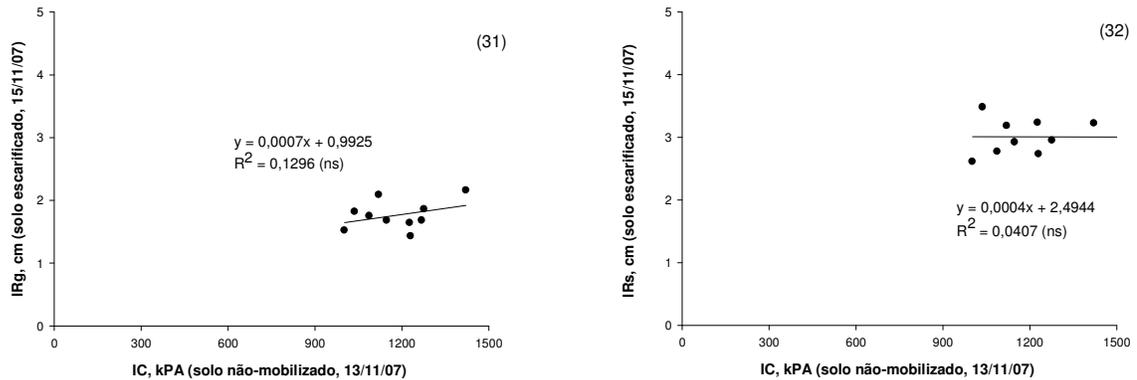


FIGURA 5. continuação.

As demais inter-relações estatisticamente significativas ($p < 0,05$ e $p < 0,1$) apresentadas na figura 5 apresentaram valores do seu coeficiente de determinação (R^2) relativamente baixo e numa faixa estreita de variação ($R^2 = 0,4776$ a $0,3225$), conforme pode ser visto nas figuras 5-8, 5-10-, 5-12, 5-14, 5-19, 5-21 e 5-25. No mesmo contexto do que vem sendo abordado, é interessante observar o fato de que, na maior parte das inter-relações apresentadas na figura 5, independentemente da significância do grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, os valores do coeficiente de determinação (R^2) para dada inter-relação foram sempre maiores quando suas variáveis tiveram os valores oriundos da condição de solo mobilizado (escarificação seguida de gradagem), comparados aos oriundos da condição de solo não-mobilizado (sem preparo ou semeadura direta), com a ressalva (outro fato interessante) de, às vezes, o comportamento da curva ocorrendo na direção oposta à esperada. Comentários mais detalhados a respeito destes resultados serão efetuados a seguir.

As inter-relações estatisticamente altamente significativas da percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm com a razão DMP a úmido/DMP a seco (Figuras 5-28 e 5-30) e com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (Figuras 5-27 e 5-29), em grande parte se deveu à interdependência destas variáveis, cujos valores, exceto os de DMP a seco, foram calculados com base nos mesmos resultados da análise de distribuição de tamanho de agregados do solo em

água. Entretanto, o resultado obtido com a razão DMP a úmido/DMP a seco (alta correlação com a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm) representa algo de significativo, tendo em vista que a análise da distribuição de tamanho de agregados do solo a seco constitui procedimento distinto do da análise efetuada a úmido, podendo-se, desta forma, dizer que a referida razão pode ser usada como um índice confiável de estabilidade de agregados do solo, em que pese seus valores terem sido relativamente pequenos (Tabela 9). Quanto aos bons resultados da inter-relação entre o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e a quantidade de evolução de CO₂ do solo, tanto na condição de solo não-mobilizado quanto na condição de solo mobilizado (respectivamente Figuras 5-22 e 5-23), em que a primeira variável aumenta de valor com o aumento do valor da segunda, provavelmente deve estar ligado ao estoque de carbono no solo. Este permite que os microrganismos decompositores aumentem sua atividade, resultando em intensa produção de substâncias orgânicas, como mucilagens e micélios fungicos, que aumentam a estabilidade dos agregados do solo (Moreira & Moreira, 2006).

Uma ocorrência sob determinado aspecto importante, que, visivelmente, chama a atenção nas inter-relações cujos resultados são apresentadas na figura 5, diz respeito ao grande número de casos com ausência de significância estatística nas inter-relações que foram efetuadas com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, a qual foi a fonte ou causa principal de variação hipotetizada na pesquisa, por meio dos tratamentos de seqüência cultural usados no experimento da mesma. Dentre as dezoito inter-relações efetuadas com a referida variável (Figuras 5-1 a 5-18), observa-se que apenas quatro resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, sendo três no nível de probabilidade $p < 0,05$ e com valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,4476; 0,4426 e 0,4410 (o primeiro na condição de solo não-mobilizado e os outros dois na de solo mobilizado), respectivamente para as suas relações com o teor de glomalina no solo, com a quantidade de evolução de CO₂ do solo e com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (Figuras 5-8, 5-10 e 5-12), e uma no nível de probabilidade $p < 0,10$ e com valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,3364 na condição de solo mobilizado

para a sua relação com a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm (Figura 5-14). Não se relacionaram de modo estatisticamente significativo com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes neste estudo os teores de matéria orgânica (Figuras 5-1 a 5-4), carbono orgânico (Figura 5-5) e glomalina (Figuras 5-6 e 5-7) na condição de solo não-mobilizado (exceto um caso isolado para a matéria orgânica na condição de solo mobilizado – Figura 5-4), a quantidade de evolução de CO₂ do solo na condição de solo não-mobilizado (Figura 5-9), o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água na condição de solo não-mobilizado (Figura 5-11), a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm na condição de solo não-mobilizado (Figura 5-13) e os índices de rugosidade superficial do solo georreferenciado (Figuras 5-15 e 5-16) e baseado no desvio padrão da média (Figuras 5-17 e 5-18), o primeiro na condição de solo mobilizado e o segundo nas duas condições, de solo não-mobilizado como variável independente e de solo mobilizado como variável dependente. Atribui-se estes resultados da análise estatística (ausência de significância nas inter-relações das variáveis mencionadas com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes) a várias razões, mas, principalmente, às seguintes: a) deficiências nos procedimentos de amostragem e determinação de algumas variáveis (pequenos número e tamanho das amostras e frágeis formas de coleta), principalmente no que se refere à avaliação da quantidade de raízes, à análise de agregados do solo e à determinação e cálculo do índice de rugosidade superficial do solo; b) consequência de parte do que foi referido em a, o relativamente pequeno número de observações nas inter-relações; c) relativamente estreita faixa de valores de algumas variáveis; d) relativamente curto tempo de experimentação para oportunizar às espécies vegetais melhor manifestação dos seus efeitos no solo e, mesmo, e) possível ausência de relação de causa e efeito em algumas variáveis utilizadas nas inter-relações. Provavelmente, por estas razões, os resultados das inter-relações efetuadas com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes resultaram bastante variados e irregulares (Figuras 5-1 a 5-18), ora sendo consistentes e ora não em relação ao esperado, o que se refletiu nos graus de ajuste do modelo matemático empregado na análise, ora sendo significativos na direção não-esperada, ora insensíveis à relação e ora ocorrendo na direção certa, porém,

resultando não-significativos, além de mudanças de comportamento quando entravam em cena as condições físicas (momentâneas) externas ou superficiais do solo, das quais os valores das variáveis usadas nas inter-relações foram obtidos (solo não-mobilizado, solo mobilizado e combinação dos dois). Sem dúvida, é necessário dispender mais esforços e realizar mais estudos no que se refere a isto tudo, para aumentar a quantidade e melhorar a qualidade das informações no assunto.

Inter-relações estatisticamente significativas ($p < 0,1$ e $R^2 = 0,3225$ a $0,4070$), porém, estranhas quanto ao seu comportamento, foram as de percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que $0,5$ mm com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes (Figura 5-14), de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água com os teores de matéria orgânica (Figura 5-19) e glomalina (Figura 5-21) no solo e de índice de rugosidade superficial do solo georreferenciado com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (Figura 5-25), em que os valores da variável dependente diminuem com o aumento dos valores da variável independente, quando o esperado é exatamente o contrário. Não há lógica para este comportamento das variáveis mencionadas, provavelmente tendo ocorrido devido a problemas relacionados com os resultados das medições.

Quanto à consistência na ocorrência das significâncias estatísticas nos resultados analisados, acusadas ora pelo teste de comparação de médias e ora pelo grau de ajuste do modelo matemático usado nas inter-relações, ao paciente e atentamente examinar os dados apresentados nas tabelas 4 a 19, com os resultados da análise da variância, e os apresentados nas figuras 5-1 a 5-32, com os resultados da análise de regressão, e resguardada a devida correspondência entre variáveis, verificar-se-á que, quando ambas as variáveis inter-relacionadas apresentaram diferenças estatisticamente significativas nos seus resultados, acusadas pelo teste de comparação de médias, as inter-relações também resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, e da mesma forma ocorrendo pelo lado contrário, ou seja, quando as variáveis inter-relacionadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas nos seus resultados, acusadas pelo teste de comparação de médias, as inter-relações

também resultaram não-significativas. Fora deste quadro de ocorrências, ou seja, quando não houve paralelismo das variáveis quanto às suas significâncias estatísticas acusadas pelo teste de comparação de médias, as inter-relações resultaram ora significativas e ora não-significativas. Os resultados apresentados, em princípio, indicam que houve consistência nos resultados das análises estatísticas efetuadas com as variáveis de manejo do solo no presente estudo.

Certa e lamentavelmente, os resultados estranhos ou não-esperados obtidos das inter-relações das variáveis de manejo do solo apresentadas e discutidas acima prejudicaram um pouco o que se esperava alcançar e propor com a pesquisa, mas também não invalidaram o propósito principal almejado com ela. Assim, o que de momento pode ser recomendado em relação ao assunto é investir mais esforços e desenvolver mais estudos no sentido de melhorar os procedimentos tanto de amostragem quanto de determinação de algumas variáveis de manejo do solo neste tipo de pesquisa (quantificação da erosão sob condições de chuva simulada), em que são usadas parcelas experimentais de tamanho relativamente pequeno (3,5 m x 11,0 m), com área limitada (38,5 m²) para devidamente se fazer as amostragens e as medições necessárias, sem causar muito distúrbio nas mesmas, principalmente para os propósitos de quantificação da biomassa subterrânea ou raízes e avaliação da densidade, porosidade, distribuição de tamanho e estabilidade de agregados do solo.

4.2.3. Análise sumarizada global dos resultados

Os resultados das variáveis de manejo do solo consideradas na pesquisa, medidas nas parcelas experimentais no terço final do período de experimentação, foram apresentados e discutidos nos sub-itens anteriores (4.2.1 e 4.2.2). Neste sub-item, como referido nas considerações iniciais desta seção (item 4.1), será feita uma análise sumarizada global dos resultados obtidos, expondo-se o que de mais importante e interessante se julgou ter sido observado na pesquisa em relação a este conjunto de variáveis (de manejo do solo), o qual será usado novamente adiante, no item que tratará das inter-relações das variáveis de erosão hídrica do solo com as variáveis de manejo do solo, para completar o feitiço deste trabalho.

Conforme exposto nas análises básica e das inter-relações dos resultados, a pesquisa resultou em dados e informações (no caso com as variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais) alguns bons e outros nem tanto, dentro do esperado. De qualquer forma, julgou-se que o saldo foi positivo, até pelas próprias surpresas ocorridas (não-esperadas), tendo em vista que o processo de aprendizagem ensina que em cima dos próprios erros ou equívocos é onde mais se aprende, mais se avança e mais se cresce, em todos os aspectos, como indivíduos e como profissionais. Não se está com isto querendo dizer que foram cometidos erros ou equívocos na pesquisa, deliberados ou não, ao ponto de comprometer os propósitos principais da mesma (absolutamente não aconteceu isto), mas sim que se tinha plena consciência de que alguns resultados não iriam sair bem. Isto em função das ocorrências involuntárias e circunstanciais durante o seu desenvolvimento, conforme devidamente registrado na seção do Material e Métodos. Desta forma, o que não pode deixar de ser dito a respeito é que os resultados das variáveis de manejo do solo consideradas na presente pesquisa não corresponderam às expectativas no grau que se esperava, em que pese, talvez, se estar sendo muito exigente quanto a isto. Mas, de fato, esperava-se que os tratamentos de seqüência cultural empregados na pesquisa fossem resultar em diferenças nos valores das variáveis de manejo do solo bem mais acentuadas do que as observadas e, por conta disto, em melhores inter-relações das suas variáveis, especialmente no que se refere à ação diferenciada no solo (hipotetizada) que decorreria dos diferentes (também hipotetizados) sistemas radiculares das espécies vegetais que integraram as seqüências culturais usadas na pesquisa, os quais foram utilizados como elemento-chave na elaboração da hipótese central da mesma, como viessem a se constituir na fonte ou causa principal de variação no experimento que foi instalado e conduzido para sua comprovação ou não. Como referido, julgou-se que as principais causas para a não ocorrência das diferenças que se esperava encontrar nos tratamentos de seqüência cultural, no que se refere às variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais, foram as seguintes: a) relativamente pouco tempo de experimentação (3,5 anos) para que as seqüências culturais pudessem exercer suas ações completas no solo; 2) realmente inexistência de diferença detectável entre algumas espécies vegetais

que compuseram as seqüências culturais estudadas quanto à ação de seus sistemas radiculares no solo; e 3) fontes de variação naturais (não-sabidas) e involuntária e circunstancialmente introduzidas no experimento da pesquisa. Qual(is) destas causas foi(ram) a principal é difícil dizer, tendo em vista que somente um maior tempo de experimentação e um acompanhamento mais freqüente e aprimorado de tudo o que envolve uma pesquisa de natureza como a desta poderão dar a(s) resposta(s) mais plausível(is). Independentemente do que foi comentado, entretanto, pôde muito bem ser constatado que todos os tratamentos de seqüência cultural estudados (com certo destaque para a seqüência cultural que envolveu teosinto, a qual, de modo geral, foi a que apresentou melhores resultados) agiram relativamente rápido e de modo eficiente na reestruturação do solo utilizado na pesquisa (totalmente desestruturado no seu início, por ação antrópica programada), comparada à estrutura que ele tinha quando se encontrava na sua condição original de campo nativo (predominantemente constituído por espécies de gramínea). Isto pelo fato de que, em média, ao final dos 3,5 anos de experimentação, os tratamentos de seqüência cultural elevaram o teor de matéria orgânica no solo na sua camada de 0 a 10 cm em 35% em relação ao existente no início da pesquisa, quando o solo se encontrava degradado, e chegaram aos 85% do valor existente no solo original, quando sob a condição de campo nativo. Quanto à agregação do solo, considerada por meio dos valores do diâmetro médio ponderado (DMP) dos seus agregados, analisados em água, as seqüências culturais estudadas, em média, elevaram o seu valor em 202% em relação ao existente no início da pesquisa, quando o solo se encontrava degradado, e chegaram aos 75% do valor existente no solo original, quando ele se encontrava na condição de campo nativo.

4.3. Variáveis de erosão hídrica do solo

4.3.1. Análise básica dos resultados

4.3.1.1. Declividade do solo nas parcelas experimentais e datas de aplicação, intensidade e duração das chuvas simuladas usadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa

Estas informações são apresentadas na tabela 13. Analisando os dados, verifica-se que a declividade do solo nas parcelas experimentais variou de $0,097 \text{ m m}^{-1}$ na repetição 1 ou parcela 1 do tratamento nº 1 a $0,125 \text{ m m}^{-1}$ na repetição 1 ou parcela 8 do tratamento nº 4. Apesar desta variação não ser grande, para fins de cálculo da perda total final (ajustada) de solo por erosão os valores de declividade de cada parcela foram corrigidos para o valor médio de $0,115 \text{ m m}^{-1}$, conforme mencionado na seção do Material e Métodos. Quanto às datas de aplicação das chuvas simuladas ou realização dos testes de erosão, verifica-se que, exceto o último teste (Teste 6), o qual foi realizado transcorridas aproximadamente três semanas do teste de erosão nº 5 (Teste 5), foram realizados espaçados um do outro de seis a nove dias, conforme o planejado. No que diz respeito à intensidade das chuvas, observa-se que variou de $57,0 \text{ mm h}^{-1}$ no tratamento nº 1 do teste de erosão nº 6 (Teste 6) a $74,2 \text{ mm h}^{-1}$ no tratamento nº 4 do teste de erosão nº 2 (Teste 2), porém com a maioria dos valores se situando aproximadamente na faixa central destes dois extremos, não tão afastados da intensidade da chuva do projeto ou chuva planejada, de $64,0 \text{ mm h}^{-1}$. De qualquer forma, igualmente como se procedeu com a variação na declividade do solo nas parcelas experimentais, para fins de cálculo da perda total final (ajustada) de solo por erosão, e agora também da perda total final (ajustada) de água, os resultados observados de intensidade das chuvas foram corrigidos para a intensidade da chuva do projeto ou chuva planejada ($64,0 \text{ mm h}^{-1}$), conforme também mencionado na seção do Material e Métodos. Por oportuno, informa-se que as variações ocorridas tanto na intensidade das chuvas simuladas quanto na declividade do solo nas parcelas experimentais constituem fato comum e normal em pesquisas desta natureza. No que se refere à duração das chuvas, verifica-se que variou muito, bem mais

TABELA 13. Declividade do solo nas parcelas experimentais e datas de aplicação, duração e intensidade das chuvas simuladas utilizadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição)

Tratamento n ^o 1	Parcela experimental	Teste 1 - 25/10/2007		Teste 2 - 03/11/2007		Teste 3 - 09/11/2007		Teste 4 - 15/11/2007		Teste 5 - 23/11/2007		Teste 6 - 14/12/2007		
		solo não-mobilizado, crosta natural, 100% cs ²		solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% cs		solo não-mobilizado, crosta recente, 18% cs		solo recém-escarificado, 100% cs		solo previamente escarificado – em T4 -, 18% cs		solo recém-gradeado - após T5 -, 0% cs		
		n ^o /rep.	decliv.	duração	intensidade	duração	intensidade	duração	intensidade	duração	intensidade	duração	intensidade	duração
		m m ⁻¹	min	mm h ⁻¹	min	mm h ⁻¹	min	mm h ⁻¹	min	mm h ⁻¹	min	mm h ⁻¹	min	mm h ⁻¹
1	1/1	0,097	105	67,0	60	62,0	60	65,8	120	70,3	100	67,7	165	57,0
	2/1	0,098	105	67,0	60	62,0	60	65,8	120	70,3	100	67,7	165	57,0
2	3/1	0,111	150	63,7	60	59,1	60	66,7	140	73,6	120	59,1	180	58,0
	4/1	0,114	150	63,7	60	59,1	60	66,7	140	73,6	120	59,1	180	58,0
3	5/1	0,111	90	66,0	60	62,7	60	68,9	105	64,5	105	60,0	180	52,9
	6/1	0,123	90	66,0	60	62,7	60	68,9	105	64,5	105	60,0	180	52,9
4	7/1	0,123	90	62,0	60	74,2	60	70,6	105	64,9	90	63,3	150	58,4
	8/1	0,125	90	62,0	60	74,2	60	70,6	105	64,9	90	63,3	150	58,4
5	9/1	0,121	150	59,4	60	62,4	60	69,7	105	63,4	105	63,2	120	60,5
	10/1	0,118	150	59,4	60	62,4	60	69,7	105	63,4	105	63,2	120	60,5

¹Trat^o 1=1Av,3Av+Er/3Fm; Trat^o 2=4Av/1Fm,2Te; Trat^o 3=1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm; Trat^o 4=1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt; Trat^o 5=1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp (obs: o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas nas seqüências culturais referidas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco). ²cs=cobertura do solo por resíduo cultural.

do que o esperado, ressalta-se, tendo em vista que se havia planejado rodar o aparelho simulador de chuva até alcançar a condição de equilíbrio da enxurrada e, por algum tempo a mais (em princípio 20 minutos), mantido rodando.

Por si só, este fato já evidencia a influência na erosão hídrica tanto das seqüências culturais estudadas quanto dos testes de erosão com chuva simulada realizados. Usualmente, se estipula a duração da chuva em pesquisas deste tipo em uma a, no máximo, duas horas, dependendo da finalidade do estudo e geralmente porque se tem a expectativa de alcançar a condição de equilíbrio da enxurrada neste tempo de chuva, o que é muito importante em estudos de erosão hídrica pluvial do solo, diga-se de passagem. Nesta pesquisa, conforme os dados constantes na tabela 13, a duração da chuva variou de uma hora em todos os tratamentos de seqüência cultural nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) a três horas nos tratamentos nº 2 e nº 3 no teste de erosão nº 6 (Teste 6), com considerável variação também entre os tratamentos em cada teste de chuva (até uma hora de diferença nos testes de erosão nº 1 e nº 6 – Teste 1 e Teste 6). Fundamentalmente, isto se deveu a ambos, tratamentos de seqüência cultural e condições físicas instantâneas externas ou de superfície do solo criadas para cada teste de erosão, mas de forma marcante estas últimas, como será discutido melhor adiante.

4.3.1.2. Teor de água no solo antecedente à aplicação das chuvas simuladas usadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa

Os resultados desta variável são apresentados na tabela 14. Analisando os dados, verifica-se que, exceto a camada de solo de 10 a 20 cm nos testes de erosão nº 1 e nº 2 (Teste 1 e Teste 2), em que foi encontrada diferença estatisticamente significativa (sem nenhuma significância do ponto de vista de aplicação prática dos resultados, entretanto), não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural em todos os testes de erosão. Embora sem a análise estatística, verifica-se que a diferença no teor de água no solo entre as suas camadas avaliadas e entre os testes de erosão de modo geral também foi relativamente pequena, em todas

TABELA 14. Teor de água no solo em duas de suas camadas, antes da realização dos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos estudados (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5		Teste 6	
	s/rep ² , cr. nat ³ , 100% cs ⁴		s/rep, cr. romp ⁵ , 18% cs		s/rep, cr. rec ⁶ , 18% cs		escarificação, 100% cs		escarificação, 18% cs		escarif+gradag ⁷ , 0% cs	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm	0-10 cm
	kg kg ⁻¹											
1Av,3Av+Er/3Fm	0,124	0,136 ab	0,139	0,142 a	0,117	0,131	0,133	0,140	0,136	0,148	0,101	0,099
4Av/1Fm,2Te	0,139	0,132 a	0,151	0,148 ab	0,119	0,130	0,128	0,141	0,147	0,150	0,087	0,122
1Av,Tr, Nf, Az/1Fm,2Mi+Fm	0,115	0,138 ab	0,155	0,155 b	0,097	0,124	0,137	0,139	0,125	0,147	0,098	0,127
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	0,123	0,140 ab	0,145	0,149 ab	0,123	0,116	0,121	0,146	0,121	0,153	0,106	0,145
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	0,117	0,143 b	0,160	0,150 ab	0,087	0,132	0,137	0,144	0,129	0,153	0,115	0,151
Coeficiente de variação - CV, %	9,8	3,0	6,8	3,7	16,7	8,6	9,7	4,5	9,6	3,9	17,8	22,3

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²s/rep=sem preparo do solo. ³cr. nat=crosta natural. ⁴cs=cobertura do solo por resíduo cultural. ⁵cr. romp=crosta rompida. ⁶cr. rec=crosta recente. ⁷escarif+gradag=escarificação (antes de T4)+gradagem. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste de Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

as situações estudadas. Estes resultados estão dentro da faixa de normalidade para o tipo de experimento que foi conduzido, dispensando qualquer comentário adicional a respeito. Assim, pode-se dizer que o teor de água no solo antecedente à aplicação das chuvas simuladas usadas nos testes de erosão aplicados nos tratamentos da pesquisa não constituíram fonte ou causa de variação na mesma (uma influência direta dele seria na infiltração de água no solo e, decorrente dela, no tempo de início e na quantidade total de enxurrada).

4.3.1.3. Hidrogramas da enxurrada, sedimentogramas e gráficos da distribuição temporal das taxas de perda de solo

Em função do tipo de estudo realizado e dos resultados nele obtidos, julgou-se importante pormenorizar o processo de erosão hídrica pluvial do solo que se desenvolveu nos tratamentos da pesquisa. Assim, usando os valores de vazão ou taxa instantânea de descarga da enxurrada e os correspondentes valores de concentração de sedimento na mesma, ambos avaliados a cada três minutos durante a vigência do processo erosivo, calculou-se as taxas instantâneas de perda de solo por erosão, também a cada três minutos, conforme mencionado na seção do Material e Métodos. De posse destes resultados, construiu-se os hidrogramas de enxurrada, os sedimentogramas e as curvas de distribuição temporal das taxas de perda de solo por erosão, os quais são apresentados nas figuras 6, 7 e 8 para os primeiros, 9 e 10 para os segundos e 11 e 12 para as últimas, cada figura sendo constituída de várias partes ou sub-figuras, identificadas por letras, que vão de a a j, para cada tratamento de seqüência cultural estudado e para cada teste de erosão realizado. A idéia com a apresentação destas figuras é, ao mesmo tempo, visualizar no tempo o comportamento do processo com cada uma das variáveis referidas e verificar a variação nos resultados das repetições dos tratamentos (duas), como subsídios para, talvez, poder explicar melhor as diferenças nos resultados de erosão hídrica que serão apresentados e discutidos adiante. A análise do comportamento temporal dos processos envolvendo as variáveis em consideração (figuras 6 a 12) será feita separadamente, seguindo a ordem normal de obtenção dos seus valores, conforme será descrito a seguir.

Analisando os hidrogramas de enxurrada (Figuras 6, 7 e 8), verifica-se que se diferenciaram tanto em relação ao início de seu desenvolvimento ou proximidade do ponto de origem quanto à forma e magnitude, em todos os tratamentos e testes de erosão e em algumas repetições dos primeiros. Esta última ocorrência se deu em proporção relativamente pequena, entretanto, perfazendo não mais que 30% dos casos (do total de trinta testes de erosão com chuva simulada realizados na pesquisa), desta forma podendo-se dizer que as repetições dos tratamentos foram boas quanto aos resultados de taxas instantâneas de descarga da enxurrada.

Verifica-se também nas figuras 6, 7 e 8 que as maiores diferenças quanto ao início de desenvolvimento dos hidrogramas, bem como quanto à sua forma e magnitude, ocorreram entre os testes de erosão, independentemente dos tratamentos de seqüência cultural, bem mais do que entre estes em cada um deles. Isto pode ser explicado pelas diferenças nas condições físicas momentâneas externas ou de superfície do solo em cada teste de erosão, criadas de forma programada, bem maiores do que as diferenças nas suas condições físicas internas ou de subsuperfície, causadas ao natural pelos tratamentos de seqüência cultural, conforme visto na abordagem das variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais (item 4.2). Assim, destacaram-se em comportamento os hidrogramas de enxurrada associados ao teste de erosão nº 2 (Teste 2) como os que mais rapidamente se desenvolveram ou mais próximos do ponto origem ficaram, os mais estreitos e os mais altos e, inclusive, os únicos em que pode ser dito ter sido alcançada a condição de equilíbrio da enxurrada, e, exceto um caso isolado, os hidrogramas associados ao teste de erosão nº 6 (Teste 6) de modo contrário. Por oportuno, uma informação interessante que pode ser obtida dos resultados em discussão diz respeito ao coeficiente de enxurrada C , associado à mundialmente conhecida e utilizada Fórmula Racional de predição da vazão máxima de enxurrada (Schwab et al., 1981), entretanto, restrita ao teste de erosão nº 2 (Teste 2), que foi o único a oportunizar a enxurrada praticamente alcançar a sua condição de equilíbrio (Figura 6, letras f a j). Assim, ao se fazer a média dos valores de taxa de descarga da enxurrada neste teste de erosão e dividindo-se a mesma pela média dos valores de intensidade da chuva que a estava causando, encontrar-se-á que o valor do coeficiente de enxurrada C é igual a 0,70, significando que, no momento do pico da enxurrada, 70% da taxa de aplicação da chuva estão sendo perdidos na forma de enxurrada, para a

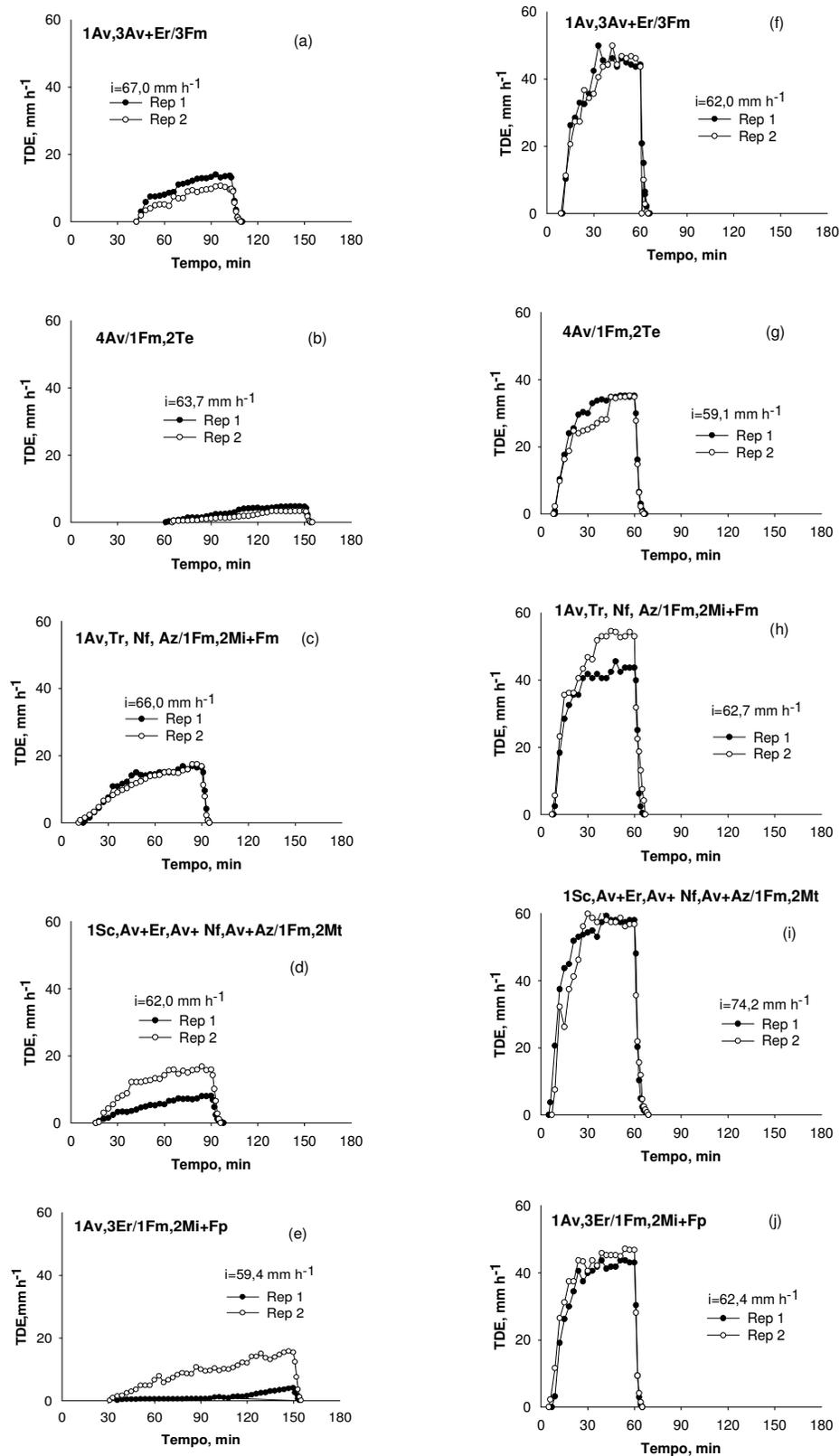


FIGURA 6. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no primeiro (T1=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% coberto - figuras a a e, à esquerda) e no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos).

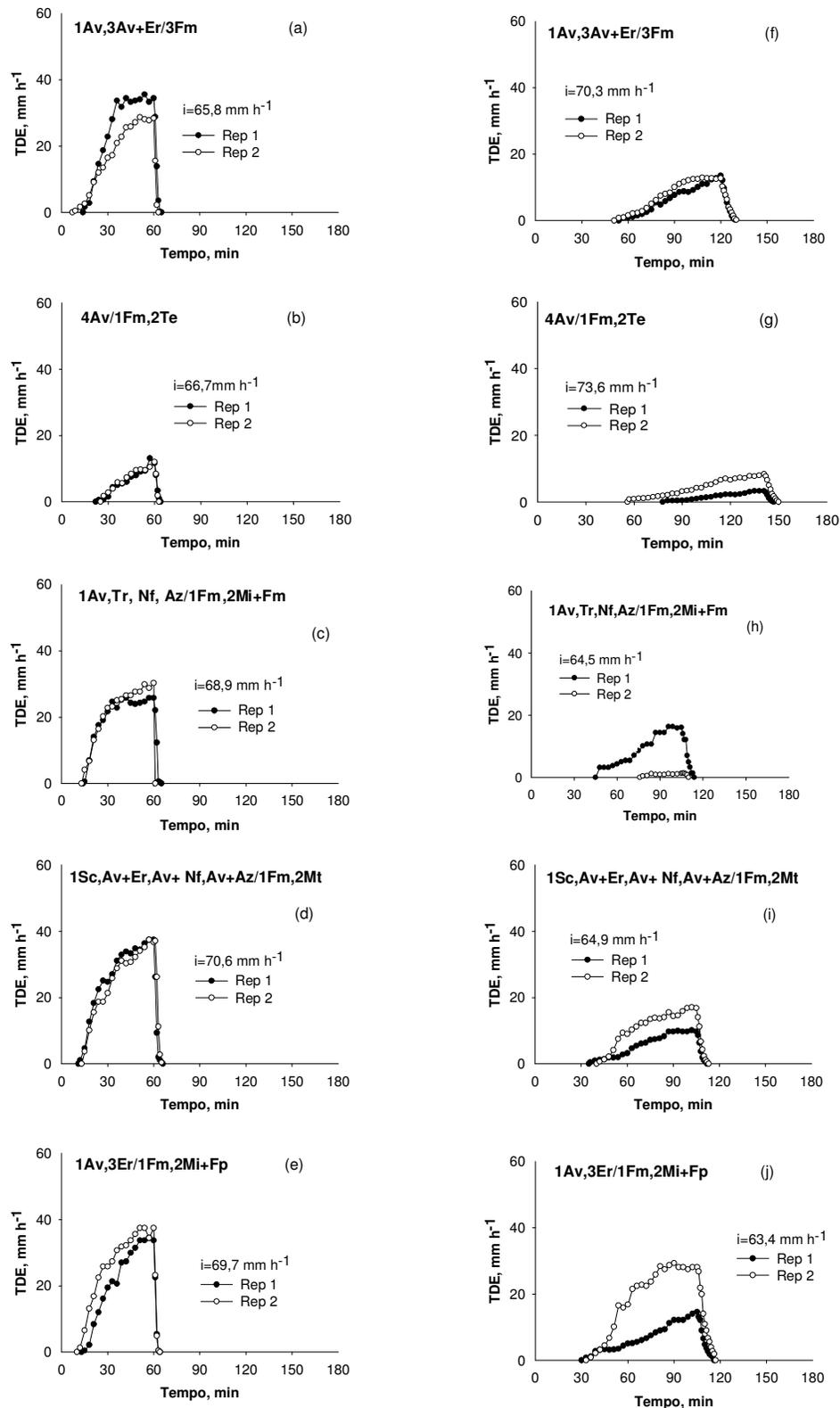


FIGURA 7. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto - figuras a a e, à esquerda) e no quarto (T4=solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% coberto - figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos).

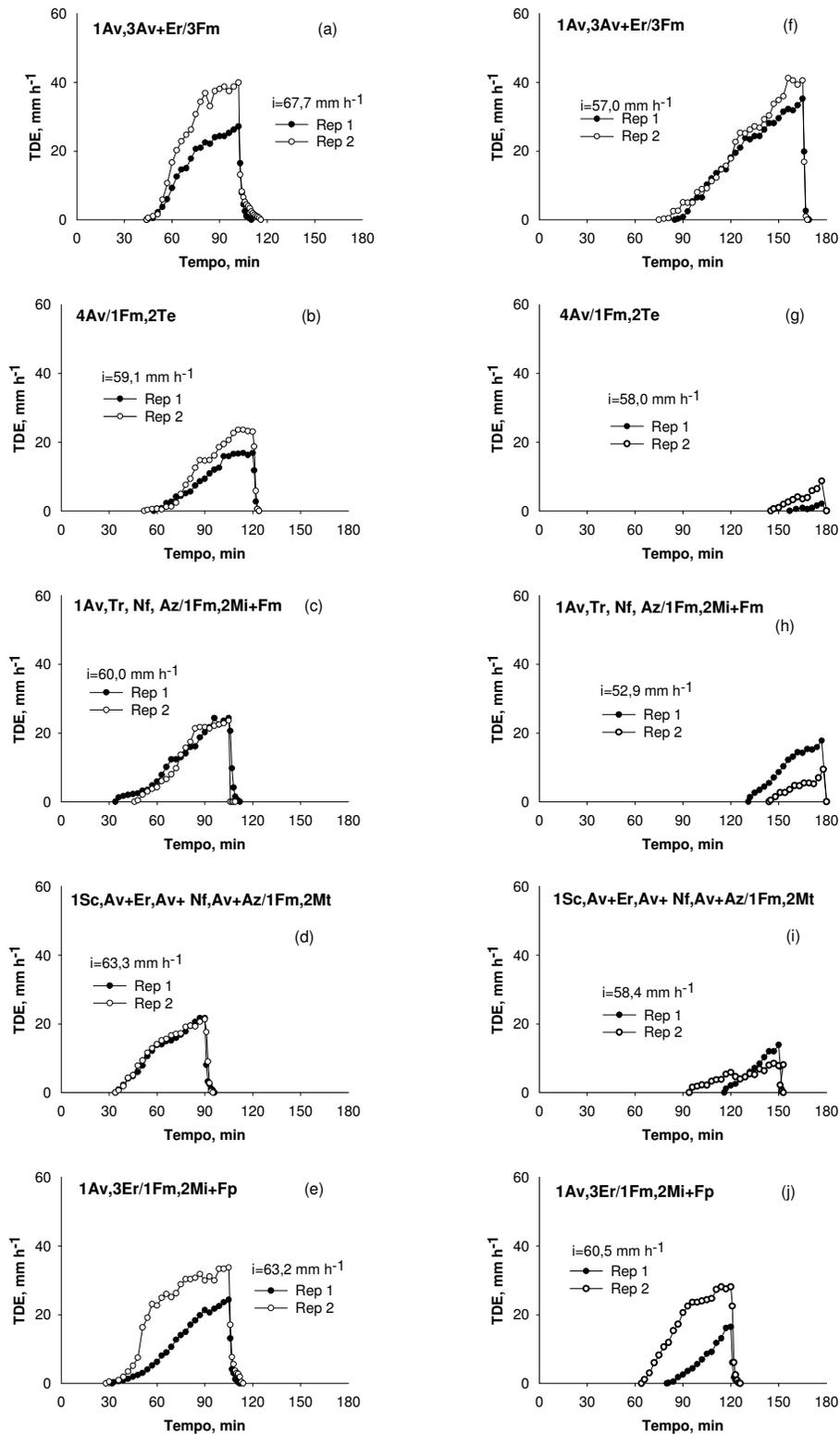


FIGURA 8. Taxas instantâneas de descarga da enxurrada (TDE) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição – Rep 1 e Rep 2 - dos tratamentos).

condição de solo do referido teste de erosão (não-mobilizado, com a superfície relativamente consolidada – crosta superficial rompida, entretanto - e com 18% de cobertura superficial por resíduos culturais). Comentários mais detalhados a respeito dos resultados apresentados serão feitos adiante, em item apropriado (análise das inter-relações dos resultados).

No que se refere aos sedimentogramas (Figuras 9 e 10), com apenas quatro testes de erosão a comparar (Testes 2, 3, 5 e 6), tendo em vista que em dois deles (Teste 1 e Teste 4) não houve erosão, devido suas integrais coberturas do solo por resíduos culturais, verifica-se que apresentaram comportamento similar ao apresentado pelos hidrogramas de enxurrada no que se refere ao início de seu desenvolvimento ou proximidade do ponto de origem, o que é normal, tendo em vista que, ao iniciar a enxurrada, ela imediatamente transporta para fora da área de ocorrência da erosão alguma quantidade das partículas desagregadas do solo (às vezes até todas elas). Entretanto, quanto à forma e magnitude e aos resultados das repetições dos tratamentos, verifica-se que os sedimentogramas variaram bem mais do que os hidrogramas de enxurrada, o que também é normal, tendo em vista que o processo de deposição das partículas erodidas do solo na área de ocorrência do fenômeno é bem mais afetado do que o processo de escoamento superficial, no que se refere tanto às condições físicas externas ou superficiais do solo quanto às irregularidades dentro das parcelas experimentais, estas últimas normais em estudos desta natureza. Verifica-se ainda nas figuras 9 e 10 que as diferenças na magnitude dos sedimentogramas foram maiores entre os testes de erosão nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6) do que entre os testes nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e, de modo geral, estes últimos sendo menores e mais parecidos entre si do que os primeiros, independentemente dos tratamentos de seqüência cultural. Merecem destaque em magnitude os sedimentogramas das figuras 9c e 9g e 9h, respectivamente associados aos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) como sendo os menores, e os das figuras 10a e 10f, respectivamente associados aos testes de erosão nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6) como tendo sido os maiores entre os desenvolvidos no estudo. Igualmente como se falou na análise dos hidrogramas de enxurrada, comentários mais detalhados a respeito dos resultados dos sedimentogramas serão feitos adiante, em item apropriado (análise das inter-relações dos resultados).

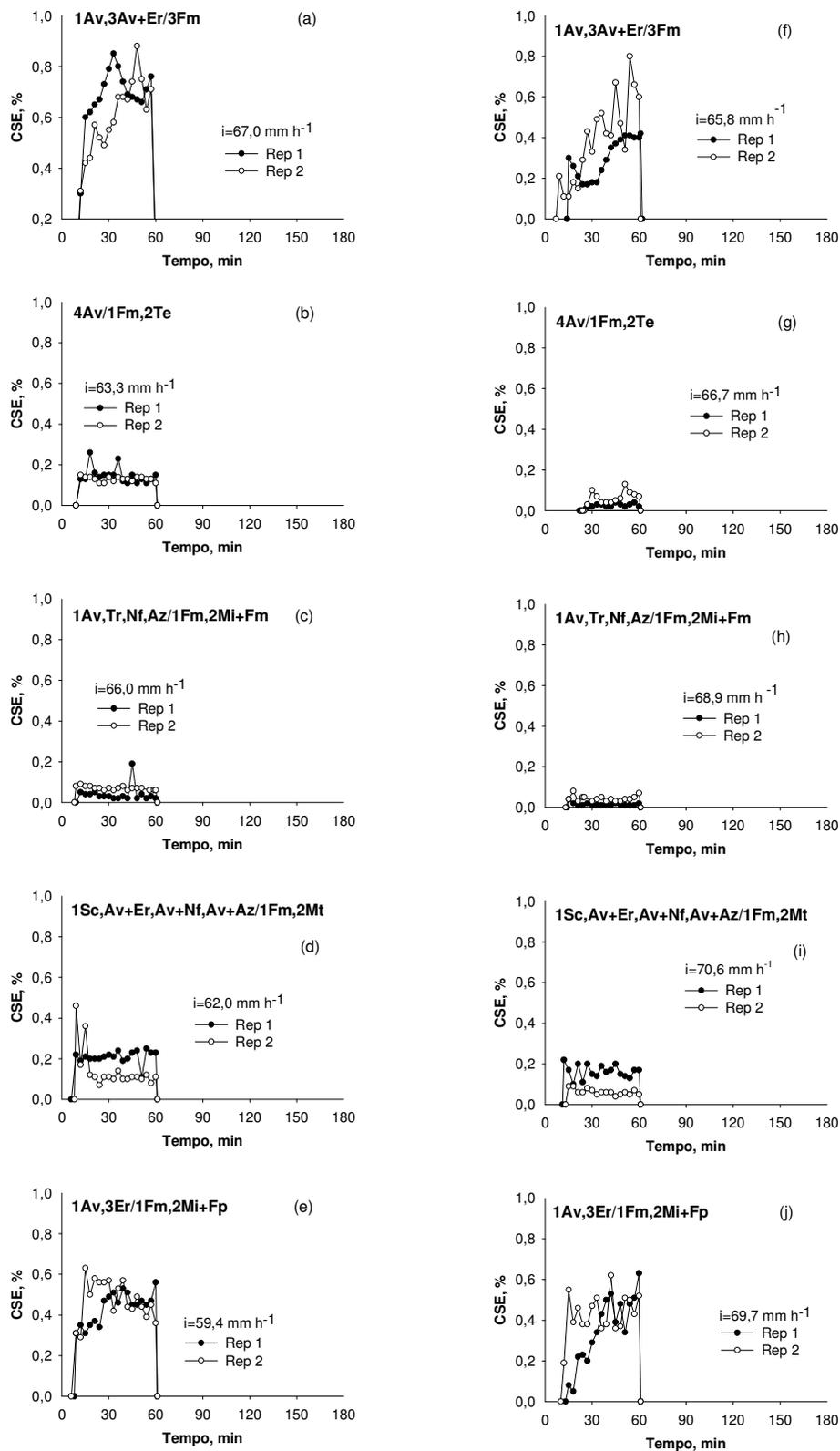


FIGURA 9. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos).

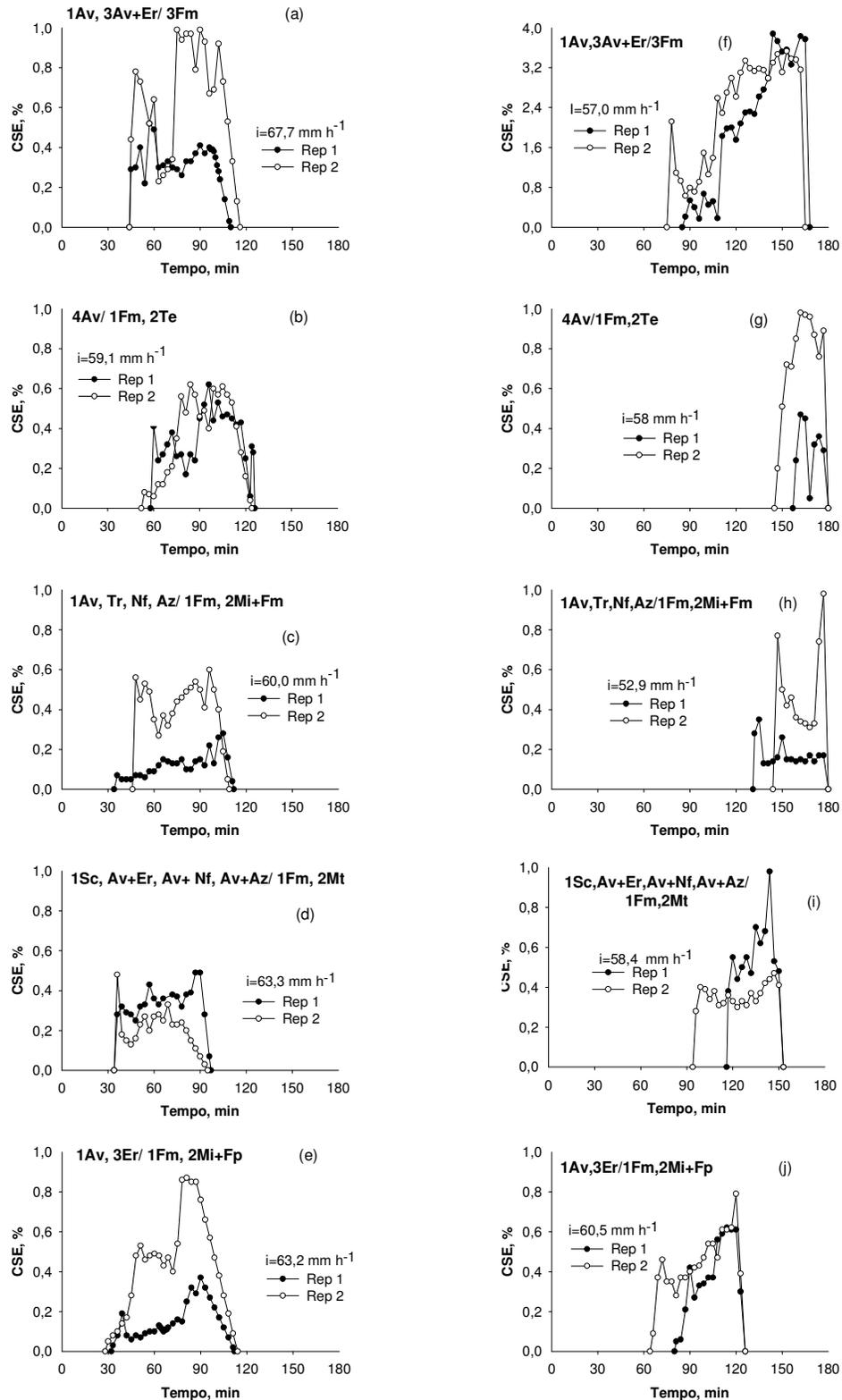


FIGURA 10. Concentrações instantâneas de sedimento na enxurrada (CSE) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos).

Quanto às curvas de distribuição temporal das taxas instantâneas de perda de solo por erosão, calculadas por meio da multiplicação das taxas instantâneas de descarga da enxurrada (Figuras 6, 7 e 8) pelas correspondentes concentrações instantâneas de sedimento na mesma (Figuras 9 e 10), são apresentadas nas figuras 11 e 12, respectivamente para os testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6). Analisando estas figuras, verifica-se que, de modo geral em todos os aspectos que se relacionam com o início de desenvolvimento das curvas ou sua proximidade do ponto de origem, bem como com as repetições dos tratamentos, apresentaram comportamento similar ao observado nos sedimentogramas no que se refere aos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e comportamento distinto no que se refere aos testes de erosão nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6), independentemente dos tratamentos de seqüência cultural, o que também está dentro da faixa de normalidade. Isto porque as taxas instantâneas de descarga da enxurrada (Figuras 6, 7 e 8) foram parecidas nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e diferentes nos testes de erosão nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6), porquanto as taxas instantâneas de perda de solo resultam da multiplicação das taxas instantâneas de descarga da enxurrada com as das correspondentes concentrações instantâneas de sedimento na mesma. Quanto aos destaques em magnitude, justamente pelas razões recém-expostas, foram os mesmos que se destacaram nos sedimentogramas, ou seja, as curvas das figuras 11c e 11g e 11h, respectivamente associadas aos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) como sendo as menores, e os das figuras 12a e 12f, respectivamente associados aos testes de erosão nº 5 e nº 6 (Teste 5 e Teste 6) como tendo sido as maiores. Igualmente como referido na análise dos hidrogramas de enxurrada e dos sedimentogramas, comentários mais detalhados a respeito dos resultados das taxas de perda de solo por erosão serão feitos adiante, em item apropriado (análise das inter-relações dos resultados).

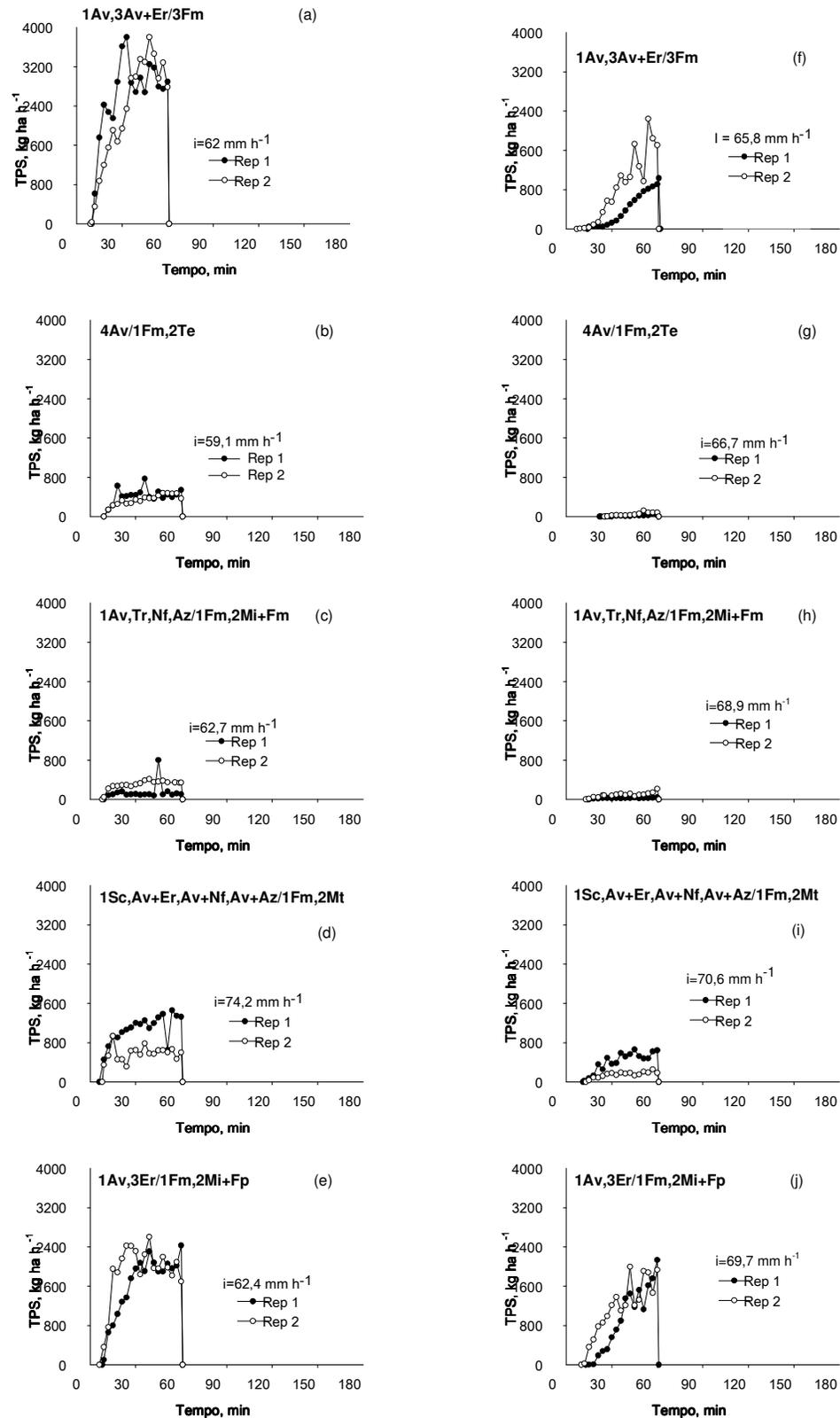


FIGURA 11. Taxas instantâneas de perda de solo (TPS) no segundo (T2=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no terceiro (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição – Rep 1 e Rep 2 - dos tratamentos).

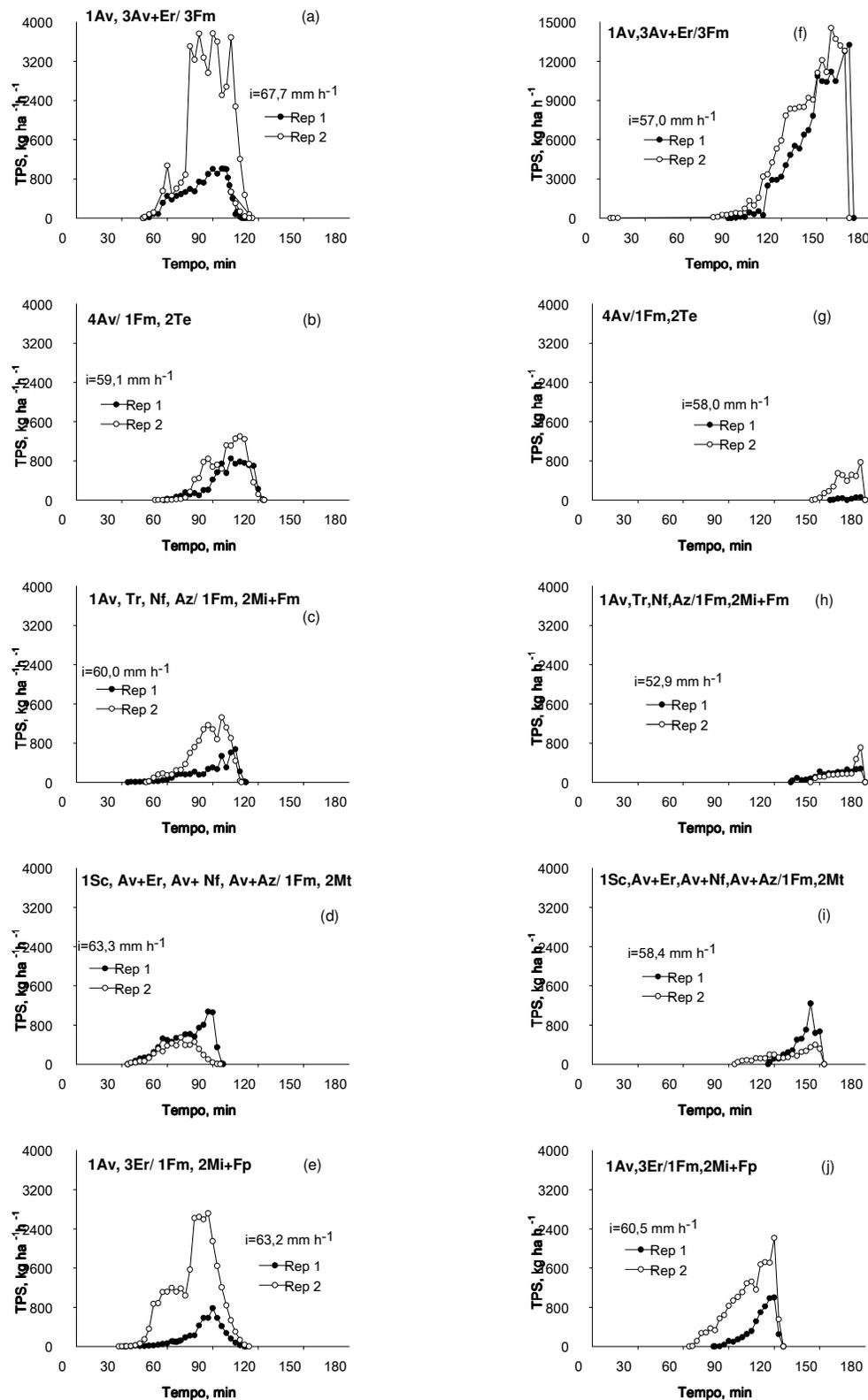


FIGURA 12. Taxas instantâneas de perda de solo (TPS) no quinto (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% coberto – figuras a a e, à esquerda) e no sexto (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% coberto – figuras f a j, à direita) teste de erosão com chuva simulada, nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco) (valores individuais para cada repetição - Rep 1 e Rep 2 – dos tratamentos).

4.3.1.4. Tempo de início da enxurrada e correspondente lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu

Para melhor mentalização e visualização, os resultados destas variáveis são apresentados duplamente, na tabela 15 (com os resultados da análise estatística) e na figura 13 (sem os resultados da análise estatística), neste último caso para fins de visualização conjunta, juntamente com os resultados de outras variáveis, as quais serão tratadas adiante. Analisando os dados da tabela 15, verifica-se que, exceto o tempo de início da enxurrada (Ti) no teste de erosão nº 4 (Teste 4), cujos resultados não diferiram estatisticamente entre si, houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural em todos os testes de erosão, tanto para o tempo de início de enxurrada (Ti) quanto para a lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu ou período pré-enxurrada (LAPE), entretanto sem regularidade ou constância quanto à ordem de suas ocorrências, ora se sobressaindo um dado tratamento em dado teste de erosão como o melhor ou o pior e ora outro em outro teste. De qualquer forma, observa-se que, na maior parte das situações criadas na pesquisa (Tabela 15), destacou-se a segunda seqüência cultural da lista, com teosinto entre suas espécies, como a que apresentou os maiores valores das variáveis em consideração, enquanto que os menores valores estiveram associados ao teste de erosão nº 2 (Teste 2) na penúltima e última seqüências culturais (respectivamente 6 min e 7,4 mm e 6 min e 6,2 mm para o tempo de início da enxurrada - Ti - e para a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada -LAPE) e os maiores ao teste de erosão nº 6 (Teste 6) na segunda (com teosinto) e terceira (com milho+feijão miúdo) seqüências culturais (respectivamente 151 min e 146 mm e 137 min e 121,2 mm para Ti e para LAPE). Oportuno ressaltar que, quanto maior for o tempo de início da enxurrada, tanto maior será a quantidade de água da chuva que ficará retida no sistema para posterior cessão às plantas, e, neste aspecto, de modo geral somente as seqüências culturais associadas aos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) não mostraram resultados satisfatórios (altura de lâmina de água de 7 a 15 mm, na maior parte dos casos), de onde se deduz a importância de se mobilizar um pouco e/ou cobrir bem o solo com resíduos

TABELA 15. Tempo de início da enxurrada (Ti) e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu (LAPE), nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5		Teste 6	
	solo não-mobilizado, crosta natural, 100% cs ²		solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% cs		solo não-mobilizado, crosta recente, 18% cs		solo recém-escarificado, 100% cs		solo previamente escarificado - em T4 -, 18% cs		solo recém-gradeado - após T5 -, 0% cs	
	Ti min	LAPE mm	Ti min	LAPE mm	Ti min	LAPE mm	Ti min	LAPE mm	Ti min	LAPE mm	Ti min	LAPE mm
1Av,3Av+Er/3Fm	41 b	45,8 c	10 b	9,8 b	11 a	11,5 a	53	61,5 ab	44 ab	49,6 bc	80 a	76,0 a
4Av/1Fm,2Te	63 c	66,9 d	9 ab	8,4 ab	24 b	26,1 b	67	82,8 b	55 b	54,2 c	151 c	146,0 c
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	13 a	13,8 a	8 ab	7,8 ab	14 a	15,5 a	61	65,1 ab	40 a	40,0 abc	137 bc	121,2 bc
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	16 a	16,5 a	6 a	7,4 ab	12 a	14,1 a	38	40,6 ab	34 a	35,9 ab	105 ab	102,2 ab
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	34 b	33,7 b	6 a	6,2 a	12 a	13,4 a	32	33,3 a	31 a	31,6 a	72 a	72,6 a
Coeficiente de variação – CV, %	58,2	58,9	21,1	17,5	37,8	36,5	33,8	37,6	23,6	22,4	30,8	29,1

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²cs=cobertura solo por resíduo cultural. Valores nas colunas seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si e ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste deTukey no nível de probabilidade p<0,1

culturais para o propósito de reter água da chuva na lavoura. Os resultados apresentados basicamente são explicados pela não-mobilização e pelas baixas rugosidade (também porosidade total da camada preparada do solo) e cobertura superficiais do solo nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e pela mobilização e relativamente alta rugosidade superficial do solo (também alta porosidade total da sua camada preparada) no teste de erosão nº (Teste 6), embora estando ele totalmente desprovido de cobertura por resíduos culturais.

Estas ocorrências afetaram a quantidade de água infiltrada no solo e, conseqüentemente, o tempo de início da enxurrada e sua correspondente lâmina de água da chuva retida no sistema. Resumindo, fundamentalmente estiveram em jogo nas ocorrências acima a relativamente alta consolidação e baixa rugosidade da superfície do solo nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3), dificultando a retenção e infiltração superficiais de água, e a solta ou aberta e relativamente alta rugosidade da superfície do solo nos teste de erosão nº 6 (Teste 6), favorecendo a infiltração e retenção superficiais de água. Do ponto de vista de aplicação prática dos resultados, exceto os testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3), mas principalmente o primeiro, observa-se na tabela 15 que todos os valores de lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) têm muito significado, tendo em vista que, em períodos de estiagem, uma altura de lâmina de água da chuva de 12 a 15 mm, se infiltrada no solo, pode fazer a diferença, e, neste particular, os valores referidos foram muito superiores.

4.3.1.5. Valores máximos médios (constantes, com tendência a constantes e não-constantes) de taxa de descarga d¹³⁴a enxurrada, concentração de sedimento na enxurrada e taxa de perda de solo

Para facilitar a mentalização e visualização e, quem sabe, para algum propósito que realmente possa ser útil, os valores máximos médios observados (constantes, com tendência a constantes e não-constantes) de taxa de descarga da enxurrada (TDE), concentração de sedimento na enxurrada (CSE) e taxa de perda de solo (TPS), igualmente como se fez com as duas variáveis anteriores (Ti e LAPE), são apresentados duplamente, na tabela 16 e na figura 13 (ambas desacompanhadas dos resultados da análise estatística, em função da falta de

TABELA 16. Valores máximos médios (constantes no Teste 2 e tendendo a constantes e não-constantes nos Testes 1, 3, 4, 5 e 6) de taxa de descarga da enxurrada (TDE), concentração de sedimento na enxurrada (CSE) e taxa de perda de solo (TPS), nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento)

Tratamento n ^o 1	Teste 1		Teste 2			Teste 3			Teste 4			Teste 5			Teste 6		
	solo não-mobilizado, crosta natural, 100% cs ²		solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% cs			solo não-mobilizado, crosta recente, 18% cs			solo recém-escarificado, 100% cs			solo previamente escarificado - em T4 -, 18% cs			solo recém-gradageado - após T5 -, 0% cs		
	TDE	CSE	TDE	TPS	CSE	TDE	TPS	TDE	CSE	TDE	TPS	CSE	TDE	TPS			
	mm h ⁻¹	%	mm h ⁻¹	kg ha ⁻¹ h ⁻¹	%	mm h ⁻¹	kg ha ⁻¹ h ⁻¹	mm h ⁻¹	%	mm h ⁻¹	kg ha ⁻¹ h ⁻¹	%	mm h ⁻¹	kg ha ⁻¹ h ⁻¹			
1	11,8	0,75	43,5	3.000	0,45	31,0	1.200	12,9	0,45	32,4	1.700	3,40	35,9	12.000			
2	4,1	0,15	34,9	400	0,06	11,9	30	5,8	0,50	18,0	900	0,55	5,5	350			
3	16,8	0,05	48,3	300	0,03	27,9	40	8,7	0,32	23,8	700	0,27	12,0	200			
4	12,0	0,15	57,3	800	0,10	37,2	350	13,4	0,28	18,3	600	0,43	11,0	350			
5	9,7	0,45	44,7	2.100	0,42	34,7	1.500	21,3	0,40	23,0	1.100	0,50	22,1	1.350			

¹Trat^o 1=1Av,3Av+Er/3Fm; Trat^o 2=4Av/1Fm,2Te; Trat^o 3=1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm; Trat^o 4=1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt; Trat^o 5=1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp (obs: o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas nestas seqüências culturais indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco). ²cs=cobertura do solo por resíduo cultural. Obs. 1: não houve perda de solo nos testes de erosão T1 e T4, razão pela qual não existem sob os mesmos as colunas de CSE e TPS. Obs. 2: não foi efetuada a análise estatística dos dados desta tabela devido à variação ocorrida tanto na duração e intensidade das chuvas simuladas aplicadas quanto na declividade do solo nas parcelas experimentais, bem como devido ao não-alcance da condição de equilíbrio da enxurrada na grande maioria dos casos.

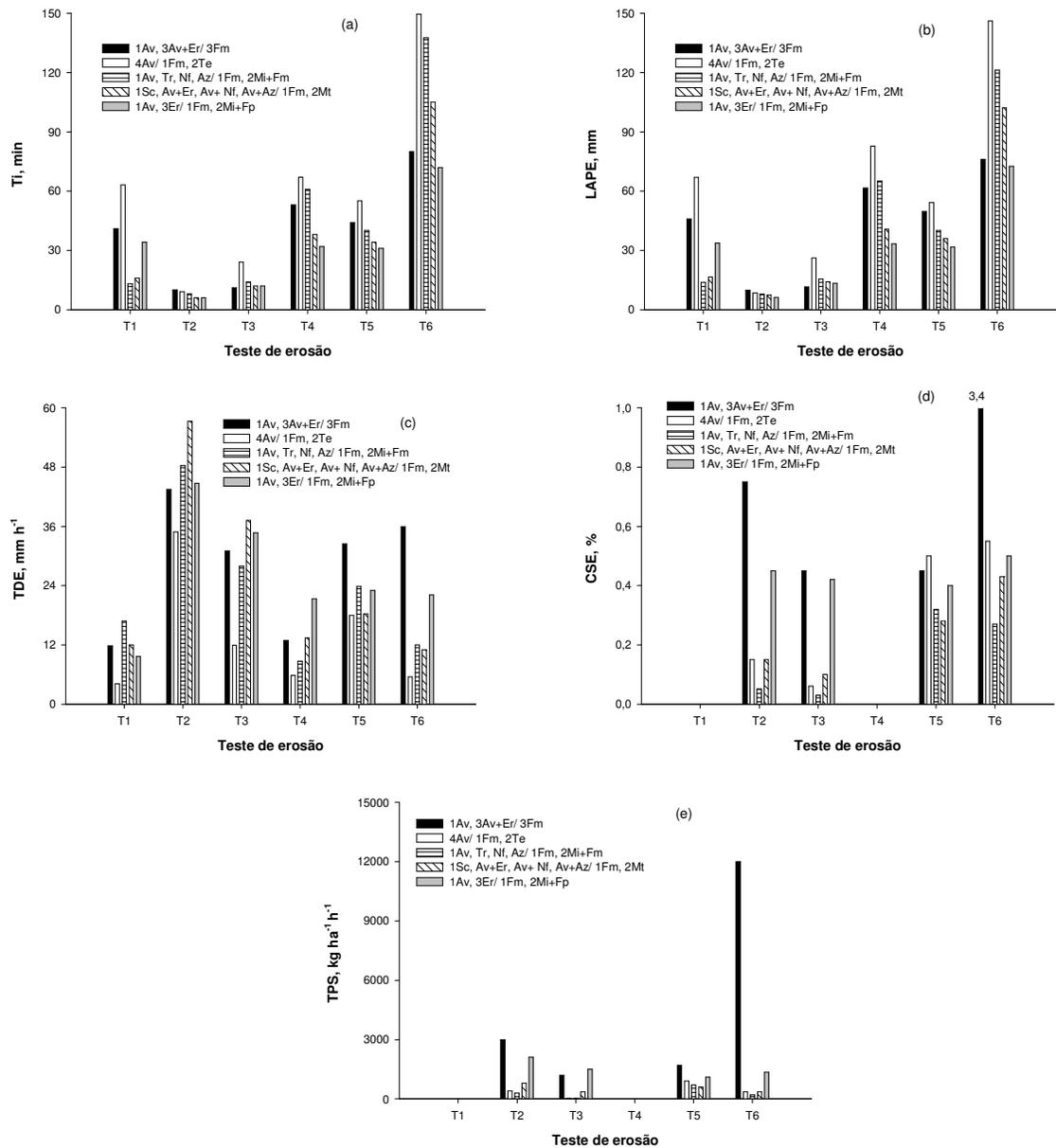


FIGURA 13. Apresentação gráfica dos tempos de início da enxurrada (T_i), das lâminas de água retidas no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) e dos valores máximos médios observados de taxas de descarga da enxurrada (TDE), concentrações de sedimento na enxurrada (CSE) e taxas de perda de solo (TPS) nos testes de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, crosta natural, 100% coberto; T2=solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% coberto; T3=solo não-mobilizado, crosta recente, 18% coberto; T4=solo recém-escarificado, 100% coberto; T5=solo previamente escarificado – em T4 -, 18% coberto, T6=solo recém-gradeado – após T5 -, descoberto), nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento).

uniformidade de condições para fazê-la), neste último caso, para fins de visualização conjunta, junto com os resultados das variáveis que foram tratadas no sub-item anterior (Ti e LAPE), conforme referido naquele momento. Os valores das variáveis em consideração foram obtidos das suas curvas de distribuição temporal apresentadas e discutidas anteriormente (sub-item 4.3.1.3 e figuras 6 a 12). Frisa-se que os referidos valores, na sua quase totalidade, não contemplam situações de equilíbrio ou constância da enxurrada (esta condição pode ser considerada como tendo sido alcançada somente no teste de erosão nº 2 – Teste 2), portanto existindo na tabela 16 valores constantes, com tendência a constantes e não-constantes, conforme pode ser constatado por meio da análise cuidadosa das curvas de distribuição temporal apresentadas nas figuras 6 a 12. Informa-se que velocidade média da enxurrada medida próximo ao final das chuvas nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3), os únicos em que foi possível medi-la, tendo em vista o solo se encontrar não-mobilizado e com apenas 18% de cobertura por resíduo cultural, foi de $0,11 \text{ m s}^{-1}$.

4.3.1.6. Valores do índice (D_{50}) da distribuição de tamanho das partículas erodidas em transporte na enxurrada

Os resultados desta variável são apresentados na tabela 17, avaliados próximo ao final das chuvas, com a expectativa de que a enxurrada tivesse alcançado sua condição de equilíbrio nesse tempo, o que, na quase totalidade dos casos, não aconteceu, como visto na análise dos hidrogramas de enxurrada (sub-item 4.3.1.3 e Figuras 6 a 8) e na discussão do sub-item anterior. Analisando os dados da tabela 17, de modo geral verifica-se que, exceto a primeira e última seqüências culturais da lista, as quais apresentaram valores relativamente altos do índice D_{50} praticamente em todos os testes de erosão (outra vez somente quatro deles sendo comparados, tendo em vista não ter havido erosão nos Testes 1 e 4, como referido anteriormente), as demais apresentaram valores baixos ($<0,037 \text{ mm}$), significando que no processo de transporte de solo pela enxurrada predominaram partículas finas. Os relativamente altos valores do índice D_{50} na primeira e na última seqüência cultural da lista significa que o solo sob as mesmas foi mais facilmente desagregado e transportado pelas ações da chuva e da enxurrada do que sob as outras situações, não se tendo uma explicação para isto, entretanto.

TABELA 17. Valores do índice (D_{50}) da distribuição de tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada, avaliados próximo ao final das chuvas, estando ou não a enxurrada na sua condição de equilíbrio, nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição e valores médios)

Seqüência cultural ¹	Par/Rep (nº/nº)	Teste 2	Teste 3	Teste 5	Teste 6
		Solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% cs ²	Solo não-mobilizado, crosta recente, 18% cs	Solo previamente escarificado – em T4 -, 18% cs	Solo recém-gradeado - após T5 -, 0% cs
		----- mm -----			
1Av,3Av+Er/3Fm	1/1	0,243	0,256	0,106	0,297
	2/2	0,190	0,372	0,172	0,371
	Ÿ	0,217	0,314	0,139	0,334
4Av/1Fm,2Te	3/1	<0,037	<0,037	<0,037	<0,037
	4/2	0,411	<0,037	<0,037	0,125
	Ÿ	-----	<0,037	<0,037	-----
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	5/1	0,153	<0,037	<0,037	<0,037
	6/2	0,046	0,350	0,143	<0,037
	Ÿ	0,099	-----	-----	<0,037
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	7/1	<0,037	0,092	0,224	0,272
	8/2	<0,037	<0,037	<0,037	<0,037
	Ÿ	<0,037	-----	-----	-----
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	9/1	0,276	0,331	0,340	<0,037
	10/2	0,110	0,248	0,153	<0,037
	Ÿ	0,193	0,289	0,246	<0,037

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²cs=cobertura do solo por residuo cultural. Obs. 1: não houve perda de solo nos Testes 1 e 4, razão pela qual foram omitidos nesta tabela. Obs. 2: não foi efetuada a análise estatística dos dados desta tabela devido à variação ocorrida tanto na duração e intensidade das chuvas simuladas aplicadas quanto na declividade do solo nas parcelas experimentais, bem como devido à falta e/ou à definição precisa de valores da variável em consideração em boa parte dos casos.

4.3.1.7. Perdas totais observadas de água e solo

Também com vistas à melhor mentalização e visualização, os resultados observados de perda de água e solo, para cada situação em particular criada na pesquisa, bem como para o seu conjunto, são apresentados duplamente, na tabela 18 e nas figuras 14, 15 e 16 (ambas sem os resultados da análise estatística - ver nota de rodapé da tabela 18), no último caso para fins de visualização conjunta, juntamente com os resultados ajustados de perda total de água e solo, os quais serão tratados no próximo sub-item. Os resultados de perdas totais observadas de água e solo constantes na tabela e nas figuras referidas acima, apesar de serem os reais, obtidos no campo, sob as condições em que verdadeiramente se desenvolveu o processo erosivo do solo pela água da chuva e da enxurrada a ela associada, em cada tratamento de seqüência cultural estudado e em cada teste de erosão com chuva simulada realizado, devem ser interpretados com cautela e com a devida procedência. Isto porque a principal condição delimitada no estudo - mesma energia da chuva para realizar trabalho erosivo no solo - por circunstâncias não pôde ser observada. Isto se deveu à variação ocorrida tanto na intensidade das chuvas simuladas aplicadas, em função da imprecisão dos equipamentos utilizados na captação, condução e descarga de água (conjunto de moto-bomba e aparelho simulador de chuva e seus respectivos acessórios), porém normal e relativamente pequena (Tabela 13), não tendo sido ela, pois, a principal fonte ou causa de variação no experimento, quanto na sua duração, esta, sim, com grande variação e fundamentalmente causada pelos tratamentos de seqüência de culturas (ação incerta mas esperada) e pelos testes de erosão com chuva simulada (ação certa e programada) empregados na pesquisa, especialmente estes últimos, o que pode ser verificado examinando os resultados da tabela 13. Assim, se por um lado os resultados da tabela 18 e das figuras 14, 15 e 16 (estas últimas com os dados reais ou observados de perda de água e solo, eis que nelas também são apresentados os resultados ajustados destas variáveis) não podem ser diretamente comparados (por esta razão também não foram estatisticamente analisados), porque a energia da chuva para realizar trabalho erosivo no solo e, conseqüentemente, a vigência do processo não foram as mesmas em todos os

tratamentos e em todos os testes de erosão, em função da variação na intensidade e na duração das chuvas em cada um deles, por outro lado nada mais e nada menos representam a mais pura realidade acontecida, ou seja, a energia da chuva para realizar trabalho erosivo no solo e a conseqüente vigência do processo variaram com a duração das chuvas porque, forçosamente, ela esteve na dependência das situações criadas na pesquisa, as quais comportaram-se de modo distinto quanto a alcançarem a condição de equilíbrio da enxurrada, o que era pretendido no estudo e, como referido, não pôde ser concretizado (exceto o teste de erosão nº 2 – Teste 2). Assim, de fato a grande variação ocorrida na duração das chuvas aplicadas na pesquisa, em relação à duração que, em princípio, se tinha em mente usar (1,5 horas a, no máximo, 2 horas), teve como causa principal a ação diferenciada das situações criadas na mesma, mas de forma marcante os testes de erosão, por meio das distintas condições físicas momentâneas externas ou de superfície do solo criadas em cada um deles, de forma programada, e de antemão sabidas resultarem em variação nos resultados. Desta forma, os resultados apresentados na tabela 18 não podem ser interpretados sem antes levar em consideração os aspectos que foram comentados e, de modo muito especial, sem retornar aos resultados da tabela 13, onde são apresentados os valores reais de intensidade e duração das chuvas simuladas aplicadas, em cada seqüência cultural e em cada teste de erosão.

Em função do exposto, verifica-se na tabela 18 a grande variação nos resultados de perda total de água (expressa em relação à quantidade total de chuva aplicada em cada teste de erosão) e perda total de solo (extrapolada da quantidade de massa da parcela experimental – 38,5 m² de área – para a quantidade de massa por hectare), com alguma variação também entre algumas repetições dos tratamentos (a mesma vista por ocasião da análise dos hidrogramas de enxurrada, tratada no sub-item 4.3.1.3), tanto entre as seqüências culturais em cada teste de erosão, quanto entre os testes de erosão em cada seqüência cultural, mas de forma marcante esta última comparação, o que é normal e era o esperado, em função das diferentes condições físicas momentâneas externas ou de superfície do solo criadas em cada teste de erosão (ação programada).

TABELA 18. Perdas totais observadas de água e solo nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores individuais para cada repetição e valores médios)

Seqüência cultural ¹	Par/ Rep	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5		Teste 6		Total das seqüências culturais (somatório dos testes de chuva)	
		s/prep., crosta natural, 100% cs ²		s/prep., crosta rompida, 18% cs		s/prep., crosta recente, 18% cs		escarificação, 100% cs		escarificação - em T4 -, 18% cs		gradagem – após T5-, 0% cs		PTA	PTS
		PTA ³	PTS ⁴	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS		
		% ch ⁵	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹	% ch	kg ha ⁻¹
1Av,3Av+Er/3Fm	1/1	8,8	0	53,9	2.323	30,8	809	5,6	0	15,0	549	15,9	7.164	17,4	10.845
	2/2	6,3	0	53,4	2.090	24,0	631	6,9	0	26,0	2.119	18,5	8.739	19,0	13.579
	ÿ	7,5	0	53,7	2.207	27,4	720	6,3	0	20,5	1.334	17,2	7.952	18,2	12.212
4Av/1Fm,2Te	3/1	2,9	0	45,2	364	6,3	14	0,8	0	8,2	425	0,2	13	6,3	816
	4/2	1,7	0	40,5	332	6,3	30	3,8	0	10,3	607	1,6	233	7,0	1.202
	ÿ	2,3	0	42,9	348	6,3	22	2,3	0	9,3	516	0,9	123	6,6	1.009
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	5/1	16,0	0	54,3	95	24,1	21	7,8	0	14,2	253	5,9	145	16,8	514
	6/2	15,1	0	67,3	319	26,1	104	0,5	0	12,9	626	1,7	167	15,1	1.216
	ÿ	15,5	0	60,8	207	25,1	63	4,1	0	13,5	440	3,8	156	15,9	865
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	7/1	7,0	0	66,6	1.049	32,5	367	6,2	0	13,4	470	2,8	257	17,3	2.143
	8/2	16,3	0	63,3	480	30,7	127	11,2	0	11,2	238	3,1	167	18,8	1.012
	ÿ	11,6	0	65,0	765	31,6	247	8,7	0	12,3	354	3,0	212	18,1	1.577
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	9/1	2,4	0	53,3	1.532	25,1	767	8,6	0	10,8	329	4,5	267	12,8	2.895
	10/2	12,4	0	59,1	1.806	32,5	944	22,5	0	21,7	1.463	14,9	897	23,3	5.110
	ÿ	7,4	0	56,2	1.669	28,8	856	15,6	0	16,2	896	9,7	582	18,0	4.003
Média dos testes de chuva (sobre as seqüências culturais)	—	7,9	0	56,2	1.039	24,0	382	7,1	0	14,4	708	6,7	1.805	—	—

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto, Fp=feijão de porco. ²cs=cobertura do solo por resíduo cultural. ³PTA=perda total de água. ⁴PTS=perda total de solo. ⁵ch=chuva. Não foi efetuada a análise estatística dos dados desta tabela devido à variação tanto na duração e intensidade das chuvas simuladas aplicadas quanto na declividade do solo nas parcelas experimentais (Tabela 11).

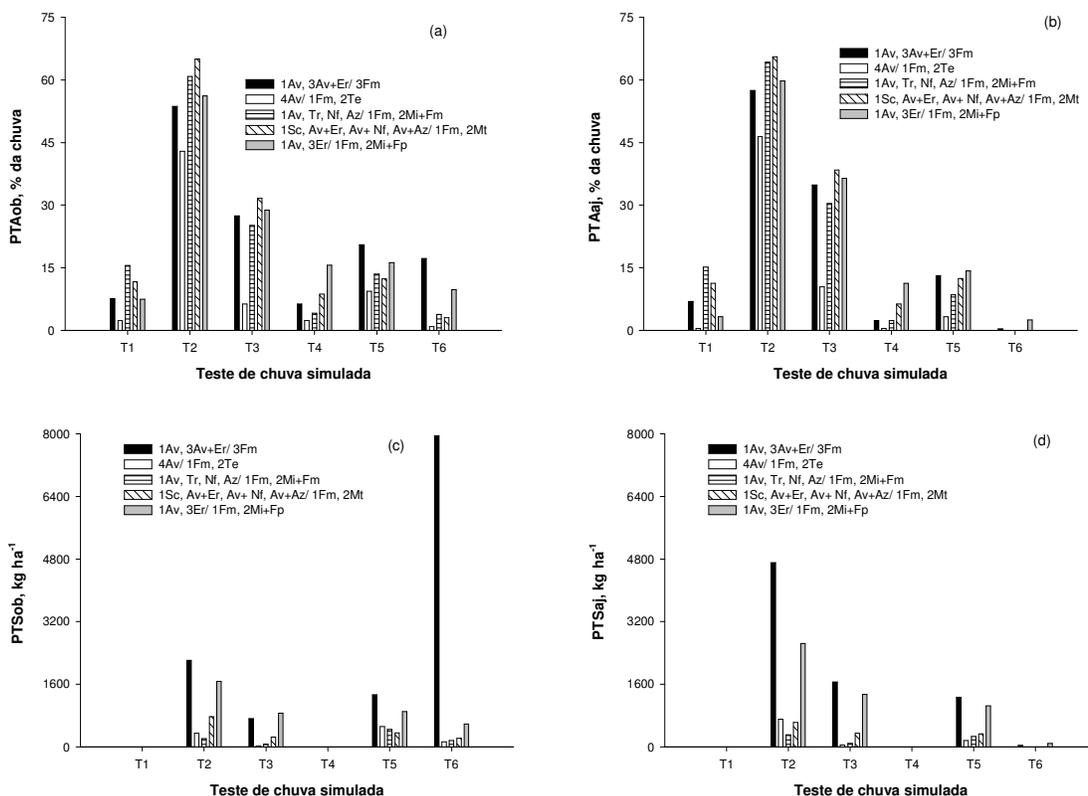


FIGURA 14. Apresentação gráfica das perdas totais observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nos testes de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, crosta natural, 100% coberto; T2=solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% coberto; T3=solo não-mobilizado, crosta recente 18% coberto; T4=solo recém-escarificado, 100% coberto; T5=solo previamente escarificado – em T4 -, 18% coberto; T6=solo recém-gradeado – após T5 -, 0% coberto), nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca; Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento).

O que pode ser comparado praticamente sem incorrer em margem de erro na tabela 18, entretanto, são os resultados de perda total de água, tendo em vista que foram expressos em termos relativos (percentuais), usando-se como base de cálculo a quantidade total de chuva aplicada em cada situação em particular. Assim, vê-se na tabela 18 que as maiores perdas de água da chuva na forma de enxurrada estiveram associadas aos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3), mas principalmente o primeiro, ambos com o solo não-mobilizado, portanto com muito baixa rugosidade superficial e sem qualquer

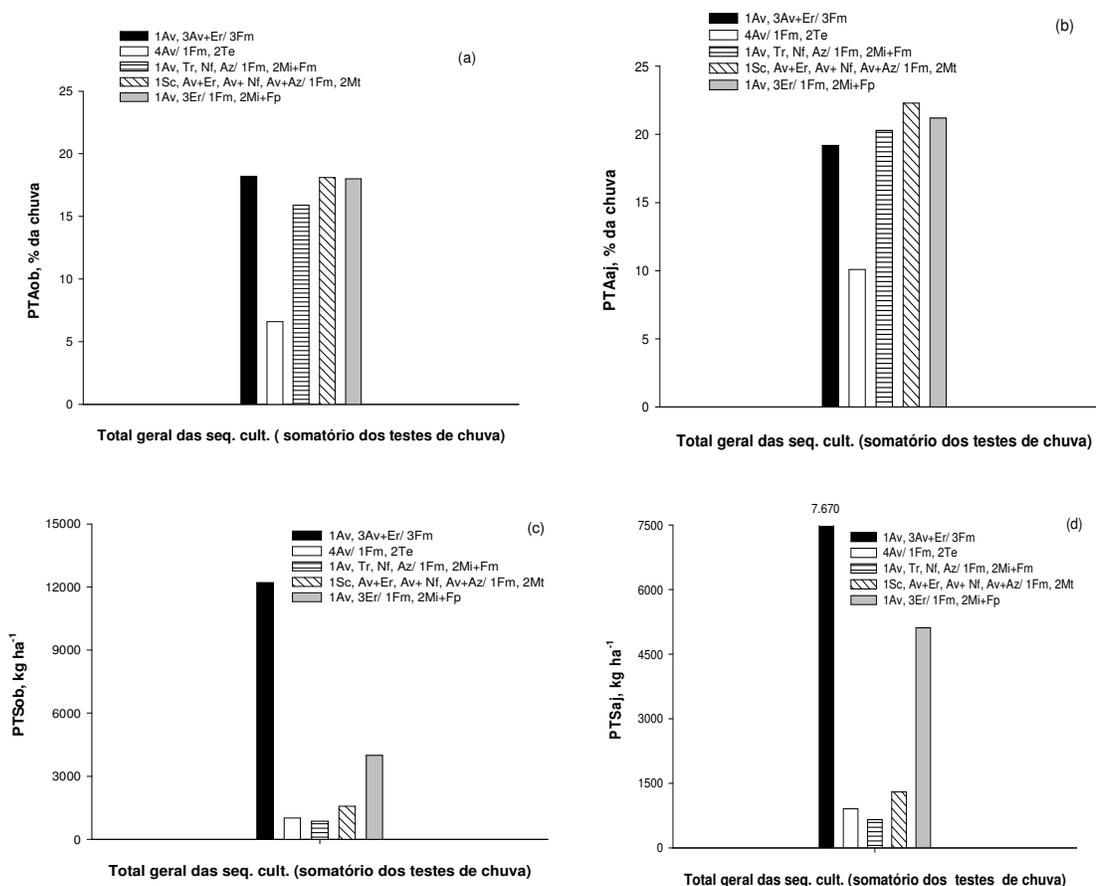


FIGURA 15. Apresentação gráfica das perdas totais gerais (no somatório dos testes de chuva) observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nas seqüências culturais estudadas (Av=aveia preta; Er=ervilhaca; Fm=feijão miúdo; Te=teosinto; Tr=trevo calypso; Nf=nabo forrageiro; Az=azevém; Mi=milho; Sc=sem cultivo; Mt=milheto; Fp=feijão de porco) (valores médios de duas repetições por tratamento).

adição de porosidade que resultaria caso ele viesse a ser preparado (porosidade total da camada preparada do solo, já definida), e também com relativamente muito pouca cobertura por resíduos culturais (18%), enquanto que as menores perdas estiveram associadas aos testes de erosão n^o 4 e n^o 6 (Teste 4 e Teste 6), ambos com o solo recém-mobilizado, porém o primeiro com escarificador e com cobertura integral do solo por resíduos culturais (100%) e o segundo com grade, em cima da escarificação efetuada para a realização do Teste 4, e totalmente desprovido de cobertura.

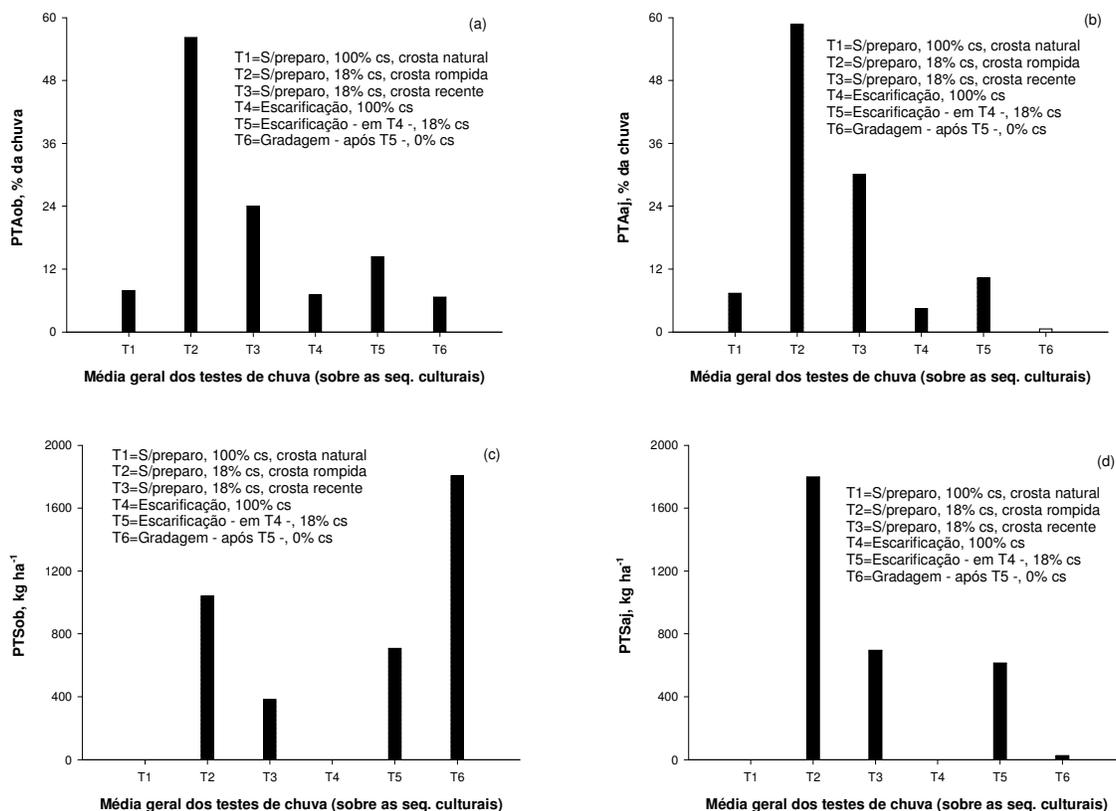


FIGURA 16. Apresentação gráfica das perdas médias gerais (sobre as seqüências culturais) observadas e ajustadas de água e solo (respectivamente PTAob e PTAaj e PTSob e PTSaj) nos testes de erosão com chuva simulada realizados na pesquisa (obs.: cs=cobertura superficial do solo) (valores médios de duas repetições por tratamento).

Explicações para estas ocorrências já foram dadas, mas fundamentalmente se deveram às diferenças na capacidade de retenção e infiltração superficiais de água entre os dois tipos de superfície do solo, não-mobilizada e mobilizada, muito maiores nesta última, independentemente da cobertura superficial por resíduos culturais. Destaca-se, entretanto, a importância desta última variável na infiltração de água no solo em superfícies não-mobilizadas, porém quando presente em altas quantidades de massa e em altas percentagens de cobertura, como pode ser comprovado comparando-se os resultados de perda total de água do teste de erosão nº 1 (Teste 1) com os do teste nº 2 (Teste 2), em que os do primeiro são muito menores do que os do segundo. Mais uma vez chama-se a atenção para o fato de não ter havido erosão (perda de solo) nos testes nº 1 e nº 4 (Teste 1 e Teste 4), em função de

o solo nos mesmos ter sido escarificado e/ou se encontrar integralmente protegido por espessa camada de resíduos culturais, como referido. No que diz respeito às diferenças entre as seqüências culturais, claramente destaca-se a segunda da lista, com teosinto entre suas espécies, como a que resultou em menor perda total de água da chuva no estudo, em todos os testes de erosão, não se podendo apontar, entretanto, uma ou mais seqüência cultural que, generalizadamente, tivesse resultado na maior perda total de água. Estes resultados serão melhor analisados e discutidos no próximo sub-item, tomando-se por base as perdas totais ajustadas de água e solo. De qualquer forma, antes de passar para o sub-item seguinte, julgou-se interessante chamar a atenção em relação a um aspecto importante nos resultados da tabela 18. Trata-se do fato que a perda acumulada de solo por erosão nos seis testes de erosão realizados na pesquisa já ultrapassou o limite considerado tolerável para o solo utilizado no estudo (em torno de $6,0 \text{ Mg ha ano}^{-1}$) em duas vezes ou 100% na primeira seqüência cultural da lista e chegou ao redor de 70% do seu valor na última seqüência cultural, e isto baseado na erosão ocorrida sobre apenas 11 m de comprimento de rampa (comprimento da parcela experimental). Este fato chama forte a atenção para o cuidado que se deve ter com a erosão do solo nas lavouras agrícolas, onde o comprimento de rampa normalmente supera o comprimento referido, em centenas de metros.

4.3.1.8. Perdas totais ajustadas de água e solo

Com o mesmo propósito do sub-item anterior, os resultados destas variáveis, para cada situação em particular criada na pesquisa, bem como para o seu conjunto, são apresentados duplamente, na tabela 19 (com os resultados da análise estatística) e nas figuras 14, 15 e 16 (sem os resultados da análise estatística), neste último caso, para fins de visualização conjunta, juntamente com os resultados observados de perda total de água e solo tratados no sub-item anterior. Os ajustes a que se referem os resultados em discussão são os mencionados no item 3.8 da seção do Material e Métodos, relativos às correções efetuadas nos resultados observados de perda total de água e solo em função das diferenças observadas na declividade do solo nas parcelas experimentais e na intensidade das chuvas simuladas aplicadas (Tabela 13), mais o que foi feito para uso neste momento, relativo às diferenças na duração

das chuvas (Tabela 13) impostas pelas situações criadas na pesquisa, para, assim, se poder comparar melhor os resultados de perda total de água e solo obtidos no estudo, inclusive agora acompanhados dos resultados da análise estatística. Assim, para o propósito em pauta, a duração da chuva foi estabelecida em 90 minutos para todas as situações criadas na pesquisa, recuando-se para este tempo os resultados de perda total de água e solo que haviam sido calculados para as chuvas que tiveram maior duração e avançando-se para ele os que haviam sido calculados para as chuvas que tiveram menor duração do que a estabelecida, por meio de artifício matemático inserido no programa computacional utilizado para efetuar os cálculos de perda de água e solo ou PEDEROSÃO, conforme mencionado na seção do Material e Métodos, usando-se como base os hidrogramas de enxurrada e os sedimentogramas apresentados e discutidos anteriormente (sub-item 4.3.1.3). Assim, ao se examinar os resultados da tabela 19, verifica-se que houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos de seqüência cultural praticamente em 50% das situações criadas na pesquisa (elas foram seis no total, sendo uma para cada teste de erosão), tanto para a perda total de água quanto para a perda total de solo (para esta última foram consideradas no cômputo também as duas situações em que não houve perda de solo por erosão – Teste 1 e Teste 4), porém nem sempre os dois tipos de perda sob as mesmas condições físicas momentâneas externas ou de superfície do solo (Testes 2 e 3 para ambos os tipos de perda, água e solo, Teste 1 apenas para a perda de água e Teste 6 apenas para a perda de solo). Observa-se, pois, que as diferenças estatisticamente significativas para a perda total de água ocorreram somente nos testes de erosão em que o solo se encontrava não-mobilizado (Testes 1, 2 e 3), independentemente da cobertura e da crosta superficiais, enquanto que, para a perda total de solo, elas ocorreram tanto no solo não-mobilizado (Teste 2 e Teste 3) quanto no solo mobilizado (Teste 5), a primeira condição sem e com crosta (esta última frágil, de formação recente – uma semana -, entretanto) e as duas condições com relativamente muito pouco cobertura superficial por resíduos culturais (18%). Entretanto, como em grande parte dos casos vem acontecendo desde o começo desta seção de resultados e discussão, não houve regularidade ou constância quanto à ordem de ocorrência das significâncias estatísticas nos tratamentos de seqüência cultural

TABELA 19. Perdas totais ajustadas (intensidade da chuva de 64 mm h⁻¹, duração da chuva de 90 min e declividade do solo de 0,115 m m⁻¹) de água e solo nos testes de erosão com chuva simulada aplicados nos tratamentos da pesquisa (valores médios de duas repetições por tratamento)

Seqüência cultural ¹	Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4		Teste 5		Teste 6		Total das seqüências culturais (somatório dos testes de chuva)	
	solo não-mobilizado, crosta natural, 100%cs ²		solo não-mobilizado, crosta rompida, 18% cs		solo não-mobilizado, crosta recente, 18 cs		solo recém-escarificado, 100% cs		solo previamente escarificado - em T4 -, 18% cs		solo recém-gradeado - após T5 -, 0% cs		PTA	PTS
	PTA ³	PTS ⁴	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS	PTA	PTS
	% ch. ⁵	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹	% ch.	kg ha ⁻¹
1Av,3Av+Er/3Fm	6,9 ab	0	57,5 ab	4.705 c	34,8 b	1.659 c	2,3	0	13,1	1.267 b	0,3	39	19,2 b	7.670 c
4Av/1Fm,2Te	0,4 a	0	46,4 a	706 a	10,4 a	47 a	0,4	0	3,2	155 a	0	0	10,1a	909 a
1Av,Tr,Nf,Az/1Fm,2Mi+Fm	15,1 b	0	64,3 b	307 a	30,4 b	83 a	2,3	0	8,5	264 a	0	0	20,3 b	655 a
1Sc,Av+Er,Av+Nf,Av+Az/1Fm,2Mt	11,2 ab	0	65,6 b	624 a	38,4 b	343 ab	6,3	0	12,4	328 a	0	0	22,3 b	1.295 a
1Av,3Er/1Fm,2Mi+Fp	3,2 a	0	59,8 ab	2.637 b	36,4 b	1.338 bc	11,2	0	14,2	1.047 b	2,5	87	21,2 b	5.109 b
Coeficiente de variação - CV, %	83,9	-	13,7	98,7	36,6	107,5	111,6	-	50,2	80,5	267,6	220,0	26,6	95,0
Média dos testes de chuva (sobre as seqüências culturais)	7,4 A	0 A	58,7 C	1.796 B	30,1 B	694 AB	4,5 A	0 A	10,3 A	612 AB	0,6 A	25 A	CV= 115%	CV= 197%

¹Nas seqüências culturais listadas, implantadas em semeadura direta, o algarismo precedendo a cultura ou combinação de culturas indica o número de vezes que a mesma tomou parte no experimento, enquanto que a cultura ou combinação de culturas sublinhada significa que era ela a que vigorava anterior ao momento da avaliação, sendo as seguintes para as convenções adotadas: Av=aveia preta, Er=ervilhaca, Fm=feijão miúdo, Te=teosinto, Tr=trevo calypso, Nf=nabo forrageiro, Az=azevém, Mi=milho, Sc=sem cultivo, Mt=milheto e Fp=feijão de porco. ²cs=cobertura do solo por resíduo cultural. ³PTA=perda total de água. ⁴PTS=perda total de solo. ⁵ch.=chuva. Valores seguidos de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha – última da tabela, com fonte tipo Times New Roman para a comparação de PTA e tipo *Monotype Corsiva* para a comparação de PTS -, não diferem estatisticamente entre si, enquanto que ausência de letra nos mesmos significa falta de significância estatística, ambos pelo teste Tukey no nível de probabilidade p<0,1.

nos testes de erosão em relação a ambos os tipos de perda, água e solo, ora um e outro se sobressaindo como o melhor ou o pior e ora outro(s). Independentemente disto, observa-se na tabela 19 que a segunda seqüência cultural da lista, com teosinto entre suas espécies, foi a que resultou em menor perda total de água observada no estudo estatisticamente falando, tanto individualmente em cada teste de erosão quanto no seu somatório, com as demais seqüências culturais não se diferenciando estatisticamente entre si neste último modo de comparação.

Quanto à perda total de solo, outra vez a seqüência cultural que envolveu teosinto entre suas espécies foi a que apresentou menor valor da mesma, embora não se diferenciando estatisticamente de uma e/ou outra, tanto individualmente em cada teste de erosão quanto no seu somatório. De modo geral, verifica-se na tabela 19 que as seqüências culturais que apresentaram maior perda total de solo estatisticamente significativa, tanto individualmente em cada teste de erosão quanto no seu somatório, foram a primeira (o maior valor de todas) e a última da lista (com valor um pouco abaixo da primeira), com as demais seqüências não diferindo estatisticamente entre si.

Quanto às diferenças estatisticamente significativas nos resultados entre os testes de erosão, baseadas na média das seqüências culturais em cada um deles, observa-se na tabela 19 que as maiores perdas totais de água ocorreram nos testes de erosão nº 2 – Teste 2 (a maior de todas) e nº 3 – Teste 3 (a segunda maior), com os demais testes estatisticamente não se diferenciando entre si. Quanto às perdas totais de solo, a maior ocorreu no teste de erosão nº 2 – Teste 2, entretanto sem diferenciar estatisticamente das ocorridas nos testes nº 3 e nº 5 – Testes 3 e Teste T5 -, não tendo havido erosão nos testes nº 1 e nº 4 – Teste 1 e Teste 4 - e com a perda total de solo no teste nº 6 (Teste 6) sendo desprezível. Estes resultados estão dentro da faixa de normalidade para as condições físicas momentâneas externas ou de superfície de solo criadas em cada teste de erosão, com a cobertura superficial por resíduos culturais, a rugosidade superficial induzida pelo preparo e a consolidação da superfície do solo motivada pela sua não-mobilização sendo as determinantes dos valores observados, como referido. Igualmente como se procedeu com os resultados observados acumulados de perda de solo (somatório dos testes de erosão – Tabela 18) em relação ao limite de perda

julgado tolerável para o solo utilizado no estudo (ao redor de $6,0 \text{ Mg ha ano}^{-1}$), verifica-se na tabela 19 que, mesmo com a vigência do processo erosivo tendo sido menor (90 minutos) do que na situação anterior (até 180 minutos), a perda de solo na primeira seqüência cultural da lista ultrapassou o valor crítico (ao redor de 1,3 vezes ou 30% maior) e a da última seqüência cultural chegou próximo a ele (0,85 vezes ou 85% do seu valor), no mesmo comprimento de rampa de 11 m da parcela experimental. Baseado nestes resultados, novamente chama-se a atenção para o cuidado que se deve ter com a erosão do solo nas lavouras agrícolas, onde o comprimento de rampa normalmente supera o comprimento referido em centenas de metros, como referido.

4.3.2. Análise das inter-relações dos resultados

Igualmente como se procedeu com as variáveis de manejo do solo medidas nas parcelas experimentais (sub-item 4.2.2), uma quantidade expressiva de inter-relações com os resultados das variáveis de erosão hídrica do solo medidas no escoamento superficial foi efetuada na pesquisa, e, da mesma forma, sempre procurando-se observar a relação de causa (variável independente) e efeito (variável dependente) entre elas. Estas inter-relações foram efetuadas independentemente dos tratamentos de seqüência cultural, separadamente para cada teste de erosão, e somente com os resultados das variáveis de manejo do solo obtidos na sua camada de 0 a 10 cm, como referido na abordagem das mesmas (sub-item 4.2.2) e pela mesma razão fundamental apresentada, ou seja, a erosão hídrica pluvial do solo é um fenômeno essencialmente se desenvolvendo na sua superfície. Também da mesma forma como se procedeu com as variáveis de manejo do solo, feitas as inter-relações e analisado os seus resultados verificou-se que algumas apresentaram grande dispersão de pontos, sem qualquer indicação de tendência, e, mesmo que não se estivesse esperando por isto, foram descartadas e deixadas ausentes deste trabalho. Por outro lado, várias inter-relações que se esperava indicarem tendência nos dados e apresentarem significância estatística quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las (essencialmente a equação da reta, como usada nas variáveis de manejo do solo), resultaram ou sem tendência ou com tendência mas sem significância estatística mas, desta vez, contrariamente ao ocorrido

com as variáveis de manejo do solo, na quase totalidade dos casos (apenas cinco de um total de sessenta e quatro situações não corresponderam ao que se esperava) com a variável dependente respondendo de forma coerente à variável independente. Assim, com o propósito de acumular dados e informações no assunto para servir pesquisas futuras, este último conjunto de inter-relações referido, mesmo sem significância estatística nos resultados, também foi considerado e feito presente neste trabalho, juntamente com as inter-relações que resultaram estatisticamente significativas, igualmente como se procedeu com as variáveis de manejo do solo.

Assim, para facilitar a visualização, as inter-relações definidas a fazerem parte deste trabalho foram reunidas e dispostas em seis figuras principais (Figuras 17 a 22), sendo uma para cada teste de erosão (Teste 1 a Teste 6) e cada uma delas composta de várias partes ou sub-figuras, identificadas com letras que vão de a a p, dependendo do teste de erosão, com cada letra correspondendo a uma inter-relação em particular, resultando num total de sessenta e quatro inter-relações. Também como se procedeu com as variáveis de manejo do solo, a ordenação das inter-relações nas figuras 17 a 22 seguiu um dado interligamento (sucessivo e escalonado) das variáveis usadas na sua composição, conforme referido nas considerações iniciais desta seção de resultados e discussão (item 4.1) e também usado na abordagem da análise básica dos resultados das mesmas (sub-item 4.3.1). É importante lembrar que as inter-relações em discussão, da mesma forma como ocorreu com as variáveis de manejo do solo, englobaram situações nas quais as variáveis usadas na sua composição provieram de três condições distintas de superfície do solo, assim caracterizadas: a) solo não-mobilizado (semeadura direta ou sem preparo do solo), raízes mortas e 100% e 18% de cobertura superficial por resíduos culturais; b) solo mobilizado (duas situações, solo recém-escarificado, raízes mortas e 100% e 18% de cobertura superficial por resíduos culturais, e solo recém-gradeado, após ter sido escarificado, sem nenhuma cobertura por resíduos culturais); e c) solo não-mobilizado e solo mobilizado (condições físicas momentâneas externas ou de superfície como em a e em b), em que a variável independente (de manejo do solo) proveio do solo não-mobilizado e a variável dependente (de erosão hídrica) do solo mobilizado.

Quanto às variáveis que participaram das inter-relações mencionadas acima, as de manejo do solo, medidas nas parcelas experimentais e usadas como causa de variação ou variável independente, invariavelmente foram a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água, a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,05 mm e a macroporosidade do solo em todos os testes de erosão (Teste 1 a Teste 6), a resistência do solo à penetração mecânica nos testes de erosão nº 2 e nº 3 (Teste 2 e Teste 3) e o índice de rugosidade superficial do solo no teste de erosão nº 6 (Teste 6). No que diz respeito às variáveis de erosão hídrica do solo, medidas no escoamento superficial por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada e usadas como efeito ou resposta ou variável dependente, invariavelmente foram o tempo de início da enxurrada, a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada, a perda total de água em todos os testes de erosão (Teste 1 a Teste 6) e a perda total de solo em quatro deles (Testes 2, 3, 5 e 6), por não ter havido erosão nos Testes 1 e 4, como referido. Todas estas inter-relações foram efetuadas usando-se somente os valores ajustados de perda total de água e solo, sendo que a primeira para a intensidade e duração da chuva planejadas, respectivamente $64,0 \text{ mm h}^{-1}$ e 1,5 h ou 90 minutos, e a perda total de solo também para estas duas últimas mais o ajuste feito para a declividade média do solo nas parcelas experimentais ($0,115 \text{ m m}^{-1}$), conforme referido. Completados os esclarecimentos das inter-relações que irão ser tratadas daqui para frente, efetuados com o propósito de facilitar o seu entendimento, passar-se-á à análise propriamente dita dos seus resultados, conforme os modos ou tipos de análise estabelecidos no item 4.1, separadamente para cada teste de erosão, do modo como será descrito a seguir.

- Teste de erosão nº 1 (Teste 1): solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% de cobertura superficial por resíduos culturais

Em primeiro lugar, outra vez chama-se a atenção para o fato de que neste teste de erosão não houve perda de solo (Tabelas 18 e 19), em função da integral cobertura superficial do solo (100%) por resíduos culturais. Assim, as inter-relações efetuadas com os resultados obtidos no mesmo são todas

relacionadas com o escoamento superficial ou enxurrada, cujos resultados são apresentados na figura 17 (letras a a i). Analisando os dados, verifica-se que das nove inter-relações efetuadas cinco resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, com níveis de probabilidade estatística (p) de 0,05 e 0,1 e com valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,4675 a 0,3127 (Figuras 17a, 17d, 17e, 17h e 17i), e quatro resultaram não-significativas (Figuras 17b, 17c, 17f e 17g), mesmo assim estas últimas apresentando lógica no comportamento, com a variável dependente respondendo de forma coerente à variável independente. As inter-relações que resultaram estatisticamente significativas, porém com valores do coeficiente de determinação (R^2) relativamente pequeno, foram as seguintes: tempo de início da enxurrada (T_i) com quantidade de biomassa subterrânea ou raízes (Figura 17a) e com percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,05 mm (Figura 17d), lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) com quantidade de biomassa subterrânea ou raízes e com percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,05 m (Figuras 17e e 17h) e perda total de água (PTA) com quantidade de biomassa subterrânea ou raízes (Figura 17i), com as duas primeiras variáveis dependentes (T_i e LAPE) aumentando e a última (PTA) diminuindo de valor com o aumento do valor das variáveis independentes, o que está dentro da normalidade e era esperado. Isto porque, quanto maior a quantidade de raízes e a proporção de estabilidade de agregados do solo em água de maior tamanho, tanto melhores as condições para infiltrar água da chuva e, conseqüentemente, menor será o escoamento superficial ou enxurrada, especialmente em se tratando de casos como neste teste de erosão, em que o solo estava integralmente coberto (100%) por resíduos culturais, evitando a formação de selos superficiais pela ação de impacto das gotas da chuva e, desta forma, mantendo melhor as condições físicas externas ou superficiais do solo para infiltrar água. Quanto às inter-relações que, apesar de terem indicado direção certa e esperada nos dados, resultaram estatisticamente não-significativas, foram as de tempo de início da enxurrada (T_i) e lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) com a macroporosidade do solo (respectivamente Figuras 17b e 17f) e com o

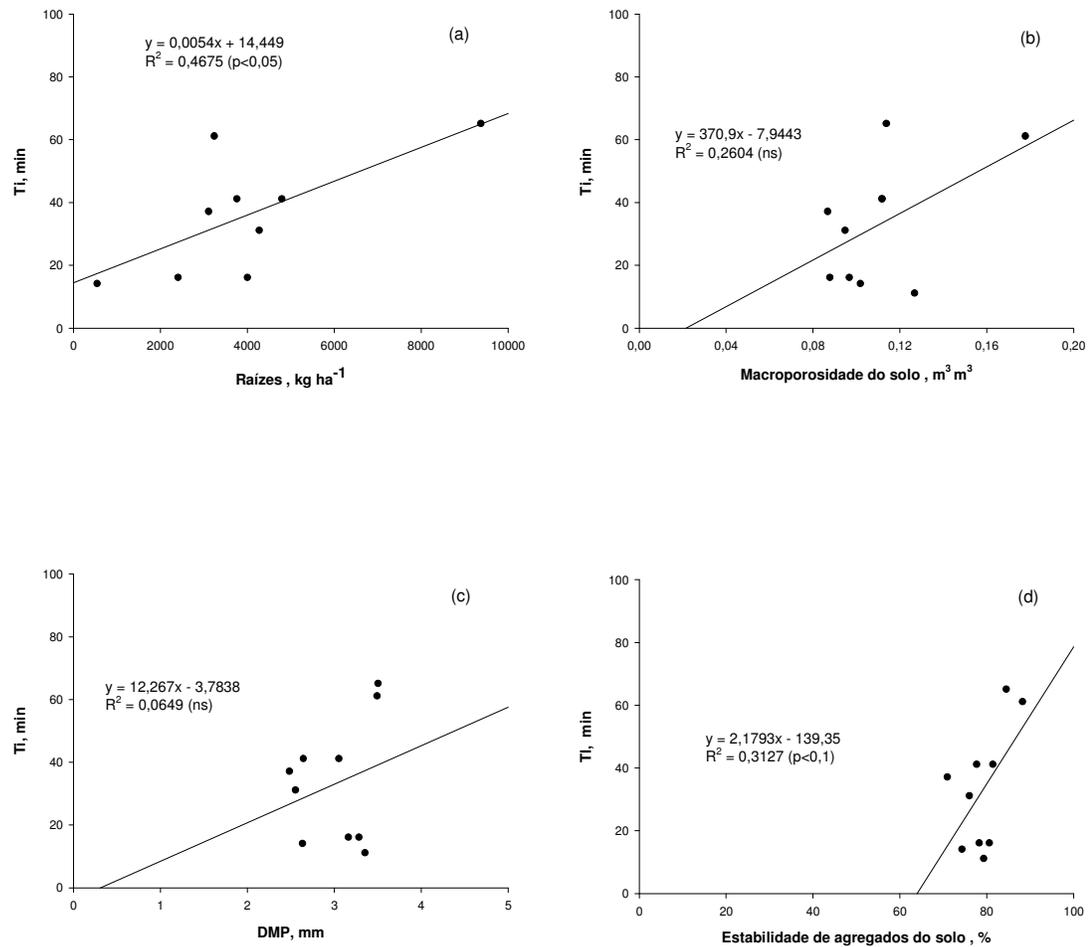


FIGURA 17. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada do 0-10 cm) associadas ao primeiro teste de erosão com chuva simulada (T1=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural, 100% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs:Ti=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo) – continua

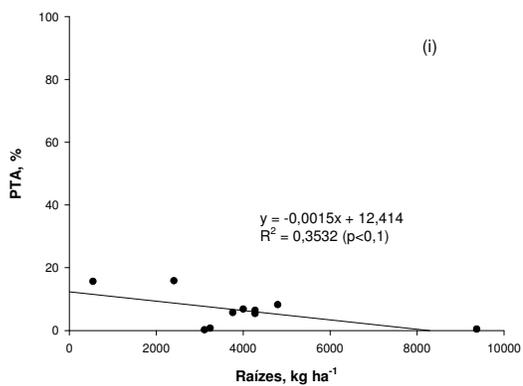
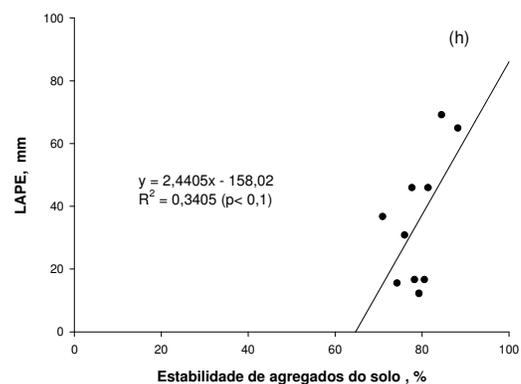
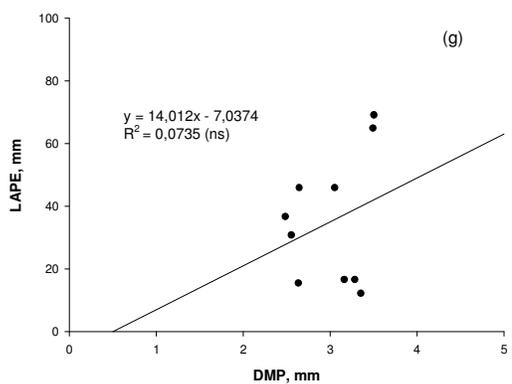
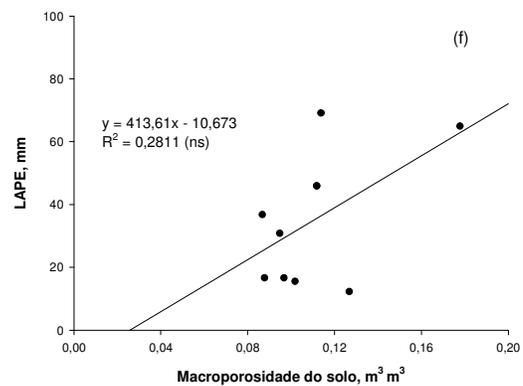
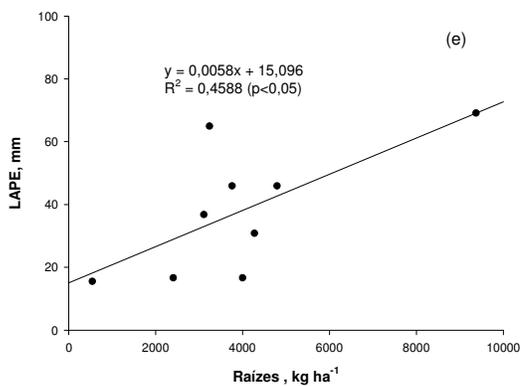


FIGURA 17. Continuação

diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (respectivamente Figuras 17c e 17g). O fato destas inter-relações terem resultado estatisticamente não-significativas quanto à macroporosidade do solo pode ser explicado pela falta de significância estatística nos seus resultados (Tabela 10 – avaliação feita em 13/11/2007); porém, quanto ao diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água, não há explicação lógica, até porque houve diferenças estatisticamente significativas nos seus resultados (Tabela 10 – avaliação feita em 13/11/2007). Quanto à consistência nas significâncias estatísticas dos resultados, ou seja, significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas na sua composição, não houve integralmente, tendo havido casos de inter-relações estatisticamente significativas e outras não-significativas com as variáveis usadas na sua composição ambas tendo apresentado diferenças significativas nos seus resultados, bem como casos em que a variável dependente foi significativa e a independente não-significativa e a inter-relação tendo resultado ora estatisticamente significativa e ora não-significativa. Depende-se destas ocorrências o conflito que às vezes ocorre entre os resultados da análise puramente estatística e os resultados reais do fenômeno em pesquisas desta natureza, tendo-se, pois, que investir mais esforços neste sentido para tentar elucidar alguns fatos no assunto.

- Teste de erosão nº 2 (Teste 2): solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% de cobertura superficial por resíduos culturais

Os resultados das inter-relações efetuadas neste teste de erosão são apresentados na figura 18 (letras a a o). Analisando os dados, verifica-se que das quatorze inter-relações efetuadas apenas três resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, com níveis de probabilidade $p < 0,1$, $p < 0,05$ e $p < 0,01$ e correspondentes valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,3520; 0,4134 e 0,5926, respectivamente para as inter-relações de tempo de início da enxurrada (T_i), lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada e perda total de solo (PTS) com a resistência do solo à penetração mecânica avaliada com penetrômetro na sua camada de 0 a 0,5 cm (Figuras 18e, 18j e 18o). O que chama mais a atenção nestas inter-relações, entretanto,

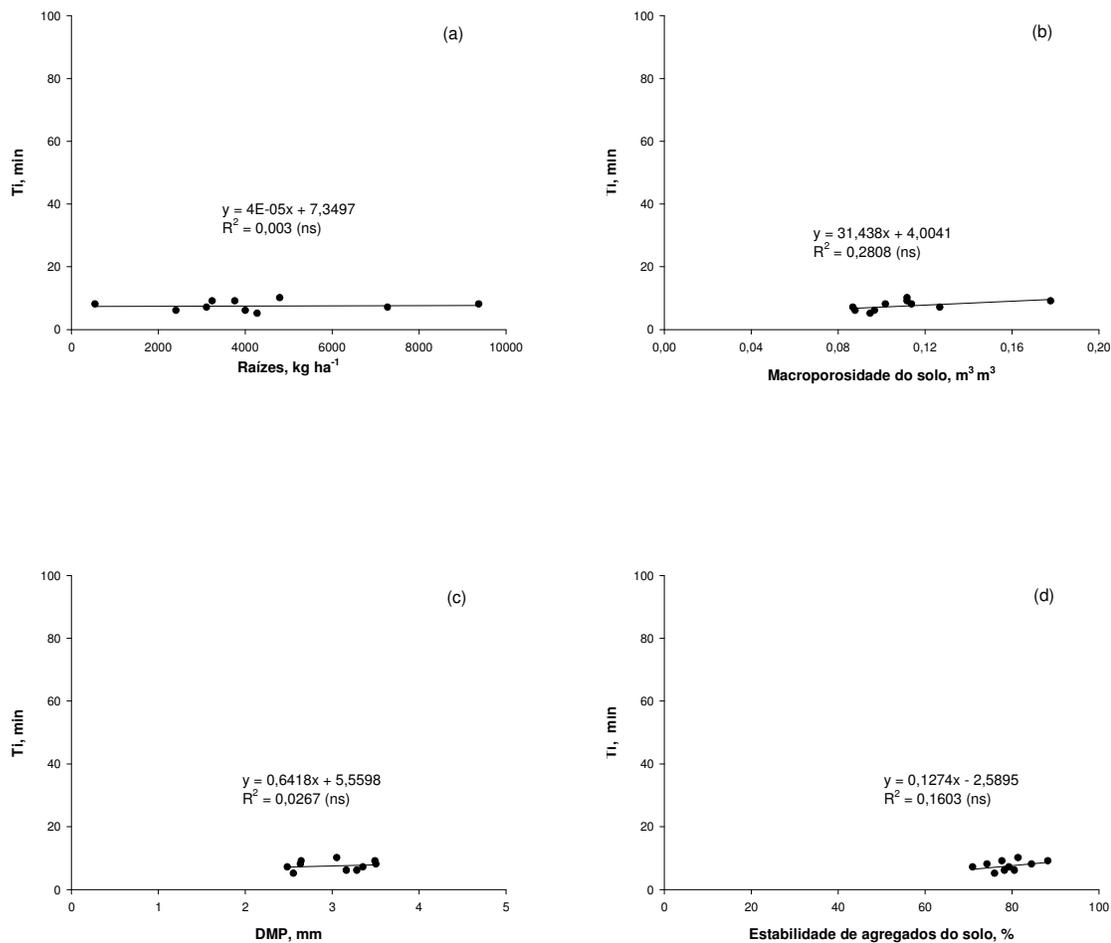


FIGURA 18. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao segundo teste de erosão com chuva simulada (T_2 =solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida, 18% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs.: T_i =tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; RP=resistência do solo à penetração mecânica) – continua

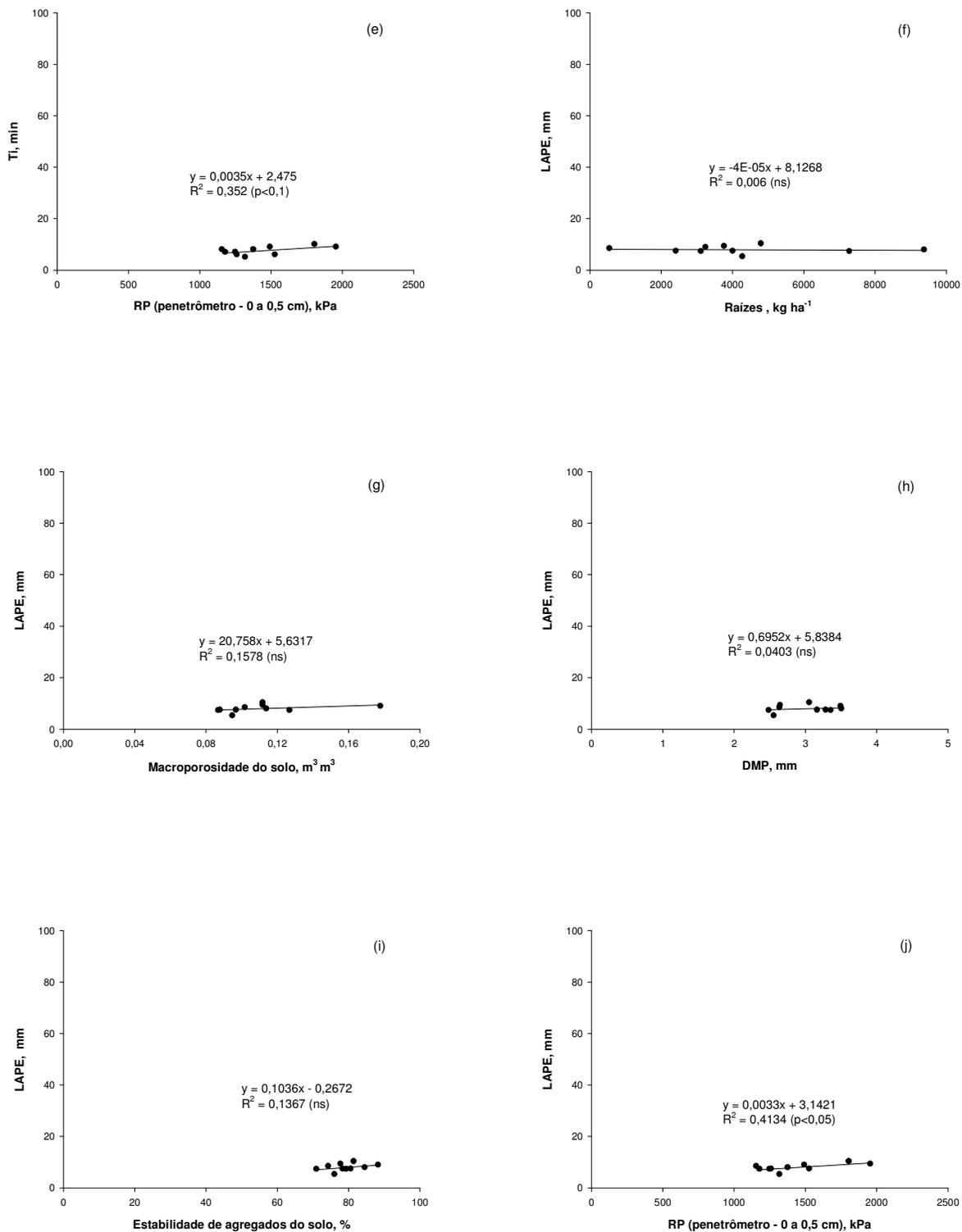


FIGURA 18. continuação.

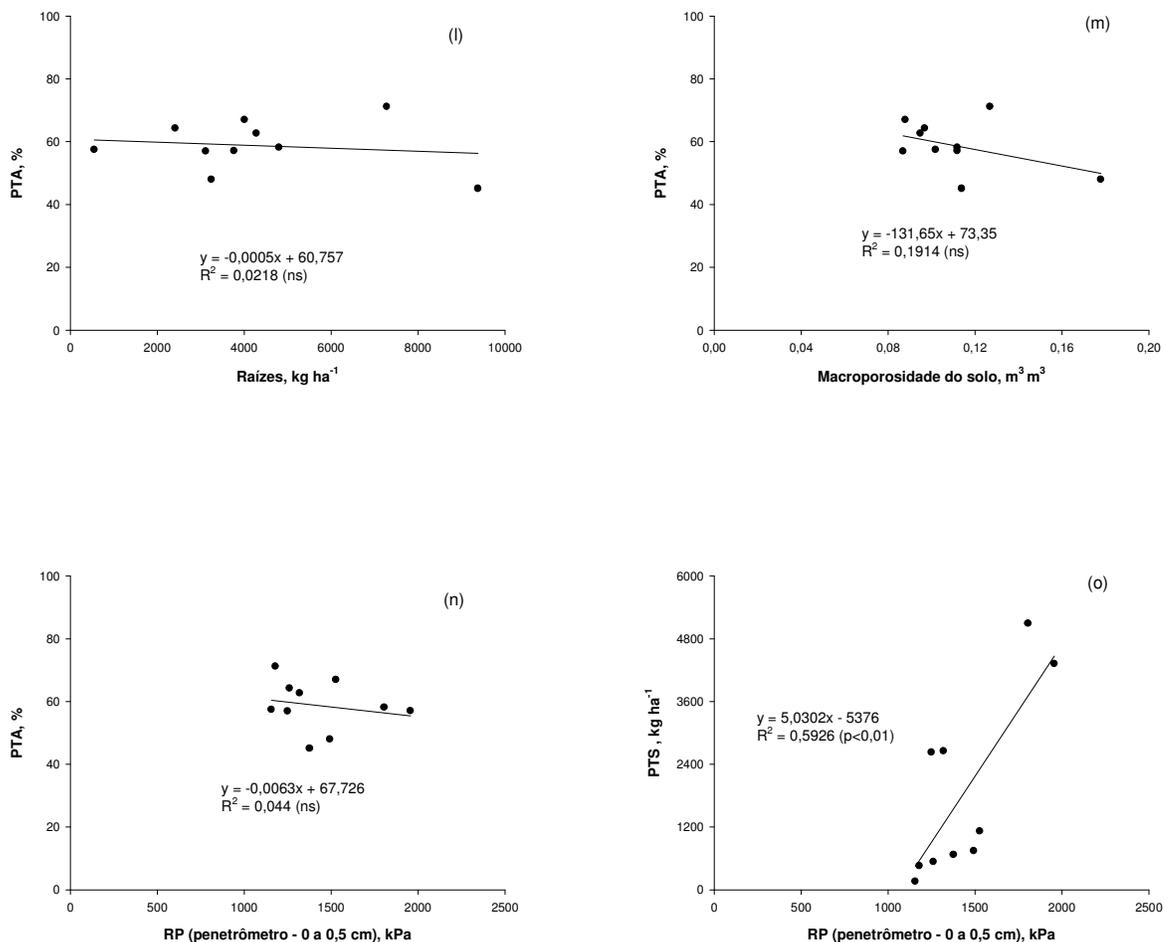


FIGURA 18. continuação.

é a direção contrária que a variável dependente aponta em resposta à variável independente, ou seja, o tempo de início da enxurrada, a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada e a perda total de solo aumentando com o aumento da resistência do solo à penetração mecânica na sua camada de 0 a 0,5 cm. Isto porque, sob tal condição física de superfície do solo (maior resistência à penetração mecânica), normalmente presume-se maior dificuldade para a água penetrar no mesmo e maior resistência dele à desagregação de suas partículas (em relação a este último aspecto, entretanto, há que se considerar que a crosta superficial do solo existente neste teste de erosão, formada naturalmente ao longo do período de experimentação, foi

manual e levemente rompida antes da aplicação da chuva). Em princípio, atribui-se este comportamento inverso das variáveis referidas a problemas relacionados com a medição dos resultados de resistência (superficial) do solo à penetração mecânica usados na análise, em função do tipo de equipamento utilizado na sua medição (penetrômetro estático de bolso).

Por outro lado, as inter-relações que resultaram estatisticamente não-significativas tiveram suas variáveis dependentes respondendo de forma coerente à variável independente, ou seja, o tempo de início da enxurrada (T_i) e a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) aumentando e a perda total de água (PTA) diminuindo com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, com a macroporosidade do solo, com o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e com a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,05 mm (exceto um caso isolado em relação à perda total de água – PTA - , em que diminuiu com o aumento da resistência do solo à penetração mecânica na sua camada de 0 a 0,5 cm - Figura 18n), condições estas que, no conjunto, favorecem a infiltração de água ou seja, significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas na sua composição, não houve integralmente, igualmente como ocorreu no teste de erosão anterior (Teste 1). No que diz respeito à correspondência das inter-relações efetuadas neste teste de erosão (Teste 2, com solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida e 18% de cobertura por resíduo cultural – Figura 18) com as do teste anterior (Teste 1, com solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta natural e 100% de cobertura por resíduo cultural – Figura 17), ou seja, se dada inter-relação em dado teste de erosão, tanto do ponto de vista estatístico quanto do ponto de vista de indicação de tendência nos dados, apresentou o mesmo comportamento ou não em relação ao verificado em outro teste, exceto as feitas com a resistência do solo à penetração mecânica, que não foram feitas no teste anterior, houve em relação às variáveis que participaram do inter-relacionamento e em relação ao seu comportamento, mas não houve quanto às suas significâncias estatísticas. Fica na dúvida se esta última ocorrência se deveu a problemas relacionados com a medição dos resultados das variáveis inter-relacionadas ou se realmente porque o

comportamento das mesmas foi influenciado pelo tipo de superfície do solo empregado em cada teste de erosão.

- Teste de erosão nº 3 (Teste 3): solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta de formação recente, 18% de cobertura superficial por resíduos culturais

Os resultados das inter-relações efetuadas neste teste de erosão são apresentados na figura 19 (letras a a p). Analisando os dados, verifica-se que das quinze inter-relações efetuadas sete resultaram estatisticamente significativas, com níveis de probabilidade estatística (p) de 0,1; 0,05 e 0,01 e valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,2972 a 0,4819, para as seguintes inter-relações: tempo de início da enxurrada (T_i) com macroporosidade do solo e percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm (respectivamente Figuras 19b e 19c), lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) com percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm (Figura 19g), perda total de água (PTA) com macroporosidade do solo e com percentagem de estabilidade de agregados de solo em água maiores do que 0,5 mm (respectivamente Figuras 19j e 19l) e perda total de solo (PTS) com diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e com resistência do solo à penetração mecânica avaliada com penetrômetro na sua camada de 0 a 0,5 cm (respectivamente Figuras 19n e 19p). Estas inter-relações estatisticamente significativas todas tiveram suas variáveis dependentes respondendo de forma coerente às variáveis independentes, ou seja, o tempo de início da enxurrada e a lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu aumentando e a perda total de água diminuindo de valor com o aumento do valor da macroporosidade do solo e da percentagem de estabilidade de agregados em água maiores do que 0,05 mm, bem como a perda total de solo diminuindo de valor com o aumento do valor do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e da resistência do solo à penetração mecânica avaliada com o penetrômetro na sua camada de 0 a 0,5 cm. Quanto às inter-relações estatisticamente não-significativas, chama a atenção aquelas efetuadas com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, como o tempo de início da enxurrada

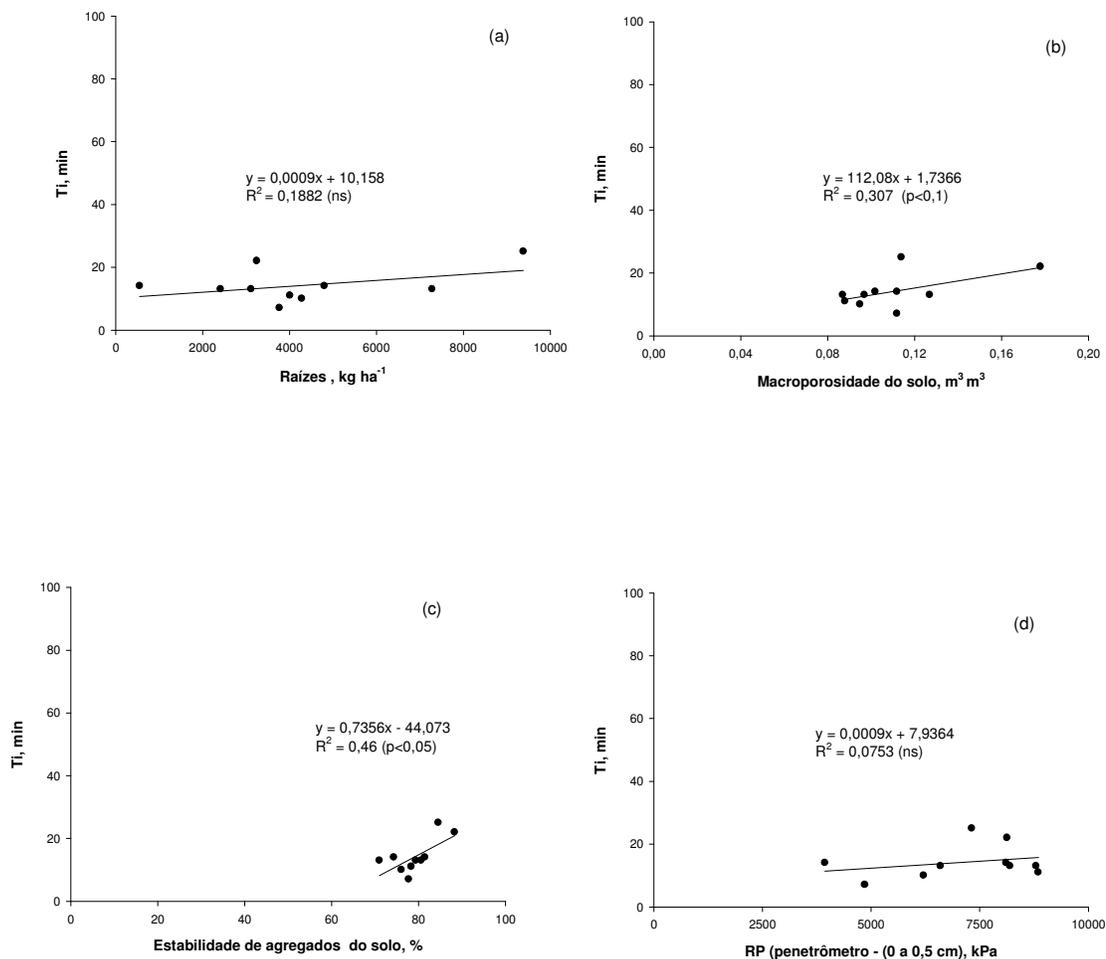


FIGURA 19. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao terceiro teste de erosão com chuva simulada (T3=solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta recente, 18% coberto com resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: T_i =tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; RP=resistência do solo à penetração mecânica) – continua

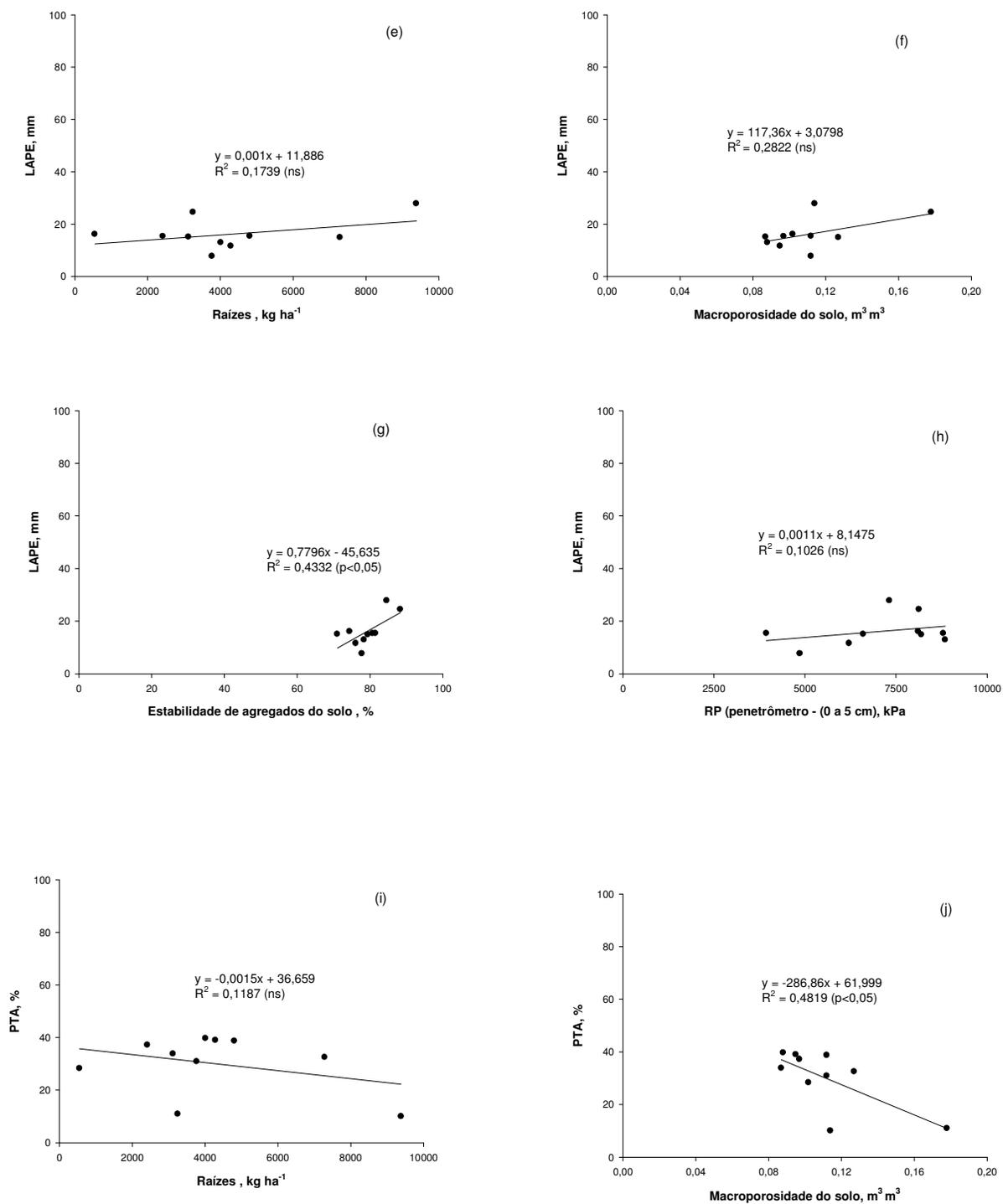


FIGURA 19. continuação

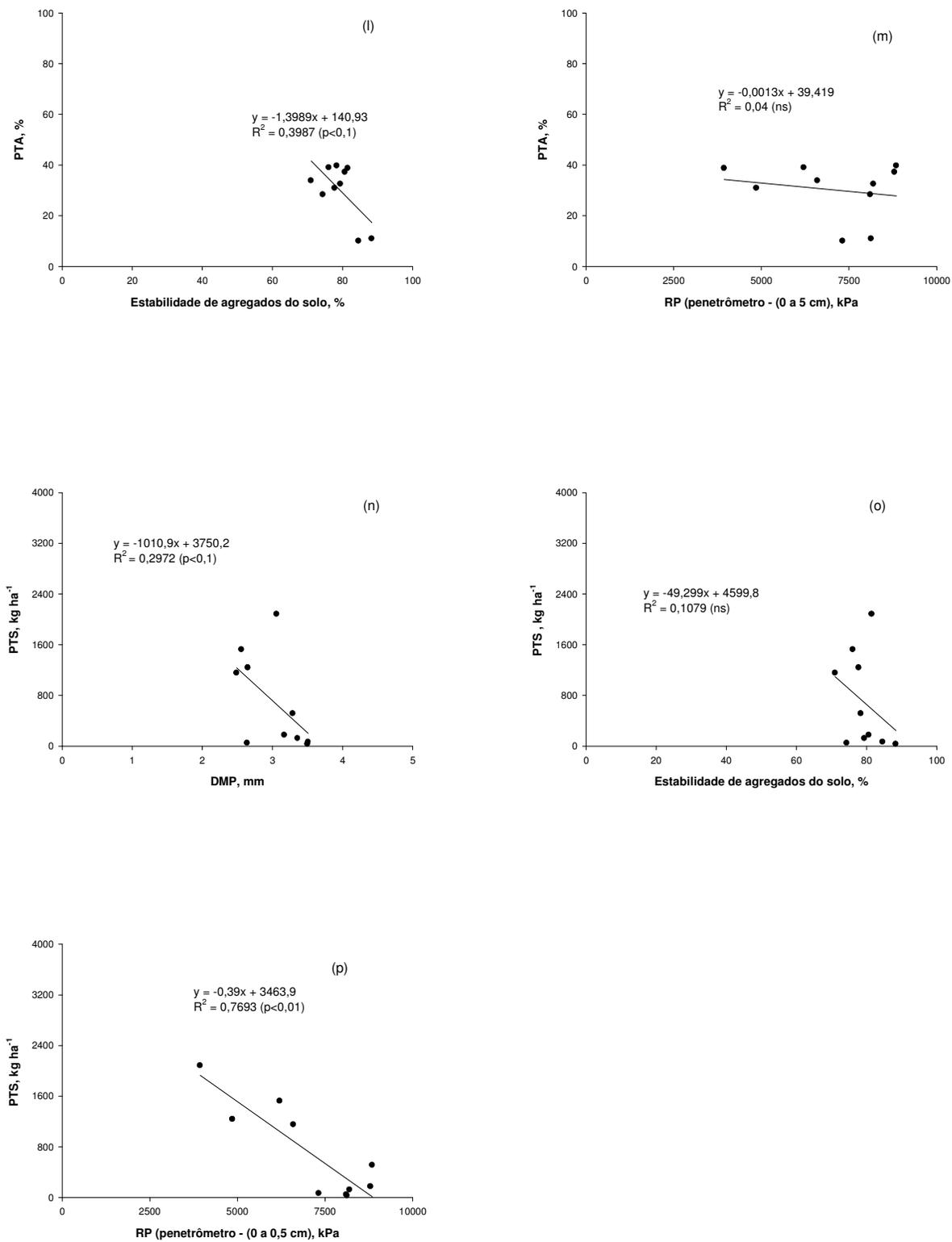


FIGURA 19. continuação.

(Ti - Figura 19a), a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE - Figura 19e) e a perda total de água (PTA - Figura 19i), bem como a inter-relação da lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) com a macroporosidade do solo (Figura 18f) e a inter-relação da perda total de solo (PTS) com a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm (Figura 19o), mas mesmo assim todas sinalizando resposta certa da variável dependente à variável independente. Apenas três inter-relações, além de não serem estatisticamente significativas, sinalizaram resposta contrária da variável dependente em relação à variável independente (Figuras 19d, 19h e 19m). Quanto à consistência nas significâncias estatísticas dos resultados (significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas nas suas composições), não houve, igualmente como aconteceu nos testes de erosão anteriores (Teste 1 e Teste 2). No que diz respeito à correspondência das inter-relações efetuadas neste teste de erosão (Teste 3, com solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta de formação recente e 18% de cobertura por resíduo cultural – Figura 19) com as efetuadas no teste anterior (Teste 2, com solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta rompida e 18% de cobertura por resíduo cultural – Figura 18), houve tanto em relação às variáveis que participaram da sua composição quanto em relação ao seu comportamento (foram as mesmas e o mesmo nos dois testes de erosão), porém sem correspondência no que se refere às suas significâncias estatísticas. Estes resultados estão dentro do esperado, tendo em vista que a diferença nas condições físicas de superfície do solo entre os dois testes de erosão em referência foi pequena (crosta manual levemente rompida no Teste 2 e crosta tênue, de formação recente – uma semana -, no Teste 3), entretanto devidamente resguardadas as magnitudes dos valores das variáveis de erosão hídrica em cada um deles, que foram consideravelmente diferentes, como visto (Tabelas 15 e 19).

- Teste de erosão nº 4 (Teste 4): solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% de cobertura superficial por resíduos culturais

Os resultados das inter-relações efetuadas neste teste de erosão são apresentados na figura 20 (letras a a i). Lembra-se que, neste teste de erosão,

igualmente como ocorreu no Teste 1, também não houve perda de solo, por sua superfície também estar integralmente coberta (100%) com resíduos culturais e, agora, apresentar alta rugosidade superficial, com grande capacidade de retenção de água e solo.

Assim, analisando os dados das figuras 20a a 20i, verifica-se que as nove inter-relações efetuadas neste teste de erosão resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, com níveis de probabilidade (p) de 0,1; 0,05; 0,02 e 0,01 e valores do coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,2501 a 0,6218. As variáveis que participaram das inter-relações neste teste de erosão, exceto a resistência do solo à penetração mecânica, que desta vez não foi medida pelo fato de o solo ter sido mobilizado em toda extensão da superfície do terreno, foram as mesmas que participaram dos testes de erosão anteriores. Desta forma, foram usadas como variáveis de causa ou independentes a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm, e como variáveis de resposta ou dependentes o tempo de início da enxurrada (T_i), a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) e a perda total de água (PTA), as quais todas responderam de forma coerente às primeiras, dentro do normal e como esperado. Chama a atenção nestes resultados, comparados aos observados nos testes anteriores, o fato de todas as inter-relações terem resultado estatisticamente significativas e apontando na direção certa quando o solo foi mobilizado e integralmente coberto (100%) com resíduos culturais, parecendo indicar que, sob estas condições, têm maior importância a existência de bom nível de suas características e/ou propriedades físicas. Isto, talvez, possa ser explicado pelo efeito de compensação, ou seja, quando o solo é mecanicamente mobilizado, antecipadamente ocorre muita desagregação de suas partículas por esta ação, e, para compensar isto, quanto mais resistentes à desagregação posterior pela ação dos agentes erosivos forem deixadas as suas partículas, tanto melhor, o que explica a influência positiva das raízes e da agregação do solo na infiltração de água na sua superfície e, conseqüentemente, na redução do escoamento superficial ou enxurrada.

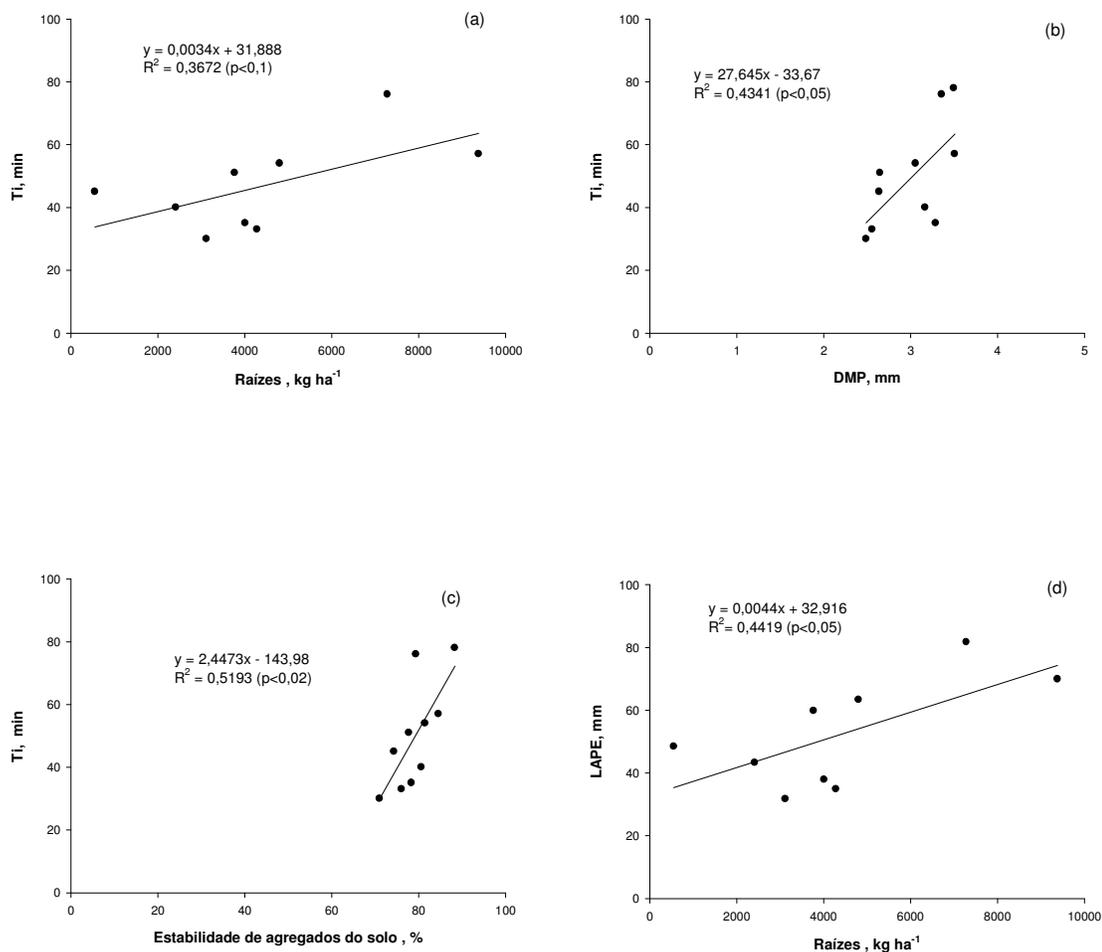


FIGURA 20. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao quarto teste de erosão com chuva simulada (T₄=solo recém-escarificado, raízes mortas, 100% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: T_i=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; IRg=índice de rugosidade georeferenciado) – continua

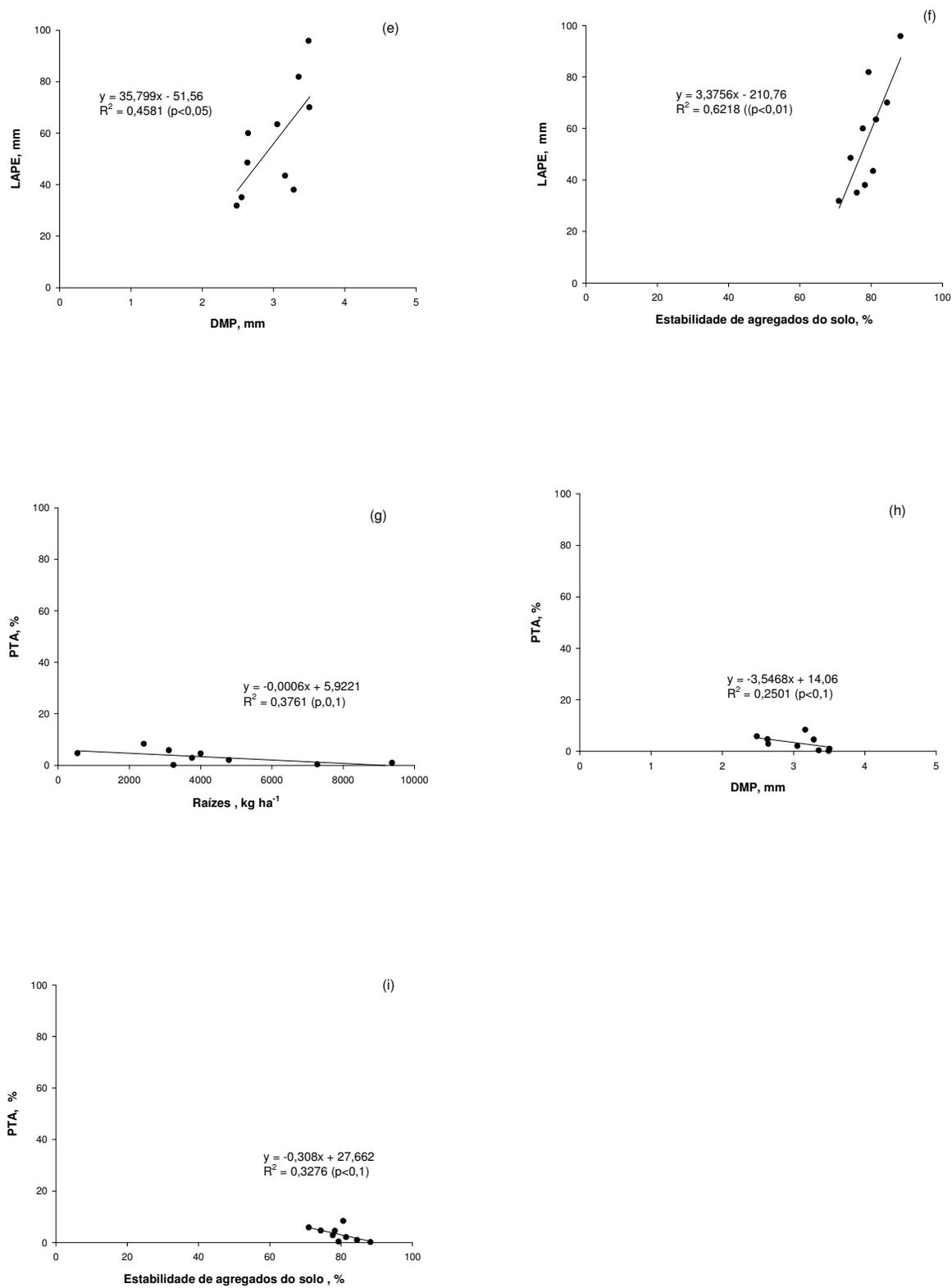


FIGURA 20. continuação.

Quanto à consistência nas significâncias estatísticas dos resultados (significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas na sua composição), não houve somente para a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes analisada de modo isolado (Tabela 4), que resultou não-significativa, mas na inter-relação resultou significativa.

No que diz respeito à correspondência das inter-relações efetuadas neste teste de erosão (Teste 4, com solo recém-escarificado, raízes mortas e 100% de cobertura superficial por resíduo cultural – Figura 20) com as efetuadas no teste anterior (Teste 3, com solo não-mobilizado, raízes mortas, crosta tênue ou recente e 18% de cobertura por resíduo cultural – Figura 19), houve em relação às variáveis que participaram da sua composição mas não em relação ao seu comportamento (neste teste de erosão a inter-relação da perda total de água com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes apontou na direção certa e no teste anterior na direção contrária, em que pese ela ter resultado não-significativa naquele).

- Teste de erosão nº 5 (Teste 5): solo previamente escarificado – por ocasião da realização do Teste 4 -, raízes mortas, 18% de cobertura superficial por resíduos culturais

Os resultados das inter-relações efetuadas neste teste de erosão são apresentados na figura 21 (letras a a i). Analisando os dados, verifica-se que, das nove inter-relações efetuadas, seis resultaram estatisticamente significativas quanto ao modelo matemático usado para descrevê-las, com níveis de probabilidade (p) de 0,1; 0,05 e 0,01 e coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,3832 a 0,6733 (Figuras 21b, 21c, 21e, 21f, 21h e 21i), e três resultaram não-significativas (Figuras 21a, 21d e 21g). As variáveis que participaram das inter-relações estatisticamente significativas foram o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm como variáveis de causa ou independentes, e o tempo de início da enxurrada (T_i), a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE), a perda total de água (PTA) e a perda total de solo (PTS) como variáveis de efeito ou dependentes, as quais todas responderam de forma coerente às primeiras, ou seja, as duas últimas variáveis dependentes diminuindo e as duas primeiras aumentando de valor com o aumento do valor tanto do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água quanto da percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm. Estes resultados estão dentro do normal e era o esperado, pelas mesmas razões apresentadas quando da abordagem da inter-

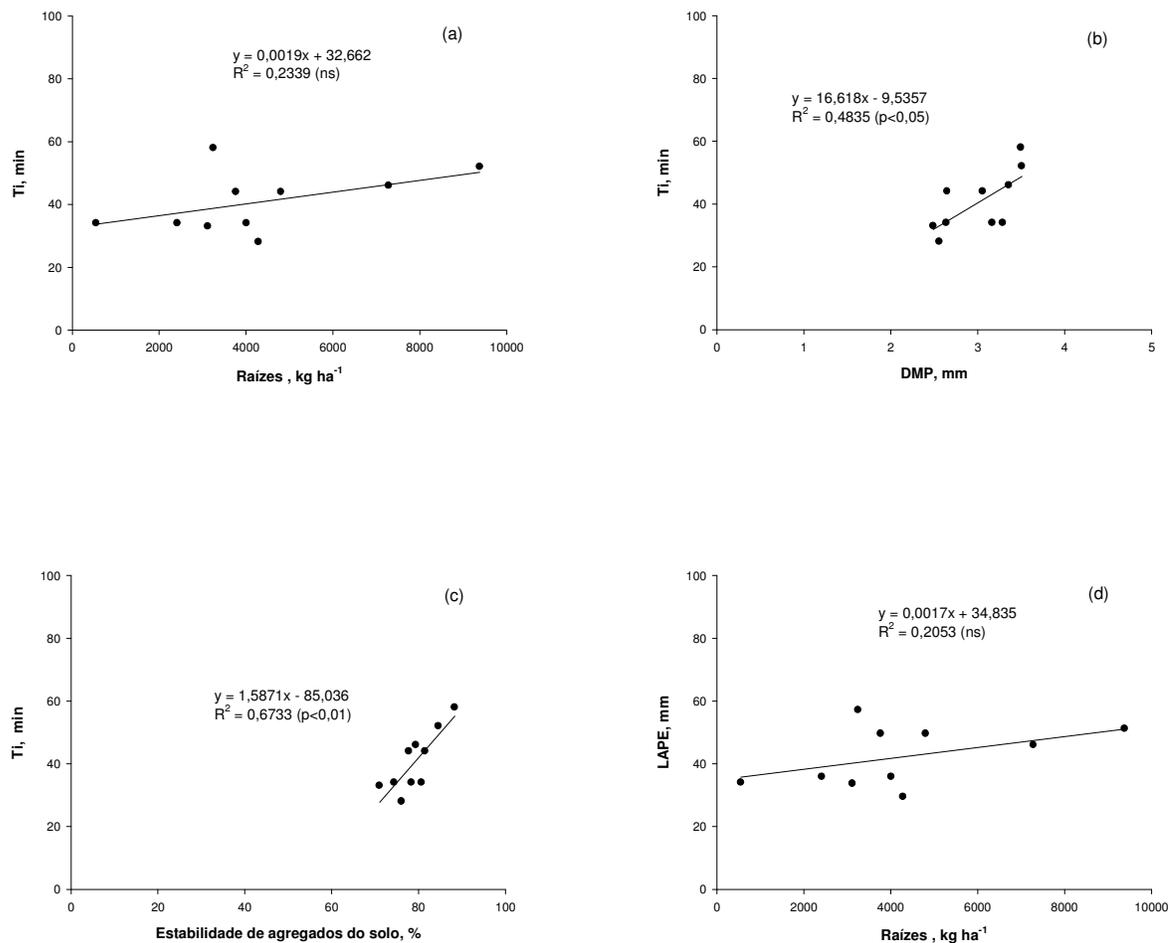


FIGURA 21. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidas da sua camada de 0-10 cm) associadas ao quinto teste de erosão chuva simulada (T5=solo previamente escarificado – em T4 -, raízes mortas, 18% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: T_i=tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; PTS=perda total de solo; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo) – continua

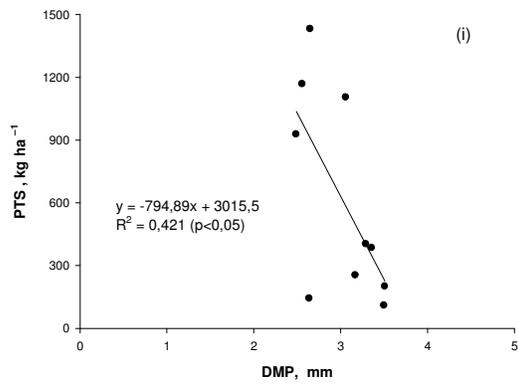
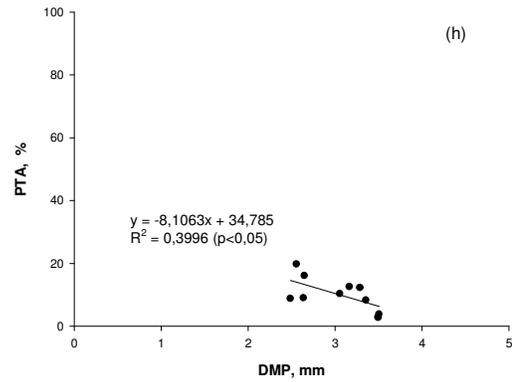
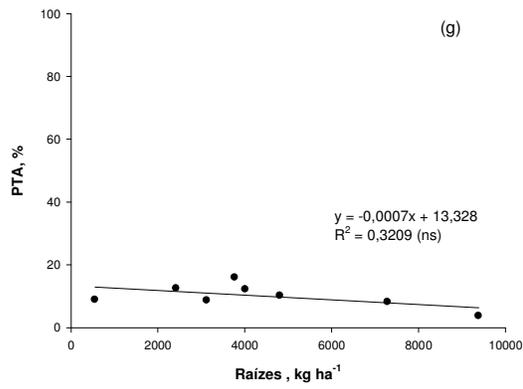
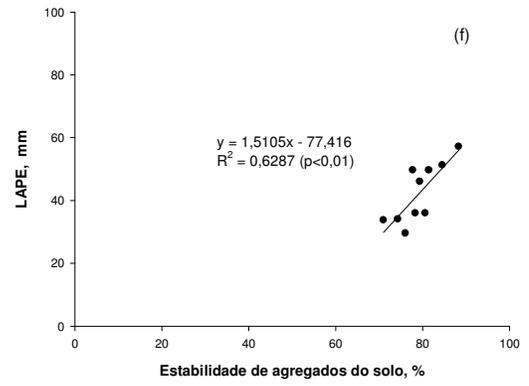
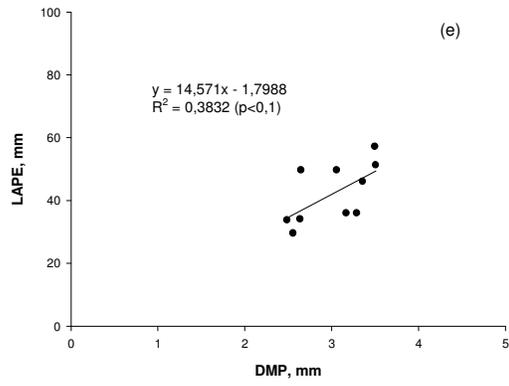


FIGURA 21. continuação.

relação destas variáveis nos testes de erosão anteriores. Quanto às inter-relações que resultaram estatisticamente não-significativas, foram as de tempo de início da enxurrada (Ti), lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada (LAPE) e perda total de água (PTA) com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, mas mesmo assim as primeiras (variáveis dependentes) todas sinalizando resposta coerente à última (variável independente - Figuras 21a, 21d e 21g)

No que se refere à consistência nas significâncias estatísticas dos resultados (significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas na sua composição), não houve somente para as inter-relações efetuadas com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, em que resultou não-significativa quando analisada no modo isolado (Tabela 4). No que diz respeito à correspondência das inter-relações efetuadas neste teste de erosão (Teste 5, com solo previamente escarificado – para realização do Teste 4 -, raízes mortas e 18% de cobertura superficial por resíduo cultural – Figura 21) com as efetuadas no teste anterior (Teste 4, com solo recém-escarificado, raízes mortas e 100% de cobertura superficial por resíduo cultural – Figura 20), houve tanto em relação às variáveis que participaram das mesmas quanto em relação ao seu comportamento, embora três delas não resultando estatisticamente significativas, igualmente como ocorreu com uma inter-relação no teste anterior (neste teste de erosão as inter-relações de tempo de início da enxurrada, lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada e perda total de água com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes apontaram na direção certa, embora não sendo estatisticamente significativas).

- Teste de erosão nº 6 (Teste 6): solo gradeado – após a realização do Teste 5 -, totalmente descoberto

Os resultados das inter-relações efetuadas neste teste de erosão são apresentados na figura 22 (letras a a h). Analisando os dados, verifica-se que das oito relações efetuadas apenas duas resultaram estatisticamente significativas quanto ao grau de ajuste do modelo matemático usado para descrevê-las, com nível de probabilidade (p) de 0,1 e valores do coeficiente de determinação (R^2) de 0,3310 e 0,3110 (Figuras 22b e 22f). As variáveis que

participaram das inter-relações neste teste de erosão basicamente foram as mesmas dos testes anteriores, porém tendo sido incluído o índice de rugosidade superficial do solo (variável independente), em função da gradagem realizada no mesmo, e excluído-se a perda total de água e a perda total de solo, que neste teste de erosão ocorreram somente em dois tratamentos de seqüência cultural e, ainda assim, em quantidade muito pequena.

Quanto à consistência nas significâncias estatísticas dos resultados (significância estatística das inter-relações versus significância estatística das variáveis usadas na sua composição), não houve, tendo havido inter-relações estatisticamente significativas e não-significativas quando ambas as variáveis usadas na sua composição mostraram diferenças estatisticamente significativas nos seus resultados. No que diz respeito à correspondência das inter-relações efetuadas neste teste de erosão (Teste 6, solo recém-gradeado – após realização do Teste 5 -, raízes mortas e totalmente desprovido de cobertura superficial por resíduo cultural – Figura 22) com as efetuadas no teste anterior (Teste 5, com solo previamente escarificado – para realização do Teste 4 -, raízes mortas e 18% de cobertura por resíduo cultural – Figura 21), não houve para as de tempo de início da enxurrada e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu (variáveis dependentes) com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes (variável independente), em que neste teste de erosão apontaram direção contrária das primeiras em relação à segunda e no teste anterior direção certa, em que pese nos dois testes terem resultado estatisticamente não-significativas.

Assim, foram usadas como variáveis de causa ou independentes a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes mortas, o diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água, a percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,05 mm e o índice de rugosidade superficial do solo georreferenciado, e como variáveis de resposta ou dependentes o tempo de início da enxurrada e a lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu, as quais responderam de modo diverso às variáveis independentes nas inter-relações que resultaram estatisticamente não-significativas, ora indicando a direção certa nos dados e ora a direção contrária (Figuras 22a, 22c, 22d, 22e, 22g e 22h).

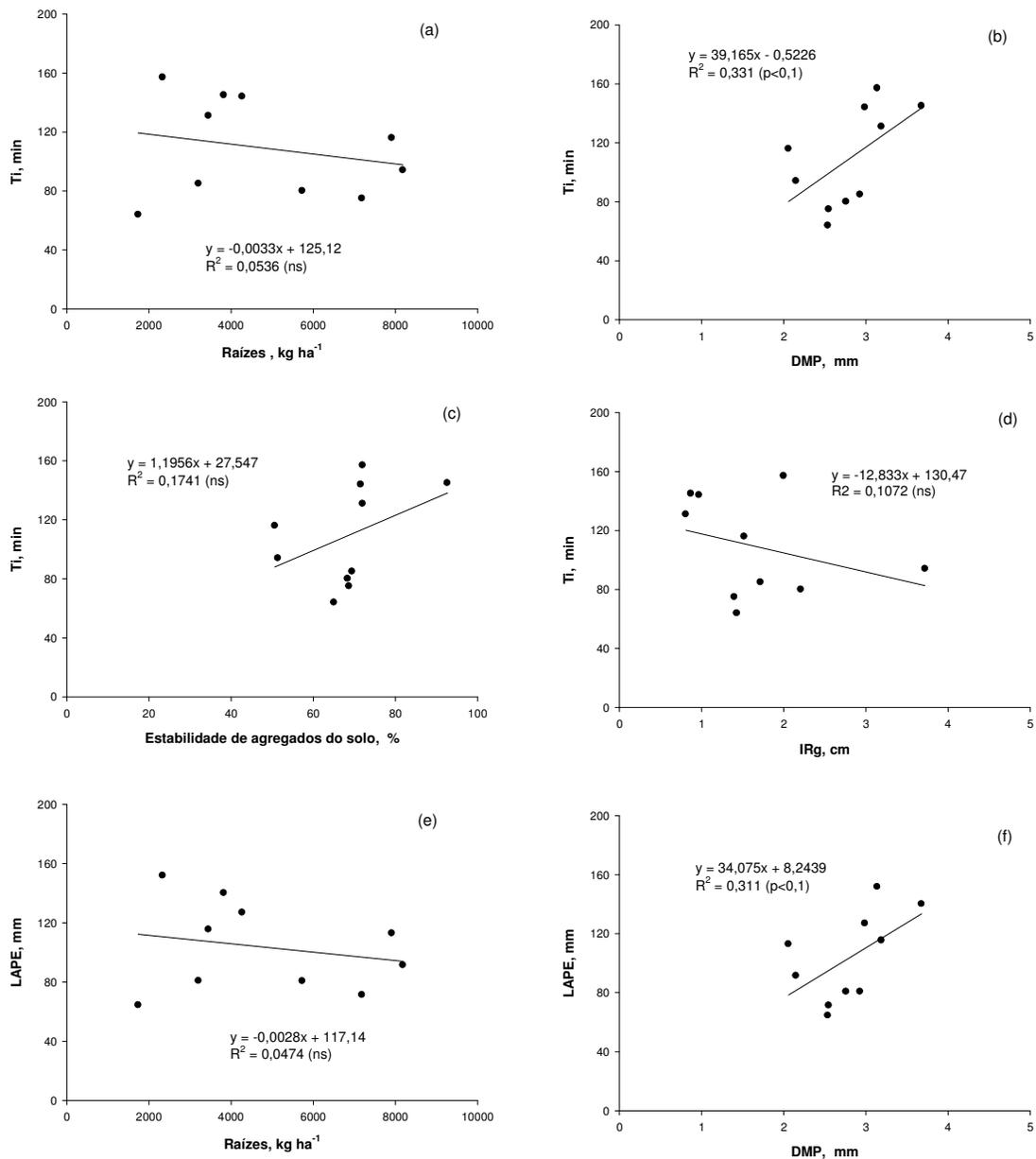


FIGURA 22. Inter-relações variáveis de erosão hídrica-variáveis de manejo do solo (valores obtidos da sua camada de 0-10 cm) associadas ao sexto teste de erosão com chuva simulada (T6=solo recém-gradeado – após T5 -, raízes mortas, 0% de cobertura por resíduo cultural), independentemente das seqüências culturais estudadas (obs: T_i =tempo de início da enxurrada; LAPE=lâmina de água retida no sistema no período pré-enxurrada; PTA=perda total de água; DMP=diâmetro médio ponderado de agregados do solo; IRg=índice de rugosidade georeferenciado; IRs=índice de rugosidade baseado no desvio padrão) – continua

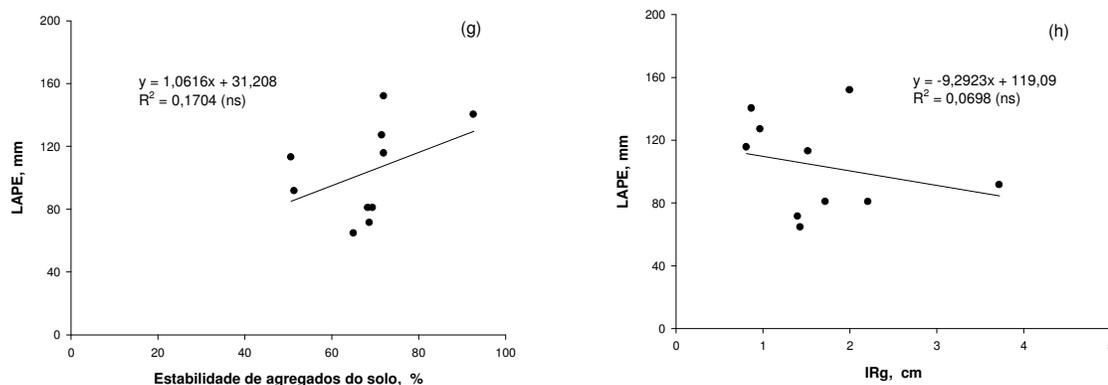


FIGURA 22. continuação.

Quanto às duas inter-relações que resultaram estatisticamente significativas, o seu comportamento se deu na direção certa e esperada, com o tempo de início da enxurrada (T_i) e a lâmina de água retida no sistema no período que o antecedeu (LAPE) ambos aumentando de valor com o aumento do valor do diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água (Figuras 22b e 22f). Entre as inter-relações estatisticamente não-significativas, sinalizaram comportamento certo da variável dependente as de tempo de início da enxurrada (T_i) e da lâmina de água retida no sistema no período que o antecedeu (LAPE) com percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5 mm (Figuras 22c e 22g). Embora sem diferença estatisticamente significativa, mais uma vez chama a atenção, neste teste de erosão, o comportamento inverso nas inter-relações de tempo de início da enxurrada (T_i) e lâmina de água retida no sistema no período que o antecedeu (LAPE) com a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes mortas, as duas primeiras sinalizando diminuir de valor com o aumento do valor desta última (Figuras 22a e 22e), bem como o inter-relacionamento de tempo de início da enxurrada (T_i) com o índice de rugosidade superficial do solo georreferenciado (Figura 22d), o qual também foi sinalizado diminuir de valor com o aumento do valor deste último. Atribui-se estas tendências de comportamento inverso da variável dependente nestas inter-relações a problemas relacionados com a medição dos resultados das variáveis independentes, como referido em outras ocasiões.

4.3.3. Análise sumarizada global dos resultados

Os resultados das variáveis de erosão hídrica do solo consideradas na pesquisa, medidas no escoamento superficial por ocasião da realização dos testes de erosão com chuva simulada, foram apresentados e discutidos nos sub-itens anteriores (4.3.1 e 4.3.2). Neste sub-item, igualmente como se fez com as variáveis de manejo do solo, será feita uma análise sumarizada global dos resultados obtidos, expondo-se o que de mais importante e interessante se julgou ter sido observado na pesquisa em relação a este conjunto de variáveis, conforme será descrito a seguir.

As diferenças mais expressivas nos resultados das variáveis de erosão hídrica do solo medidas no estudo, tanto do ponto de vista estatístico quanto do ponto de vista de aplicação prática, ocorreram com o tempo de início da enxurrada, com a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada e com a perda total de água, causadas tanto pelos tratamentos de seqüência cultural estudados quanto pelas condições físicas momentâneas externas ou de superfície do solo criadas em cada teste de erosão, mas principalmente estas últimas. Estes resultados diretamente se refletiram nas perdas totais observadas de água e solo. Neste sentido, se sobressaíram as seqüências culturais envolvendo teosinto e milho+feijão miúdo (segunda e terceira da lista de tratamentos – Tabelas 15 e 18) como as que, de modo geral, apresentaram os maiores valores de tempo de início da enxurrada e lâmina de água da chuva retida no sistema no período que o antecedeu e os menores de perda total de água e solo, e as primeira e última seqüências culturais da lista de modo contrário, ficando a seqüência cultural envolvendo milheto em posição intermediária, porém mais próxima das primeiras do que das últimas. O mesmo comportamento foi verificado quando se analisou os resultados ajustados de perda total de água e solo. No que se refere às inter-relações com as variáveis de manejo do solo, 50% resultaram estatisticamente significativas, contra 40% nas inter-relações destas últimas e, contrariamente a elas, a maior parte sinalizando resposta coerente da variável dependente à variável independente, independentemente das significâncias estatísticas. As variáveis que resultaram em melhores inter-relações, independentemente de suas significâncias estatísticas, foram as de quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, de diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados do solo em água e de percentagem de estabilidade de agregados do solo em água maiores do que 0,5

mm com o tempo de início da enxurrada, com a lâmina de água da chuva retida no sistema no período pré-enxurrada e com a perda total de água. Desta forma, de modo geral pode-se dizer que os resultados das variáveis de erosão hídrica do solo obtidos na pesquisa corresponderam melhor ao que se esperava do que os resultados das variáveis de manejo do solo por si só, independentemente das suas significâncias estatísticas. Num primeiro momento, isto leva a crer que não há correspondência direta nos resultados da análise estatística com os resultados reais do fenômeno; entretanto, precisa-se de bem mais estudos para comprovar isto, mais prolongados e mais aprimorados.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa variaram em grau maior do que o esperado, o que se refletiu nos resultados das análises estatísticas efetuadas com eles.

Não foi possível saber o quanto da variação reportada acima se deveu a situações próprias da pesquisa, incluindo-se nelas a variação normal observada em trabalhos desta natureza, e o quanto se deveu a problemas relacionados com os resultados das suas medições, tendo em vista que, algumas delas, por circunstâncias, careceram da precisão devida.

Houve consistência nos resultados da análise estatística da variância efetuada com os dados em separado com os da análise estatística de regressão efetuada com os dados inter-relacionados, no que se refere às variáveis de manejo do solo, mas não houve de qualquer um deles com os das inter-relações das variáveis de erosão hídrica com as variáveis de manejo do solo.

Mesmo com a variação ocorrida nos resultados da pesquisa em si e das análises estatísticas, conforme relatado acima, foi possível obter respostas importantes e válidas no estudo, as quais são descritas a seguir.

As seqüências culturais, vez e outra, realmente se diferenciaram de modo estatisticamente significativo, no que se refere tanto às produções de biomassa aérea (dossel) e biomassa subterrânea (raízes), quanto aos valores das variáveis de manejo do solo e erosão hídrica medidas em cada uma delas, mas sem regularidade quanto à ordem de ocorrência das significâncias, tanto nas épocas de avaliação e camadas de solo para o primeiro grupo de variáveis quanto nos testes de erosão para o segundo grupo.

As variáveis de erosão hídrica foram bem mais afetadas pelas condições físicas externas ou superficiais do solo instantaneamente criadas antes da realização de cada teste de erosão, do que pelas condições físicas internas ou

subsuperficiais natural e lentamente causadas pelas seqüências culturais.

A seqüência cultural com teosinto, seguida das com milho+feijão miúdo e milheto, de modo geral foram as que melhor restauraram a estrutura do solo e mais reduziram a erosão hídrica, em que pese todas as seqüências culturais terem sido hábeis e relativamente rápidas na recomposição do solo.

Também de modo geral, mostraram-se indicadores promissores de qualidade física do solo para fins de infiltração de água e redução da erosão hídrica a quantidade de biomassa subterrânea ou raízes, a macroporosidade do solo, o diâmetro médio ponderado de agregados do solo em água e a percentagem de estabilidade em água de agregados do solo maiores do que 0,5 mm.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTON, D.; PADBURY, G. A conceptual framework for soil quality assessment and monitoring. In: ACTON, D. (Ed.). **A program to assess and monitor soil quality in Canada**: Soil quality evaluation program summary. Ottawa : Centre for Land and Biological Resources Research Agriculture Canada, 1993. p. 21-27.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.115-119, 1995.

ALLINSON, F.E. Soil aggregation - Some facts and fallacies as seen by a microbiologist. **Soil Sci.**, 106:136-143, 1968.

ALLMARAS, R.R.; BURWELL, R.E.; HOLT, R.F. Plow-layer porosity and surface roughness from tillage as affected by initial porosity and soil moisture at tillage time. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, n.31, p.550-556, 1967.

ALVES, M.C. **Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo**: Efeitos nas propriedades físicas e químicas. 1992. 173f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1992.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.139-145, 1994.

BADELUCCHI, M. P. **Infiltração de água e perdas por erosão em diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa**. 1997. 137f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: classification and genesis. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R.[Eds]. **Soil physics**. New York : J. Wiley, 1973. p.130-177

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre : Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 96p.

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. 1995. 185f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

BERTOL, I. **Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo, na ausência e na presença de cobertura vegetal por resíduos culturais de trigo**. 1986. 148f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.373-379, 1989.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão hídrica com métodos de preparo do solo na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p.187-192, 1987.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the water table**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194p.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, St. Louis, MO, v.72, p.248-254, 1976.

BRADY, N.C.; WEIL, R.P. **The nature and properties of soils**. New Jersey : Prentice Hall, 2002. 1000p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: 1973. 431p. (Boletim Técnico).

BRUCE, R. R.; LANGDALE, G. W.; DILLARD, A. L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.54, p. 1744-1747, 1990.

BURWELL, R. E.; ALLMARAS, R. R.; AMEMIYA, M. A field measurement of total porosity and surface microrelief of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 27, p. 696-700, 1963.

BURWELL, R. E.; LARSON, W. E. Infiltration as influenced by tillage - induced random roughness and pore space. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 33, p. 449-452, 1969.

CABEDA, M.S.V. Degradação física de solo. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DOS SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1983, Passo Fundo, Rs. **Anais...** Passo Fundo: 1983. p.28-33.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 383-391, 1999.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; VAN LIER, Q.J.; BADELUCCI, M.P. Infiltração de água e perdas de água e solo por erosão influenciadas por diferentes métodos de melhoramento da pastagem nativa gaúcha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.923-931, 1999.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva em solo com cessamento de cultivo, na ausência e na presença de cobertura por resíduo cultural, e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 339-352, 2006.

CASTRO, L.G. **Erosão hídrica relacionada à rugosidade superficial do solo na ausência e na presença de cobertura por resíduos de aveia**. 1998. 120f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

CASTRO, L.G.; COGO, N.P. ; Q.J. Van Lier. Índices de rugosidade superficial e sua correlação com perdas de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 13., 2000, Ilhéus, BA. **Anais...Viçosa, MG: 2000**. 1 CD-ROM.

COGO, N. P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters**. 1981. 346f. Tese (Doutorado) - West Lafayette: Purdue University, 1981.

COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosion and productivity, human life. In: RAFTAN, L. (Ed.). **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. v.1, p.428-431.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Brasília, v.27, p.743-753, 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Science of Society American Journal**, Madison, v. 47, p. 1005-1008, 1983.

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

COGO, N. P.; STRECK, E. V. Surface and subsurface decomposition of a desiccated grass pasture biomass related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.153-164, 2003.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; VOLK L.B.S. Indicadores de qualidade do solo: aspectos relacionados à erosão hídrica pluvial e à mecanização tratorizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto, SP: 2003. CD-ROM.

DAILY, G.C.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M. Ecosystem services supplied by soil. In: DAILY, G. (Ed.). **Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, D.C.: Island Press, 1997. p. 113-132.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy : Soil Science Society of America, 1986. p. 443-461.

- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FLORES, C.A.; FERREIRA, T.N.; CASSOL, E.A.; MONDARDO, A.; SCHWARZ, R.A. Manejo de enxurrada em sistema plantio direto. In: FÓRUM ESTADUAL DE SOLO E ÁGUA, 2005, Porto Alegre. [**Anais**]... Porto Alegre: 2005. 88p.
- DEXTER, A.R. Uniaxial compression of ideal brittle tilths. **Journal of Terramechanics**, Hannover, v.12, p. 3 -14,1975.
- DITZLER, C. Quality and erosion. In: RATTAN, L. **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.1066-1068.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison : Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison : Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49).
- DULEY, F. L. Surface factor affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.4, p.60-64, 1939.
- ELLISON, W.D. Soil erosion studies. **Agronomy Engineering**, Washington, v.28, p.145-147, 197-201, 245-248, 297-300, 349-351, 402-405, 442-444,1947.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006. 306p.
- EMBRAPA. Recomendações gerais do encontro sobre o uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação dos solos no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROÇÃO COM SIMULADOR DE CHUVA, Londrina, 1975. **Resumos**. Londrina: IAPAR, 1975. p. 107-120.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1979.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: 1997. 212p.
- FISHER, R.A.; YATES, F. **Tabelas estatísticas para biologia, medicina e agricultura**. São Paulo: EDUSP, 1971. 150p.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos**: manual de laboratorio. San José, Costa Rica: IICA, 1975. 212p.
- FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: HANN,C.T. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982. p.297-380 (ASAE Monograph, 5)
- FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Mathematical simulation of upland erosion by fundamental erosion mechanics. In: PRODUCTION SEDIMENT-YIELD WORKSHOP, 1972, [Oxford, Miss.] [**Anais...**] : Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Oxford, Miss: 1972. 285 p.
- FOSTER, G. R.; MEYER, L. D. Soil erosion and sedimentation by water – an overview. In: NATIONAL SYMPOSIUM BY WATER, 1977, Illinois. **Proceedings...** St. Joseph: 1977. p.1-13.

- GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 477-484, 2004.
- GRANT, C. A.; LAFOND, G. F. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Edmonton, v.73, p. 223- 232, 1993.
- GREGORICH, E.G. Quality. In: RATTAN, L. **Encyclopedia of soil science**. New York: M. Drecker, 2002. p.1058-1061.
- HARTWIG, R. O.; LAFLEN, J. M. A meterstick method for measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.33, n.2, p.90-91, 1978.
- HATFIELD, J. L. Erosion impacts, on/of site impacts. In: RAFTAN, L. (ed.) **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.422-424.
- HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.4, p.667-676, 1997.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego : Academic Press, 1998. p.309-339.
- HUDSON, N. W. **Soil conservation**. Ames : Iowa State University Press, 1971. 320p.
- HUDSON, N. W. **Soil degradation and civilization**. [S.l.] : National College of Agricultural Engineering. Cranfield Institute of Technology, 1978. 13p. Aula inaugural.
- HUDSON, N.W. **Soil conservation**. 3.ed. Ames : Iowa State University Press, 1995. 391p.
- INGARAMO, O.E. **Indicadores físicos de la degradación del suelo**. 2003. 298f. Tese (Doutorado) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.
- ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v.55, p.69-78, 2000.
- ISLAM, K.R.; WEILL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agricultural Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.79, n.1, p.9-16, 2000.
- KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison : SSSA, 1994. (Special Publication, 35).
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of soil analysis, physical and mineralogical properties, including statistics, measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

- KIEHL, J.E. **Manual de edafologia**. São Paulo, SP : Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- LAFLEN, J. M.; BAKER, J. L.; HARTWIG, R. O.; BUCHELE, W. F.; JOHNSON, H. P. Soil and water loss from conservation tillage system. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.21, p.881-885, 1978.
- LAL, R.; GREENLAND, B.J. **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chichester : J. Willey, 1979. p.7-85.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 1991, Bangkok, Thailand. [**Proceedings...**]: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok: 1991. v.2. (IBSRAM-Proceedings, 12)
- LARSON, W.E.; GILL, W.R. **Soil physical parameters for designing new tillage systems**. In: Conservaion Tillage. Ankeny, Soil Conservation society of America. P. 13 -22, 1973.
- LEVIEN, R. **Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo**. 1988. 168f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- LOPES, P. R. C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo**. 1984. 116f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.
- LOPES, P. R. C.; COGO. N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.71-75, 1987.
- MACEDO, M.C.M., ZIMMER, A.H. Sistema de pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1993, Jaboticabal, SP. **Anais...** Jaboticabal: 1993. p.217-245.
- MANNERING, J. V.; MEYER, L. D.; JOHNSON, C. B. Effect of cropping intensity on erosion and infiltration. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, p. 206-209, 1968.
- McINTYRE, D.S. Permeability measurement of soil crusts formed by raindrop impact. **Soil Science**, Baltimore, v. 85, p. 185-189, 1958.
- MIELNICZUK, J.; SCHNEIDER, P. Aspectos sócio-econômicos do manejo do solo no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL ; SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE SOLOS DO PLANALTO, 3., Passo Fundo, RS: 1983. **Anais...** Passo Fundo, 1984.
- MIRANDA, J. C. C; MIRANDA, L. N. **A importância da micorriza arbuscular para o cultivo da soja na região dos cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 4p (Comunicado Técnico, 75).
- MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C.; PAGE, E.R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.38, p.71-77, 1987.

MORAIS, L.F.B. **Comprimentos críticos de declive para diferentes manejos de resíduos culturais no sistema plantio direto em um solo podzólico da depressão central – RS**. 1999. 162 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

MORAIS, L.F.B; COGO, N. P. Comprimentos críticos de rampa para diferentes manejos de resíduos culturais em sistema de semeadura direta em um argissolo vermelho da depressão central (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.1041-1051, 2001.

MOREIRA, F.M.S.; MOREIRA, J.O.S **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ed.atual e ampl. Lavras:Editora UFLA, p.729, 2006.

MOTA, F. S. Estudo do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema de W. KOEPPEN. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.8, p.107-116, 1961.

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

NOLLA, D.; REINERT, D. J. ; MACHADO, J. A. Efeito de diferentes usos agrícolas do solo sobre a densidade e porosidade em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.19-27, 1986.

NORTON, L.D.; COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C. Effectiveness of mulch in controlling soil erosion. In: EL SWAIFY, S.A.; MOLDENHAUER, W.C.; LO, A. (Eds.). **Soil erosion and conservation**. Ankeny : Soil Conservation Society of America, 1985. 80p.

NUERNFERG, N. J.; STAMMEL, J. G.; CABEDA, M. S. V. Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta Sul-Rio-Grandense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.10, p.185-190, 1986.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 76, n. 1-3, p. 319-249 337, 1984.

PASSOS, R.R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais**. 2000. 89f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

POCH, R.M.; MARTINEZ-CASASNOVA, A. Degradation. In: RAFTAN, L. (Ed.) **Encyclopedia of soil science**. New York: Marcel Dekker, 2002. v.1, p.260-263.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1997. 384p. (Agriculture handbook, 703).

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

SCHWAB, G. O; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. **Soil and water conservation engineering**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 525p.

SCHWARZ, R. A. **Perdas por erosão hídrica em diferentes classes de declividade, sistemas de preparo e níveis de fertilidade do solo na Região das Missões – RS**. 1997. 131f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C.; DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.49, p.422-427, 1985.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola**. 1993. 126f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. **Resource Conservation Glossary**. Ankeny, Iowa, 1982. 193p.

SOUZA, L. S **Caracterização física e fator erodibilidade em solo da unidade de mapeamento São Jerônimo (Paleudult), em diferentes sistemas de Manejo**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p.113, 1976.

SPAIN, J. M. *et al.* Crop pasture rotations in the Brazilian cerrados. *In*: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Planaltina. **Anais...** Planaltina: Embrapa/CPAC, 1996. p.39-45.

STENFERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science**, Stockholm, v.49, p.1-24, 1999.

STOTZKY, G. Microbial respiration. *In*: BLACK, C.A; EVANS, D. D.; ENSMINGER, L. E. *et al.* **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2, p 1550-1572.

STRECK, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M; HORN, R. Relações do parâmetros para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 32, p. 2603-2612, 2008.

STRECK, E. V. **Erosão hídrica do solo relacionada com o subfator uso anterior da terra do modelo "RUSLE"**. 1999. 195f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

STRECK, E. V.; COGO, N. P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction

with RUSLE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 141-152, 2003.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER : UFRGS, 2008. 222p.

STRECK, E.V.; COGO, N.P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with RUSLE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 141-152, 2003.

SWANSON, N. P. A rotating – boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, ST. Joseph, v.26, p 1738 -1743, 1965.

TAYLOR, H.M.; BURNETT, E. 1964. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants. **Soil Science**, Baltimore, v.98, n.3, p.174-80, 1964.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TEIXEIRA, W.G.; SINCLAIR, L.F.; HUWE, B.; SCHROTH, G. Soil water. In: SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. (Eds.) **Trees, crops and soil fertility**. Concepts and research methods. [S.n.t.], 2003. p. 209-234.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Hagerstown, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. ; COSTA, L.M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2., p.196-275.

VEIGA, M.; BASSIL, L.; ROSSO, A. **Degradação do solo e da água**: Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água. 2.ed. Florianópolis : Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994. 384p.

VOLK, L. B. S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultante do seu manejo e identificadores de qualidade para redução da erosão hídrica pluvial e do escoamento superficial**. 2006. 68f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VOLK, L. B. S. **Erosão hídrica relacionada às condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, induzidas por formas de cultivo e de manejo dos resíduos culturais**. 2002. 146f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VOLK, L. B. S. ; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea - estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1713-1722, 2008.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira da Ciência do**

Solo, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

WISCHMEIER, W. H. ; JOHNSON, C. B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.26, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H. Conservation tillage to control water erosion. In: NATIONAL CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE, Ankeny, 1973. **Proceedings...** Ankeny : Soil Conservation Society of America, 1973. p. 133-141.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington : USDA, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537).

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. **Proceedings of Soil Science Society of America**, Madison, v.23, p.246-249, 1959.

WISCHMEIER, W.H. Storms and soil conservation. **Journal of Soil Water Conservation**, Ankeny, v.17, p.55-59, 1962.

WISCHMEIER, W.H.; MANNE, R.J.V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.33,n.1, p131-137,1969.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation**. Washington, D.C. : USDA, 1965. 47p. (Agronomy Handbook, 282).

WRIGHT, S. F., UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, Heidelberg, v.198, p.97-107, 1998.

WRIGHT, S. Glomalin, a manageable soil glue. Disponível em:<http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/12650400/glomalin/brochure.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2008.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society of Agronomy**, Madison, v.28, p.337-357, 1936.

ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B. ; MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil Tillage Research**, St. Louis, v.94, p.510-519, 2007.