

PERFIS DE PRECIPITAÇÃO PARA O ESTADO DO RIO DE JANEIRO E PERDAS DE SOLO E ÁGUA, EM SEROPÉDICA, SOB DIFERENTES PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO

Daniel Fonseca de Carvalho, D.S. – Prof. Associado I – DE/IT/UFRRJ

a) Determinação dos padrões de chuvas erosivas para o Estado do Rio de Janeiro

O trabalho foi desenvolvido para o Estado do Rio de Janeiro, considerando dados pluviográficos de 34 estações, pertencentes ao INMET, SERLA, ANEEL e LIGHT. Para todas elas, os pluviogramas diários foram analisados e, conforme WISHMEIER & SMITH (1958), uma chuva foi considerada independente quando estava separada de outra por no mínimo seis horas, com precipitação inferior a 1 mm, sendo erosiva quando o volume total precipitado era superior a 10 mm ou quando era igual ou superior a seis milímetros em um período máximo de 15 minutos. Para a determinação dos padrões de chuva, todas as chuvas individuais erosivas foram selecionadas, calculando-se a intensidade (mm h^{-1}) e duração (h) de cada segmento do pluviograma com intensidade constante (Cabeda, 1976). A classificação das chuvas em padrões foi realizada o programa CHUVEROS (COGO et al., 2003). As chuvas foram então separadas em: a) padrão avançado (AV), quando a maior intensidade ocorreu no terço inicial do tempo total de duração da chuva; b) padrão intermediário (IN), quando a maior intensidade se verificou no terço intermediário; c) padrão atrasado (AT), quando a maior intensidade se deu no terço final do tempo total de duração da chuva. Em seguida, as chuvas foram totalizadas e foi possível conhecer a porcentual de ocorrência de cada padrão de chuva no Estado.

A Tabela 1 apresenta o resultado das análises realizadas, bem como algumas características das estações pluviográficas. De um total de 16851 eventos de chuva erosiva, foi possível perceber que a maior parte desses são classificados com padrão avançado, seguido dos padrões atrasado e intermediário. Em termos percentuais, em média, os padrões avançado, intermediário e atrasado foram observados em 52,13%, 22,17% e 25,70% do total de chuvas consideradas. Analisando em termos regionais, nas regiões Serrana e Noroeste, foram observados maiores percentuais do padrão avançado (57,35% e 58,67%, respectivamente). Conforme citado anteriormente, é de se esperar que a ocorrência de chuvas com padrão avançado proporcione menos escoamento e arraste de sedimentos do que chuvas com padrões intermediário ou atrasado, considerando as mesmas condições de superfície. Os autores entendem que essas informações são extremamente relevantes para o entendimento do regime pluviométrico no Estado, constituindo numa importante informação para a determinação do processo erosivo utilizando chuva simulada. Além disso, na literatura nacional, os autores não encontraram nenhum trabalho realizado no sentido de caracterizar as chuvas erosivas em um estado ou região, conforme seu padrão.

No. do processo: 301802 / 2003-3

Tabela 1 – Características geográficas e padrões avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado(AT) das 34 estações pluviográficas utilizadas no trabalho.

Nome	Município	Região	Entidade	Lat	Long	Altitude	Padrões			Total
							AV	IN	AT	
Álcalis	Cabo Frio	3	INMET	22° 59'	42° 02'	7,4	81	26	38	145
Angra dos Reis	Angra dos Reis	1	INMET	23° 01'	44° 19'	2	131	59	67	257
Campos	Campos	6	INMET	21° 45'	41° 20'	11	104	46	50	200
Carmo	Carmo	4	INMET	21° 55'	42° 37'	341	40	12	14	66
Cordeiro	Cordeiro	4	INMET	22° 02'	42° 22'	485	158	47	46	251
Ecologia Agrícola	Seropédica	5	INMET	22° 48'	43° 41'	33	138	44	44	226
Ilha Guaíba	Itaguaí	5	INMET	23° 00'	44° 02'	64	136	52	44	232
Itaperuna	Itaperuna	7	INMET	21° 12'	41° 53'	124	115	37	44	196
Macaé	Macaé	6	INMET	22° 21'	41° 48'	4	92	42	55	189
Nova Friburgo	Nova Friburgo	4	INMET	22° 16'	43° 23'	857	100	35	48	183
Pirai	Pirai	1	INMET	22° 38'	43° 54'	388	152	40	39	231
Resende	Resende	1	INMET	22° 29'	44° 28'	440	148	67	50	265
Sta Mª Madalena	Sta MªMadalena	4	INMET	21° 37'	42° 05'	620	113	36	47	196
São Bento	Rio de Janeiro	5	INMET	22° 44'	43° 18'	6	138	45	45	228
Teresópolis	Teresópolis	4	INMET	22° 27'	42° 56'	874	57	25	18	100
Vassouras	Vassouras	2	INMET	22° 20'	43° 40'	437	125	33	35	193
Andorinhas	Magé	5	SERLA	22° 32'	43° 03'	80	593	258	254	1105
Faz. Coqueiro	Cach. de Macacu	3	SERLA	22° 25'	42° 48'	140	476	232	202	910
Faz. Sto Amaro	Cach. de Macacu	3	SERLA	22° 24'	42° 43'	260	545	272	248	1065
Japuiba	Cach.de Macacu	3	SERLA	22° 33'	42° 41'	50	455	174	147	776
Sambaetiba	Itaboraí	5	SERLA	22° 38'	42° 48'	10	433	140	123	696
Xerém	Duque de Caxias	5	SERLA	22° 33'	43° 18'	144	402	193	163	758
Tanguá	Rio Bonito	3	SERLA	22o 42'	42o 42'	40	317	166	148	631
Escola União	Magé	5	SERLA	22o 35'	42o 56'	10	437	246	330	1013
Cach. de Macacu	Cach. de Macacu	3	SERLA	22o 28'	42o 39'	40	384	201	217	802
Posto Garrafão	Magé	5	SERLA	22o 28'	42o 59'	640	451	332	370	1153
Rio Mole	Saquarema	3	SERLA	22o 51'	42o 33'	10	236	139	129	504
Capela Mayrink	R. de Janeiro	5	SERLA	22o 57'	43o 16'	460	324	188	247	759
Manuel Duarte	Rio das Flores	2	ANEEL	22o 05'	43o 33'	400	172	106	345	623
S. Is. do Rio Preto	Valença	1	ANEEL	22o 13'	44o 03'	567	277	180	307	764
Vila Mambucaba	Angra dos Reis	1	ANEEL	23o 01'	44o 31'	6	198	140	331	669
Ilha dos Pombos	Carmo	4	LIGHT	21o 50'	42o 34'	146	186	78	99	363
Santa Cecília	Barra do Pirai	1	LIGHT	22o 28'	43o 50'	371	251	112	130	493
Lajes	Pirai	1	LIGHT	22o 42'	43o 52'	462	317	145	167	629

1- Região Sul; 2-Região Centro-Sul; 3 – Região Baixada litorânea; 4 – Região Serrana; 5 – Região Metropolitana; 6 – Região Norte; 7 – Região Noroeste

A execução deste trabalho permitiu concluir que o padrão de chuva erosiva classificado como avançado predomina em todas as regiões do Estado do Rio de Janeiro, sendo sua ocorrência mais acentuada nas regiões serrana e noroeste.

b) Perdas de solo, água e nutrientes em um Argissolo sob chuva simulada, considerando diferentes padrões de precipitação e condições de cobertura do solo.

b.1 Área em estudo

b.1.1 Localização, preparo e caracterização do terreno

O projeto foi instalado e conduzido em uma área de experimentação e pesquisa da Embrapa Agrobiologia (Terraço), localizada no município de Seropédica, Estado do Rio de Janeiro, cujo solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo com uma declividade média de 9 %, ocupando o terço médio de uma vertente convexa. Toda a área disponível tem aproximadamente 800m² e é localizada ao lado de parcelas experimentais de perda de solo que foram recuperadas recentemente para estudos de erosão hídrica sob chuva natural (Cruz, 2006).

A área experimental que se encontrava inativa por aproximadamente 20 anos, era ocupada por gramíneas (grama batatais e capim colônio) e inicialmente foi preparada com auxílio de um subsolador seguido de um sistema de preparo convencional do solo (uma aração e duas gradagens) realizado no sentido do declive do terreno, com o objetivo de simular pior condição possível em relação ao preparo do solo.

A caracterização dos atributos físicos e químicos do solo, foi realizada a aproximadamente 45 dias após o preparo e, para este levantamento a área foi dividida em 5 blocos de dimensões 4 m x 8 m, totalizando de 160 m². Em cada coletadas duas amostras, objetivando verificar diferenças provocadas pela variabilidade do terreno, e assim definir melhor o delineamento experimental a ser conduzido os ensaios de chuva simulada. O esquema mostrado na Figura 1 ilustra de forma mais clara a divisão da área em blocos, em parcelas e localização dos pontos de amostragem.

Conforme a Figura 1, cada 1 dos 5 blocos ainda foi subdividido em 4 parcelas ou unidades experimentais de 4 m x 2 m, totalizando 20 subparcelas. Nestas subparcelas, foi utilizada uma área útil de 0,80 m² para a realização de testes de chuva utilizando um simulador de chuva pendular.

As amostragens de solo foram realizadas para a determinação da densidade do solo e das partículas, macro e microporosidade e análise de carbono orgânico e matéria orgânica, além de análise granulométrica, estabilidade de agregados e análise química do complexo sortivo. As metodologias de análises para as determinações seguiram recomendações preconizadas por Embrapa (1997) e foram realizadas no laboratório de Física II do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As metodologias de coleta no campo e análises das amostras estão sucintamente comentadas a seguir:

- Densidade do solo – foram coletadas amostras indeformadas de solo com anel volumétrico de dimensões 45 mm de altura e 50 de diâmetro, centrado nos intervalos de profundidade de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm, 10 a 20 e de 20 a 40 cm.
- Densidade das partículas - foram coletadas amostras deformadas de solo utilizando o mesmo procedimento descrito para a densidade do solo. Para a determinação foi utilizado o método do balão volumétrico.

- Porosidade do solo – a macro e microporosidade do solo foram estimadas a partir de amostras indeformadas coletadas com anéis volumétricos de PVC rígido, de dimensões 50 mm de altura e diâmetro, centrados nas profundidades de 7,5 cm e 22,5 cm. Para a determinação da macro e microporosidade nas referidas profundidades, as amostras saturadas foram submetidas a uma sucção de 60 cm de coluna de água em mesa de tensão, além de pesagens e desidratação em estufa a 105 °C.
- Estabilidade de agregados – para a determinação desse parâmetro, amostras de torções inderformados foram coletados em intervalos de profundidades de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm. O método foi o do pré-umedecimento e tamizamento em água.
- Granulometria – foi determinada em dois pontos tomados aleatoriamente dentro da área experimental (160 m²), sendo adotada a média como representativa de toda área. Foram amostradas em quatro profundidades sendo de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e de 20 a 40 cm, e nas análises determinaram-se às frações argila, silte e areia, pelo método da pipeta.

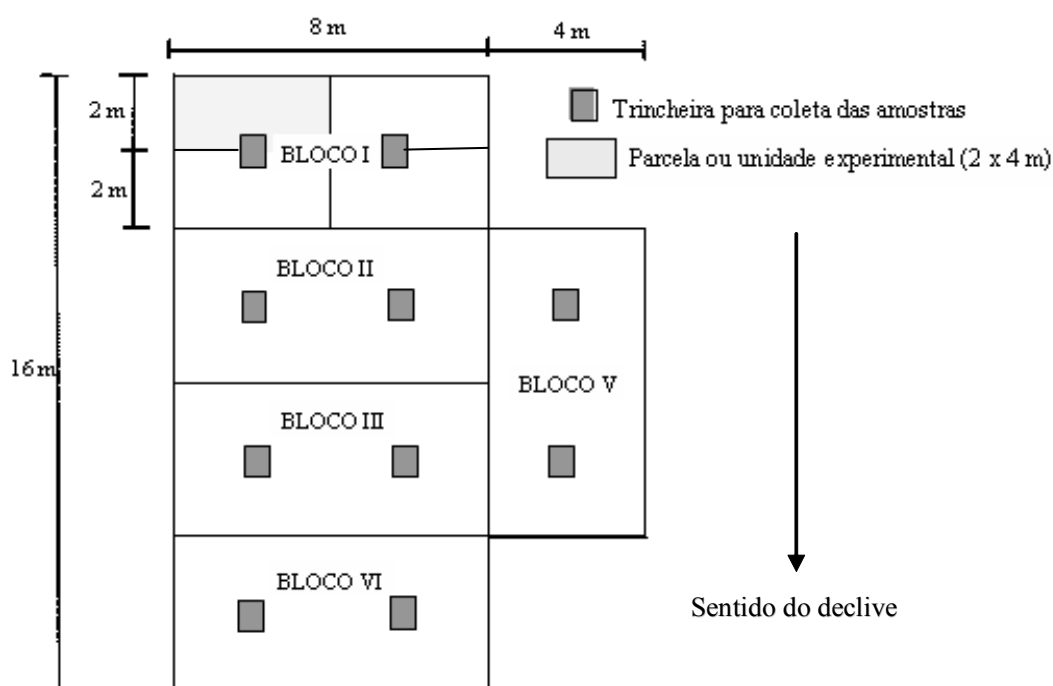


Figura 1 - Esquema da disposição da área experimental no campo.

Quadro 1 - Granulometria do Argissolo Vermelho Amarelo em diferentes.

Profundidade (cm)	Argila* (%)	Silte* (%)	Areia* (%)
0-5	24,08	14,42	61,50
5-10	32,30	6,00	61,70
10-20	37,87	3,81	58,32
20-40	38,90	4,52	56,58

* Média de duas amostras coletada em dois pontos da área.

- Caracterização química do solo – Em cada trincheira foram coletadas amostras da camada de 0 a 5 cm de profundidade, que corresponde a porção do solo mais atingida pela erosão. As características estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Características químicas¹ do solo na profundidade de 0 a 5 cm.

Blocos	pH	Al	Ca	Mg	P	K	C	MO	N
	Em água	---- cmolc	dm ⁻³ ----		----- mg dm ⁻³ ---		----- % -----		
B I	5,55	0,00	3,30	0,70	2,50	36,50	0,97	1,68	0,12
B II	5,70	0,00	2,45	1,85	2,00	58,00	1,25	2,19	0,15
B III	5,65	0,00	2,95	1,85	2,00	69,00	1,37	2,35	0,17
B IV	5,75	0,00	2,95	1,75	4,00	64,00	8,52	1,72	0,19
B V	6,00	0,00	4,00	1,65	4,00	143,50	1,59	2,74	0,17

¹Análises realizadas no Laboratório de solo da Embrapa Agrobiologia.

Com exceção dos dados de granulometria e fertilidade já mostrados, foram feitas análises estáticas das demais variáveis física do solo por meio da análise da variância em delineamento blocos casualizados. Perante os resultados apresentados e discutidos no subtítulo resultados parciais, os tratamentos de chuva simulada a serem adotados, puderam ser distribuídos no delineamento em blocos inteiramente casualizados, pois nenhuma variável do solo mostrou-se diferentes estatisticamente entre os blocos.

No momento da realização dos testes de chuva simulada, em cada parcela procedeu-se uma nova coleta de amostras para determinação da densidade do solo e porosidade, empregando a mesma metodologia citada anteriormente. As análises desse material ainda se encontram em andamento, dessa forma não compõe partes desse relatório, sendo os dados apresentados e discutidos referente somente à primeira caracterização, realizada aproximadamente 45 dias antes da realização dos testes. Outra observação relevante, foi que no momento de início dos testes toda a área foi coberta por uma lona, objetivando eliminar influência de chuvas, de possível ocorrência no período de experimentação de campo, nas propriedades do solo.

b.2. Tratamentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 20 parcelas de 0,8 m². Os tratamentos constituíram da aplicação de 3 padrões de precipitação, classificados como avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) descritos detalhadamente na revisão conforme Mehl (2000), e já empregados por Carvalho et al. (2005) em estudos das precipitações ocorridas na região em estudo. Da mesma forma, para termos de comparação, foi incluído aos testes um padrão constante referente ao quarto tratamento, onde a intensidade de precipitação foi mantida sem variação ao longo do período do teste.

Para a aplicação das chuvas, foi considerada uma precipitação total de 30 mm, que representa aproximadamente a intensidade média dos picos das chuvas ocorridas na região de Seropédica (Carvalho et al., 2005). A duração do evento foi de 60 minutos, na qual a única variação foi decorrente da intensidade de precipitação ao longo da duração, a qual foi ajustada em função dos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT).

O pico de maior intensidade ocorrido em todos os padrões foi igual a 110 mm.h⁻¹, também determinado por Carvalho et al. (2005) para chuvas intensas ocorridas na região. Uma forma mais ilustrativa dos padrões de precipitação utilizados, está apresentada no próximo subtítulo referente à calibração do simulador de chuva.

Foram realizadas duas seqüências de testes de chuva simulada, em duas épocas distintas. Na primeira etapa foi avaliada a influencia dos perfis de precipitação em solo descoberto e preparado no sentido do maior declive do terreno. Na segunda etapa, foi avaliada a influência dos perfis de precipitação em solo coberto com a palhada de milho após o ciclo de cultivo.

Para a realização da segunda etapa dos experimentos, após ter sido concluída a primeira etapa em dezembro de 2005, a área foi plantada com a cultura do milho, em sucros feitos no sentido de preparo ou maior declive do terreno, empregando a espaçamento de 1 m entre linhas e 7 plantas por metro linear. Após o cultivo do milho e posterior colheita, os restos culturais da cultura foram incorporados ao solo, por tombamento, e uma nova bateria de testes de chuva simulada foi realizada seguindo a mesma metodologia empregada em solo descoberto, a fim de se avaliar a influência da cobertura morta da palhada de milho e os padrões de precipitação nas perdas de solo, água e nutrientes do solo, conforme especificado no cronograma.

Como face de monitoramento, a caracterização física do solo também será realizada antes da realização da segunda etapa de testes, logo após a colheita e tombamento dos restos culturais, seguindo a mesma metodologia empregada anteriormente na primeira etapa de testes.

b.3. Simulação das chuvas de acordo os padrões de precipitação

b.3.1. Calibração do simulador de chuva.

No intuito de avaliar a influência do perfil de precipitação nas perdas de solo, água e nutrientes do solo foram aplicadas chuvas simuladas com padrões de precipitações de ocorrência característica da região de Seropédica em relação à intensidade e duração, utilizando um simulador de chuva portátil, similar ao descrito por Meyer & Harmon (1979), o qual pertence ao Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia da UFRRJ.

Este aparelho permite a variação da intensidade de precipitação sem que haja variação da pressão e do diâmetro das gotas durante a realização do teste, por meio de dispositivo eletrônico (relógio controlador de tempo por ciclo (s)) que controla a velocidade e condições de movimentação do eixo onde estão fixados os bocais (Montebeller et al., 2001). Isto é uma característica desejável num simulador de chuva pois, não ocasiona a variação da energia cinética da chuva simulada e permite a simulação dos padrões de chuva adequadamente.

Devido à necessidade de utilização de diferentes intensidades para simular adequadamente os padrões de chuva, foi feita uma calibração do simulador seguindo sugestões de Montebeller et al. (2001). De acordo equipamento de regulação do aparelho, o comandado é feito por um relógio de tempo\ciclo integrados, pelo qual o controle da intensidade de aplicação da chuva ou precipitação é dado em função do número de ciclos ou oscilações do pêndulo por unidade de tempo (em segundos) indicado no relógio controlador.

Para a regulação do simulador, foram simuladas 5 chuvas de intensidade constante com duração de 5 minutos, para cada tempo\ciclo indicado no painel de controle do aparelho,

onde a intensidade de precipitação foi determinada em função do tempo de movimentação do pêndulo do simulador e o volume coletado em uma área amostral definida pelas dimensões de uma calha coletora de 0,80 m².

A calha que possui um dispositivo do tipo funil, foi posicionada a uma altura de 2,80 m dos bicos fixados no pêndulo do simulador e, de modo a permitir a coleta da água escoada. Foram testados tempos desde 0,5 segundos até 13 segundos, conforme indicados no relógio controlador do aparelho, e a média dos volumes coletados nas 5 chuvas em cada tempo, foram transformados para mm h⁻¹ e plotados em uma curva de calibração entre a intensidade de precipitação e Tempo\ciclo, mostrada a seguir (Figura 2). A equação de regressão foi utilizada para estimar o valor do tempo a ser acionado no relógio de ciclo do aparelho para se obter a intensidade de precipitação desejada para cada patamar que compôs os padrão de precipitação a ser testado no campo. É importante salientar que a curva apresentou um coeficiente de 99,93 % para a calibração do aparelho, que corresponde um excelente ajuste entre as variáveis.

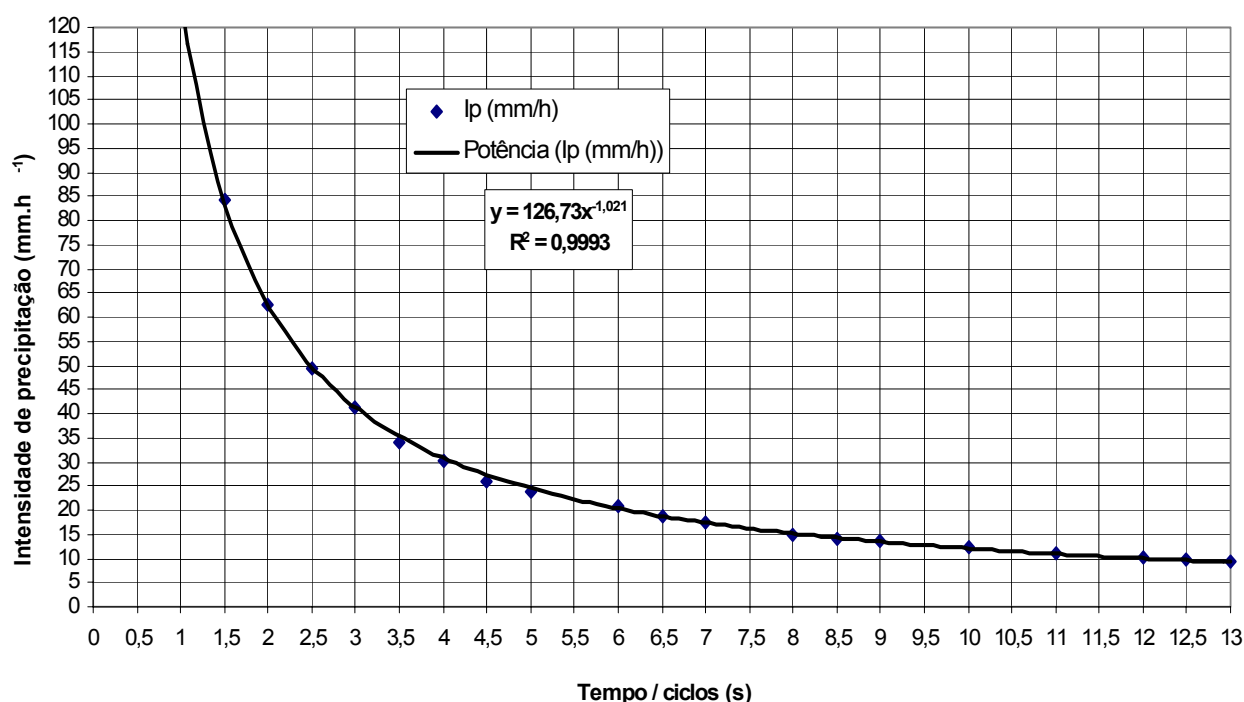


Figura 2 – Regulagem do relógio de ciclos do simulador de chuva em função da intensidade de precipitação.

b.3.2. Ajuste dos perfis de precipitação

Em virtude da necessidade de simular adequadamente os padrões de precipitação, variando a intensidade durante a ocorrência da chuva, o tempo de duração das precipitações foi fragmentado em intervalos menores, ajustando a intensidade para cada intervalo de forma a totalizar, no final do teste, a lâmina a ser aplicada. Portanto, a fim de caracterizar cada padrão de chuva estudado, as intensidades de precipitação no decorrer do tempo de duração foram discretizadas, sendo ajustadas de modo a manter a lâmina total precipitada.

De forma mais bem ilustrada, são apresentados nas Tabelas de 1 a 4 e nas Figuras de 3 a 6 os ajustes do simulador, de acordo com os padrões AV, IN, AT e CT. Estão também apresentadas as intensidades de precipitação, os valores de entrada no painel do relógio

controlador do aparelho, tempo de duração e lâmina de precipitação para cada intervalo ou patamar que compõe a chuva e lâmina total precipitada.

Tabela 1. Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação avançado (AV).

Intensidade de Precipitação	Valor do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm/h	Tempo/ciclo	-----	Min -----	-- mm --	-- mm --
10	12,03	2	0 - 2	0,33	0,33
30 *	4,10	2	2 - 4	1,00	1,33
60	2,08	2	4 - 6	2,00	3,33
90	1,40	2	6 - 8	3,00	6,33
110	1,15	4	8 - 12	7,33	13,67
90	1,40	2	12 - 14	3,00	16,67
60	2,08	2	14 - 16	2,00	18,67
30 **	4,10	2	16 - 18	1,00	19,67
25	4,90	4	18 - 22	1,67	21,33
20	6,10	8	22 - 30	2,67	24,00
15	8,09	12	30 - 42	3,00	27,00
10	12,03	18	42 - 60	3,00	30,00

*Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

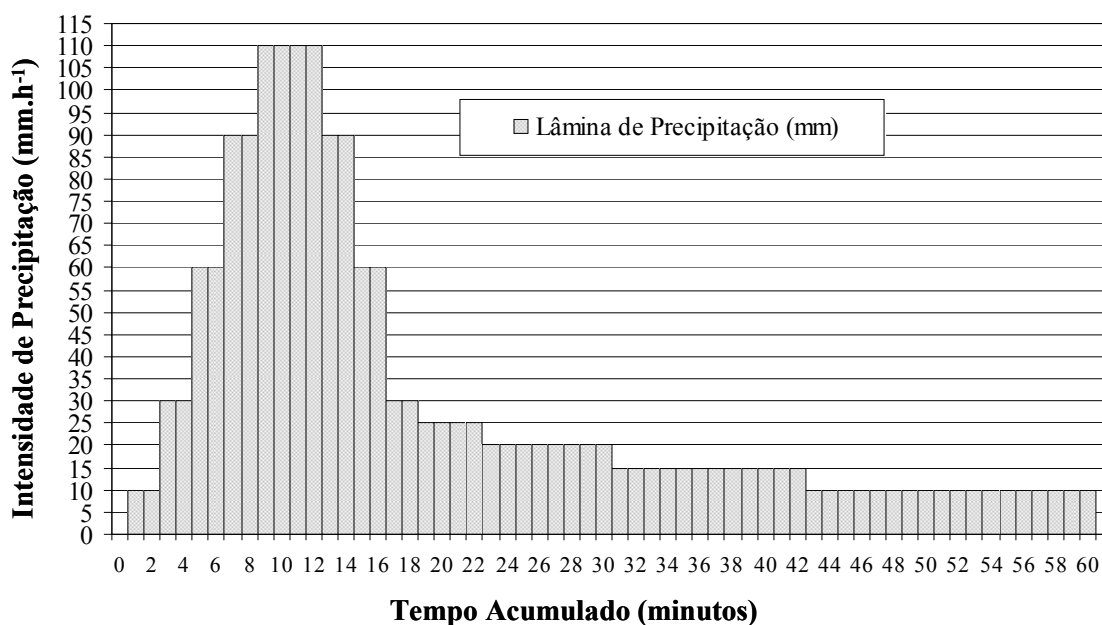


Figura 7. Representação gráfica do padrão de precipitação avançado (AV).

Tabela 2 - Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação intermediário (IN).

Intensidade de Precipitação	Valore do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
10	12,03	10	0 - 10	1,67	1,67
15	8,09	6	10 - 16	1,50	3,17
20	6,10	4	16 - 20	1,33	4,50
25	4,90	2	20 - 22	0,83	5,33
30 *	4,10	2	22 - 24	1,00	6,33
60	2,08	2	24 - 26	2,00	8,33
90	1,40	2	26 - 28	3,00	11,33
110	1,15	4	28 - 32	7,33	18,67
90	1,40	2	32 - 34	3,00	21,67
60	2,08	2	34 - 36	2,00	23,67
30 **	4,10	2	36 - 38	1,00	24,67
25	4,90	2	38 - 40	0,83	25,50
20	6,10	4	40 - 44	1,33	26,83
15	8,09	6	44 - 50	1,50	28,33
10	12,03	10	50 - 60	1,67	30,00

*Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

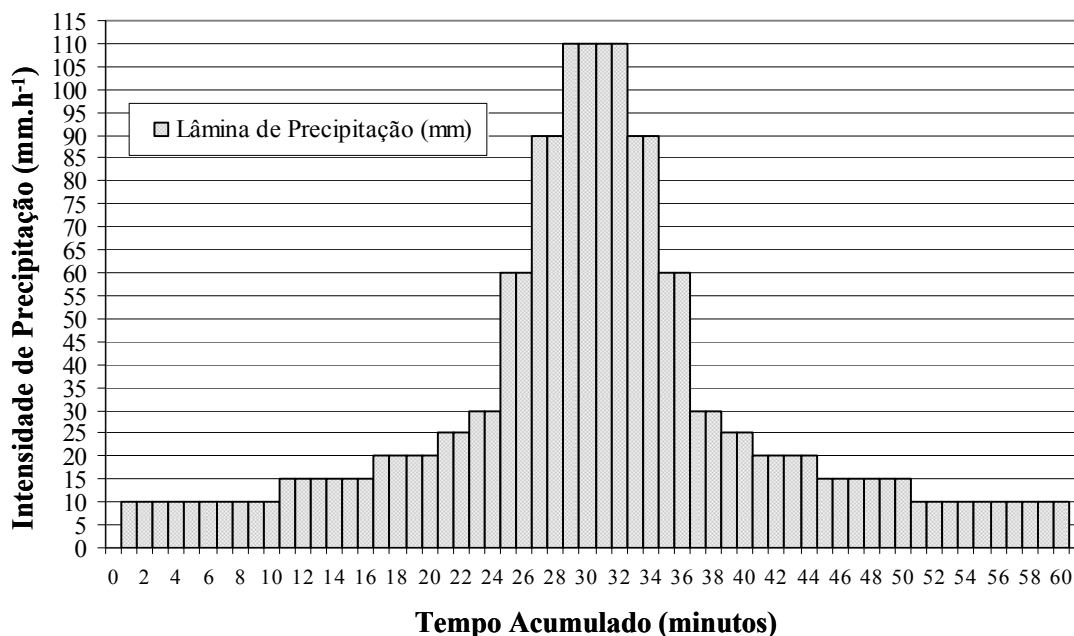


Figura 8. Representação gráfica do padrão de precipitação intermediário (IN).

Tabela 3 - Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação atrasado (AT).

Intensidade de Precipitação	Valore do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm/h	Tempo/ciclo	----- Min -----		mm	mm/h
10	12,03	18	0 - 18	3,00	3,00
15	8,09	12	18 - 30	3,00	6,00
20	6,10	8	30 - 38	2,67	8,67
25	4,90	4	38 - 42	1,67	10,33
30 *	4,10	2	42 - 44	1,00	11,33
60	2,08	2	44 - 46	2,00	13,33
90	1,40	2	46 - 48	3,00	16,33
110	1,15	4	48 - 52	7,33	23,67
90	1,40	2	52 - 54	3,00	26,67
60	2,08	2	54 - 56	2,00	28,67
30 * *	4,10	2	56 - 58	1,00	29,67
10	12,03	2	58 - 60	0,33	30,00

* Início e ** final do pico de maior intensidade de precipitação.

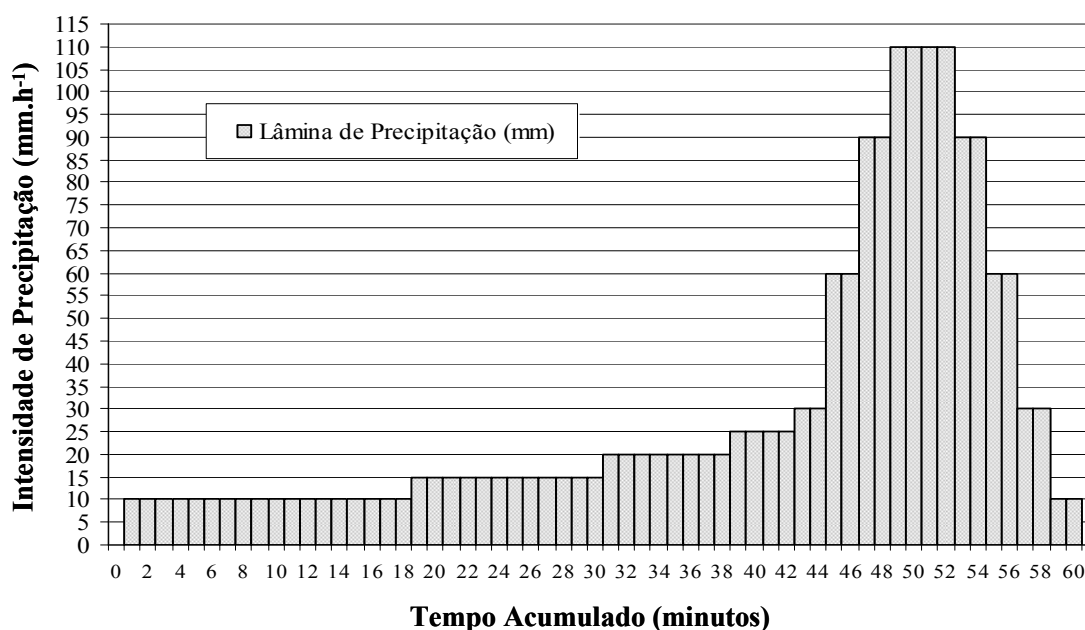


Figura 9. Representação gráfica do padrão de precipitação atrasado (AT).

Tabela 4 - Intensidade de precipitação, valor de entrada no painel de controle do simulador, tempo de duração da lâmina de aplicação e precipitação acumulada para o padrão de precipitação constante (CT).

Intensidade de Precipitação	Valore do Painel	Tempo de duração	Tempo Acumulado	Precipitação	Precipitação Acumulada (Lâmina)
mm/h	Tempo/ciclo	----- Min	-----	mm	Mm/h
30	4,10	60	0 - 60	30,00	30,00

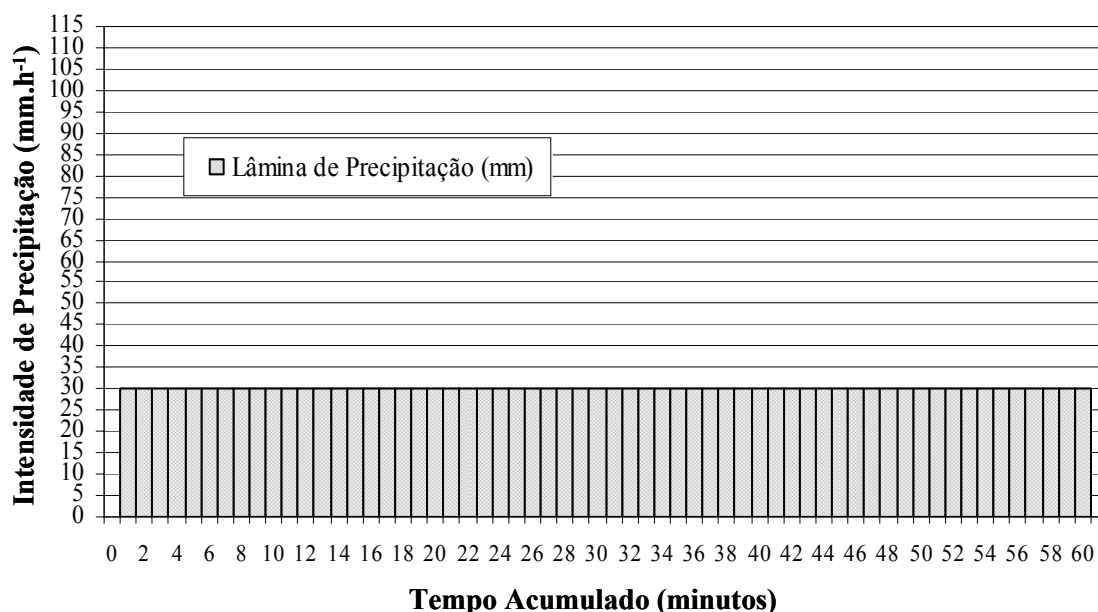


Figura 10. Representação gráfica do padrão de precipitação constante (CT).

b.4 Fase de Experimentação em Campo

A fase de experimentação em campo ocorreu em duas etapas: na primeira foi avaliada a influência dos padrões de precipitação nas perdas ocorridas no solo em condições similares às de pós-plantio, em sistema convencional (solo sem cobertura morta); na segunda, os testes foram realizados 30 dias após a colheita de milho, com o solo coberto por restos culturais (solo com cobertura morta).

b.4.1 Coleta da enxurrada para a avaliação das perdas

Conforme Varella (1999), antes de se iniciar os testes e a coleta dos dados de escoamento, as parcelas sofreram um pré-molhamento, com o objetivo de oferecer condições uniformes de umidade. Para tal, o relógio de ciclos do simulador foi regulado para aplicar uma intensidade de chuva de 110 mm.h⁻¹, durante um tempo suficiente para saturar o solo sem que houvesse escoamento superficial. Após o pré-molhamento das parcelas, o equipamento ficou desligado por 10 minutos, a fim de permitir uma distribuição de água no perfil e a estabilização da umidade na camada superficial do solo. Para isso, antes de cada teste, era realizada uma coleta de solo em diferentes profundidades para a determinação da umidade do solo. Para não provocar perturbação da camada de superficial de solo dentro da área amostral

(0,80 m²), essa coleta de solo foi efetuada ao lado de cada parcela, fora da área delimitada pelas chapas de aço. Também, em cada parcela, foram anotados os tempos de início do escoamento superficial, os quais foram submetidos posteriormente à análise da variância.

Para cada tratamento especificado, as amostras da enxurrada foram coletadas em recipientes de 1 litro, num intervalo de tempo de 2 minutos. Caso o recipiente atingisse sua capacidade máxima antes de terminar o tempo de coleta estabelecido, o mesmo era imediatamente substituído por outro, continuando assim a amostragem.

Nas Tabelas de 6 a 9 estão caracterizados os intervalos de coleta, os pontos de alteração na intensidade de precipitação (Ip) e número de coleta que foram realizadas em cada teste.

Tabela 6. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de chuva avançado (AV).

Tempo de coleta Min	Pontos de alteração na Ip	Amostragens	Pontos ou Intervalos de coleta
2:00	00:00 a 02:00	1	00:00 a 02:00
	02:00 a 04:00	2	02:00 a 04:00
	04:00 a 06:00	3	04:00 a 06:00
	06:00 a 08:00	4	06:00 a 08:00
	08:00 a 12:00	5	09:00 a 11:00
	12:00 a 14:00	6	12:00 a 14:00
	14:00 a 16:00	7	14:00 a 16:00
	16:00 a 18:00	8	16:00 a 18:00
	18:00 a 22:00	9	19:00 a 21:00
	22:00 a 30:00	10	23:00 a 25:00
		11	27:00 a 29:00
	30:00 a 42:00	12	32:00 a 34:00
		13	38:00 a 40:00
	42:00 a 60:00	14	46:00 a 48:00
		15	55:00 a 57:00

Tabela 7. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de chuva intermediário (IN).

Tempo de coleta min	Pontos de alteração na IP	Amostragens	Pontos ou Intervalos de coleta
2:00	0:00 a 10:00	1	01:00 a 03:00
		2	07:00 a 09:00
	10:00 a 16:00	3	10:00 a 12:00
		4	13:00 a 15:00
	16:00 a 20:00	5	17:00 a 19:00
		6	20:00 a 22:00
	20:00 a 22:00	7	22:00 a 24:00
		8	24:00 a 26:00
	22:00 a 24:00	9	26:00 a 28:00
		10	29:00 a 31:00
	24:00 a 26:00	11	32:00 a 34:00
		12	34:00 a 36:00
	26:00 a 28:00	13	36:00 a 38:00
		14	38:00 a 40:00
	28:00 a 32:00	15	41:00 a 43:00
		16	44:00 a 46:00
	32:00 a 34:00	17	48:00 a 50:00
		18	51:00 a 53:00
	34:00 a 36:00	19	57:00 a 59:00
19			

Tabela 8. Tempo de coleta da enxurrada, pontos de alteração na Ip, amostragens realizadas para o padrão de chuva atrasado (AT).

Tempo de coleta min	Pontos de alteração na Ip	Amostragens	Pontos ou Intervalos de coleta
2:00	0:00 a 18:00	1	04:00 a 06:00
		2	13:00 a 15:00
	18:00 a 30:00	3	21:00 a 23:00
		4	26:00 a 28:00
	30:00 a 38:00	5	31:00 a 33:00
		6	35:00 a 37:00
	38:00 a 42:00	7	39:00 a 41:00
		8	42:00 a 44:00
	42:00 a 44:00	9	44:00 a 46:00
		10	46:00 a 48:00
	44:00 a 46:00	11	49:00 a 51:00
		12	52:00 a 54:00
	46:00 a 48:00	13	54:00 a 56:00
		14	56:00 a 58:00
	48:00 a 52:00	15	58:00 a 60:00
15			

Tabela 9. Tempo de coleta da enxurrada, amostragens e intervalos de coletas realizadas para o padrão de chuva constante (CT).

Tempo de coleta Min	Amostragens	Pontos ou Intervalos de coleta
2:00	1	02:00 a 04:00
	2	06:00 a 08:00
	3	12:00 a 14:00
	4	16:00 a 18:00
	5	22:00 a 24:00
	6	26:00 a 28:00
	7	32:00 a 34:00
	8	36:00 a 38:00
	9	42:00 a 44:00
	10	46:00 a 48:00
	11	52:00 a 54:00
	12	56:00 a 58:00

b.4.2 Avaliação das perdas de solo, água e nutrientes

No final de cada teste as amostras das enxurradas coletadas no campo foram imediatamente agrupadas e encaminhadas ao laboratório, de onde foram retiradas pequenas alíquotas proporcionais ao volume escoado em cada recipiente. Os potes contendo as amostras das enxurradas foram colocados em congelador até que a etapa de campo fosse concluída. Após o término desta fase, as amostras foram analisadas no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia, possibilitando a determinação dos conteúdos totais de P, Ca, Mg e K (mg L^{-1}) por digestão nítrico-perclórica. Para as análises, 20 mL da suspensão da enxurrada foram pipetadas para tubos de digestão e evaporados até 5 mL em blocos de digestão. A solução resultante sofreu ataque com uma mistura de HNO_3 e HClO_4 , conforme preconizado por Tedesco et al. (1997). Neste extrato, foram determinados teores de P e K total, por fotometria de chama, e Ca e Mg total, por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio total na suspensão da enxurrada foi determinado em 20 mL de enxurrada após a digestão sulfúrica (Embrapa, 1997). As perdas totais de nutrientes na água da enxurrada, expressos em g m^{-2} , foram calculadas pelo produto das concentrações dos elementos na enxurrada pelo volume de água escoada por unidade de área.

Para a obtenção das massas de solo e água perdidos na enxurrada, a suspensão de cada garrafa, correspondente a cada tempo de coleta, foi integralmente transferida para recipientes de vidro com massa conhecida. Posteriormente, foram determinadas as massas dos recipientes com a enxurrada em balança de precisão e levados para a estufa de circulação forçada a 60°C , até atingirem massa constante. Para obtenção da massa de água, foi subtraída da massa total da enxurrada de cada amostra (já descontada a tara do recipiente) a massa de sólidos (g) presente após a evaporação em estufa. A massa de solo foi obtida pela pesagem direta de cada recipiente após evaporação da água em estufa. As formulas empregadas estão descritas abaixo:

$$P_A = (P_T - P_R) - P_S \quad (1)$$

$$P_S = (P_{R+S} - P_R) \quad (2)$$

em que,

- P_A - Peso de água da amostra, em g;
- P_T - Peso total da amostra (água + solo + recipiente), em g;
- P_R - Peso do recipiente de vidro, em g;
- P_S - Peso de solo da amostra seco em estufa a 60 °C, em g; e
- P_{R+S} - Peso do recipiente mais solo seco em estufa a 60 °C;

Os valores obtidos foram extrapolados para o volume total da enxurrada coletada em cada parcela. Dessa forma, foram quantificados as massas de solo e de água perdidos pelo escoamento superficial em cada evento de chuva. Os valores da massa de solo e água correspondente a dois minutos de coleta, foram utilizados no cálculo das taxas de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e das taxas de perda de água (mm h^{-1}).

As perdas acumuladas foram calculadas para cada intervalo ou patamar em que ocorreu escoamento, ao multiplicar os valores das taxas de perda de solo e água pelo tempo de duração do intervalo de influência de cada amostragem (em horas)

Para determinação da concentração de nutrientes nos sedimentos, as massas de solo das repetições de cada padrão de precipitação obtidas da secagem da enxurrada, foram misturadas e posteriormente submetidas à análises químicas de nutrientes totais (mg kg^{-1}), empregando a mesma metodologia utilizada para a enxurrada (digestão nítrico-perclórica). Para a análise, foi utilizada 1 g de solo. As perdas totais de nutrientes nos sedimentos (g m^{-2}), foram calculadas pelo produto das concentrações dos elementos nos sedimentos pela massa total perdida por unidade de área.

b.5. Resultados e discussão

b.5.1. Avaliações das Perdas de Água e Solo

Na Tabela 10 são apresentados os valores de perdas acumuladas de solo (g m^{-2}) e de água (L m^{-2}) para cada evento de precipitação, em função do padrão de precipitação e na presença ou ausência de cobertura do solo. É possível notar que em algumas parcelas não foi observado escoamento superficial, fato ocorrido, provavelmente, em virtude da variabilidade espacial na área, tendo em vista que esse comportamento foi observado tanto em parcelas experimentais em solo nu (padrão CT), como para o solo com cobertura morta (padrões CT e AV). No solo com cobertura, a não ocorrência de escoamento pode ser atribuída tanto à diferenças pontuais das características do terreno da parcela como também ao próprio efeito da cobertura sobre o solo.

A grande variabilidade dos dados de perda entre as repetições de um mesmo tratamento pode ser explicada pela ocorrência de variabilidades pontuais do terreno nas parcelas experimentais, já que esta possuiu somente $0,8 \text{ m}^2$. Grego & Vieira (2005) ressaltam que, mesmo em parcelas experimentais pequenas, o tamanho não determina seu grau de homogeneidade das características, sugerindo que se analise a variabilidade espacial das propriedades do solo em conjunto, antes de adotar um delineamento experimental. Silveira et al. (2000), também observou que o solo sem cobertura apresentou grandes variações na perda de solo, atribuindo o fato a área ter permanecido em pousio, sem nenhum preparo por 6 meses.

Prevedello et al. (2002) comentam que muitos dos parâmetros hidráulicos do solo em condições de campo são difíceis de serem obtidos em virtude da grande variabilidade a que estão sujeitos. Por outro lado, Macedo et al. (1998) concluíram que as características físicas de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total possuem baixa variabilidade

e que esta, em geral, cresce com o aumento da distância de coleta dos pontos amostrais. Vale salientar que antes da instalação dos experimentos a campo, foi realizada uma caracterização física do solo, com o objetivo de definir o delineamento a ser conduzido os experimentos.

Analisando os dados da Tabela 14, pode-se constatar que as perdas acumuladas de água não apresentaram diferenças significativas, frente aos padrões de precipitação, tanto no solo sem cobertura como no solo coberto com resíduos cultural de milho. Entretanto, as perdas acumuladas de solo para os padrões de precipitação AV, IN e AT mostraram ser superiores ao padrão constante no solo sem cobertura morta. Nota-se que as condições de cobertura do solo, afetaram significativamente as perdas de solo.

Tabela 10. Perdas acumuladas de solo e água para quatro padrões de precipitação em razão das diferentes condições de cobertura do solo.

Padrões de Precipitação	Repetição	Perda Acumulada de Solo (g m ⁻²)		Perda Acumulada de Água (L m ⁻²)	
		Solo nu	Solo coberto	Solo nu	Solo coberto
Avançado	1	3,05	2,47	1,38	1,13
	2	4,90	4,20	9,17	4,39
	3	16,19	2,12	8,11	1,44
	4	19,02	2,08	0,98	1,17
	5	2,65	0,00	0,66	0,00
	Média	9,2 ABa	2,2 Ab	4,06 Aa	1,63 Aa
Intermediário	1	11,20	2,57	7,68	2,17
	2	15,70	2,00	1,29	3,65
	3	19,63	0,16	4,07	0,08
	4	9,70	0,24	2,68	0,42
	5	6,48	3,59	8,17	3,77
	Média	12,5 Aa	1,7 Ab	4,78 Aa	2,02 Aa
Atrasado	1	14,04	1,51	3,06	1,56
	2	6,32	1,68	1,24	1,04
	3	23,31	3,05	4,76	4,43
	4	2,87	0,21	10,29	0,25
	5	6,23	1,65	1,12	3,91
	Média	10,6 ABa	1,6 Ab	4,06 Aa	2,02 Aa
Constante	1	10,16	0,00	0,69	0,00
	2	7,65	0,00	8,99	0,00
	3	1,50	0,00	6,07	0,00
	4	0,00	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00
	Média	3,9 Ba	-	3,15 Aa	-

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si por tukey a 5%.

Para o solo sem cobertura, a perda máxima de solo observada foi 12,5 g m⁻², correspondente ao padrão de chuva IN. Para os demais padrões, o AV, AT e CT, as perdas foram de 9,2 g m⁻², 10,6 g m⁻² e 3,9 g m⁻², respectivamente. Comportamento semelhante foi observado nas perdas de água. Em média, o padrão CT apresentou uma lâmina de escoamento de 3,15 L m⁻², após 1 h de precipitação, mostrando ser inferior aos padrões AV, IN e AT em cerca de 23%, 34% e 23%, respectivamente. O padrão IN apresentou perda de solo estatisticamente superior ao padrão CT, não diferindo, entretanto, dos demais.

Os padrões de precipitação AV, IN e AT proporcionaram maiores valores de perda de solo e água do que o padrão CT que, por sua vez, não proporcionou perdas de solo e água na condição de solo com cobertura. Apesar das diferenças observadas, as perdas de água não foram estatisticamente diferentes entres os padrões de chuva, quando aplicados em solo sem cobertura. Nota-se que as perdas acumuladas de solo refletiram de forma mais acentuada as diferenças existentes entre os padrões de precipitação do que para as perdas acumuladas de água. Estes resultados estão de acordo com Beutler et al.(2003), que concluíram que as perdas de solo são mais afetadas pelo sistema de preparo e cultivo do que as perdas de água.

A cobertura do solo eliminou totalmente as perdas para o padrão CT. Este fato confirma a hipótese que o padrão de chuva CT, extensamente empregado em estudos de erosão hídrica no Brasil, não retrata de forma coerente os processos erosivos influenciados pelo padrão natural das chuvas. Os mesmos resultados são citados por Mehl (2000).

Observa-se ainda na Tabela 14, que a presença de resíduos culturais contribui para uma diminuição média das perdas acumuladas de solo de 76%; 86% e 84% para os padrões AV, IN e AT, respectivamente. Com relação à redução das perdas acumuladas de água, os valores médios observados foram de 60%; 58% e 45%, respectivamente para os mesmos padrões. Para o padrão constante, esta redução chegou a 100 %. Esses resultados mostram que a cobertura do solo reduz de forma mais eficiente às perdas de solo quando comparada à redução nas perdas de água, corroborando com Silva et al. (1986), Hernani et al. (1997), Carvalho et al. (2003) e Silva et al. (2005d).

Segundo Reichert et al, (2001), o solo preparado convencionalmente e desprovido de cobertura é mais susceptível ao selamento superficial, o que diminui a infiltração da água no solo e aumenta a lâmina de escoamento. Isto pode explicar o fato encontrado neste trabalho em relação as maiores perdas observadas no solo sem cobertura morta. Da mesma forma, Alves et al. (1995) concluíram que as perdas de solo e água aumentaram significativamente ao longo do tempo, paralelamente a redução da cobertura morta do solo.

Carvalho et al. (2002), estudando as perdas de solo e água em um Argissolo roçado, verificaram que após 35 minutos, uma chuva de energia cinética igual a 138 J m^{-2} , correspondendo a uma intensidade de precipitação constante de 30 mm h^{-1} , provocaram perdas de solo e água na ordem de $2,86 \text{ g m}^{-2}$ e $0,00221 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($2,21 \text{ L m}^{-2}$), respectivamente. Observa-se que as perdas ocorridas neste trabalho para o padrão CT, em solo sem cobertura, estão em concordância aos apresentados por Cavalho et al. (2002).

Aplicando uma chuva de 55 mm h^{-1} em um Argissolo sob diferentes condições de cobertura e preparo, após 35 minutos de chuva, Carvalho et al. (2003) verificaram perdas de solo e água em torno de $7,7 \text{ g m}^{-2}$, $41,0 \text{ g m}^{-2}$ e $0,00504 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($5,04 \text{ L m}^{-2}$), $0,00949 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($9,49 \text{ L m}^{-2}$), respectivamente, para o solo arado e gradeado e com ou sem cobertura morta. Os resultados mostrados pelos autores, tanto para o solo nu como para o solo com cobertura, são bem superiores aos apresentados neste trabalho. Uma possível explicação para isto é que, além do fato da maior intensidade de precipitação aplicada, a área experimental foi preparada pouco tempo antes da realização dos testes, o que pode ter contribuído para formação de sulcos preferenciais ao escoamento, e com isto ter provocado maiores perdas. Outra possível explicação, é que a intensidade de 55 mm h^{-1} pode ter sido maior que a taxa de infiltração estável de água no solo, favorecendo um rápido acúmulo de água na superfície e, sem seguida, o aumento da lâmina de escoamento superficial e maiores perdas. Da mesma forma, Silva et al. (2005b) estudando atributos físicos, químicos e erosão hídrica em um Latossolo, submetido a uma chuva constante de 60 mm.h^{-1} , verificaram perdas de solo na ordem de $7,5 \text{ g m}^{-2}$, $1,96 \text{ g m}^{-2}$ e de água na ordem de $5,45 \text{ L m}^{-2}$, $6,62 \text{ L m}^{-2}$, respectivamente, para os sistemas de sucessão milho-pousio em preparo convencional do solo e sucessão milho-pousio em plantio direto.

Nas Figuras 11 e 12 estão apresentadas, respectivamente, as perdas acumuladas de solo e água, no solo sem cobertura, em função dos padrões de precipitação.

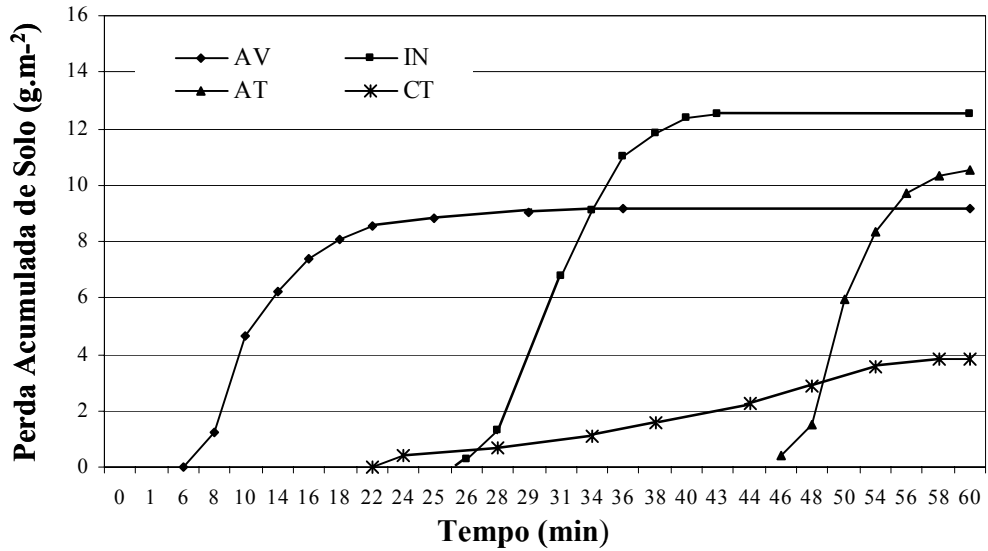


Figura 11. Perda acumulada de solo (g m^{-2}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) durante o tempo de duração da chuva em solo sem cobertura morta.

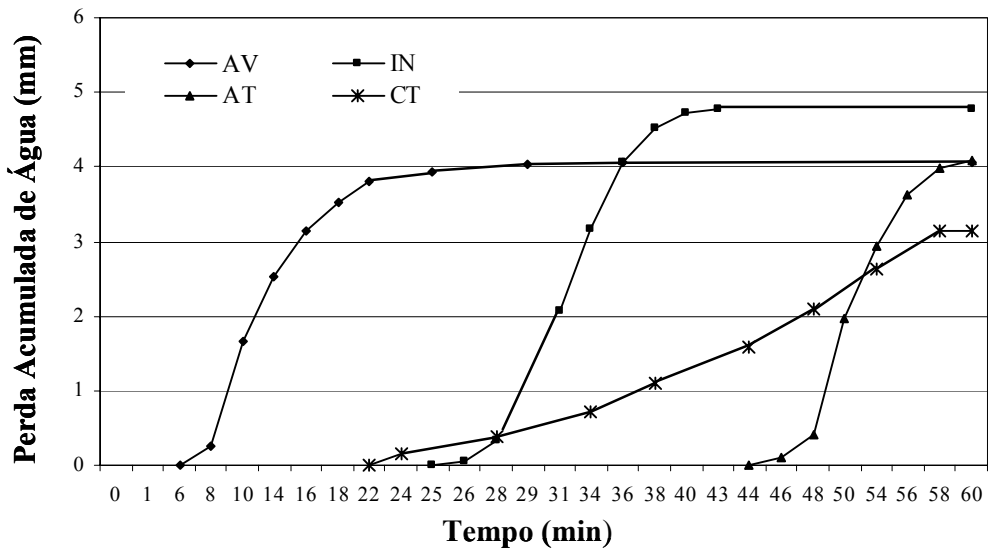


Figura 12. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT) durante o tempo de duração da chuva em solo sem cobertura morta.

Pode ser observado que após 60 minutos de chuva, os padrões IN e AT foram os que provocaram as maiores perdas acumuladas de solo e água. Isso pode ter ocorrido devido à existência de selamento superficial em função das características físicas do solo e da existência de picos de máxima intensidade durante o tempo de ocorrência da chuva, o que contribuiu para o escoamento superficial e maior carreamento de sedimentos. É possível constatar na Tabela 1, que a camada superficial do solo em estudo possui cerca de $0,260 \text{ kg kg}^{-1}$ de argila, sendo 73 % dela na forma dispersa, o que constitui importante fator na ocorrência de encrostamento superficial, afetando a taxa de infiltração e o escoamento superficial de água (Levy et al., 1993).

Na ocorrência dos picos de maior intensidade, os agregados de maior instabilidade do solo se quebram, concomitantemente a isto, os valores da argila dispersa aumentam, a porosidade do solo diminui, podendo dificultar de maneira acentuada a movimentação de água no perfil. Sidiras et al. (1984) evidenciaram que a desagregação das partículas do solo aumentou com a intensidade e da duração do evento chuvoso. Nas condições do estudo, os autores constataram que o incremento de precipitação de 30 mm h⁻¹ para 60 mm h⁻¹, promoveu um aumento de 1,8, 1,4 e 1,7 vezes na quantidade de solo desagregado nas parcelas descobertas, e de 1,7, 2,3 e 4,6 vezes nas parcelas com resíduos vegetais, para o preparo convencional, escarificação e plantio direto, respectivamente.

Segundo Pereira (2000), além de ocasionar a liberação de partículas que obstruem os poros do solo, a ação do impacto das gotas tende também a compactar o solo, ocasionando o selamento de sua superfície e, conseqüentemente, favorecendo a redução de sua capacidade de infiltração da água. Cruz (2006), trabalhando no mesmo solo da área experimental com chuva natural, verificou que em condição de solo exposto (sem cobertura) houve uma grande interferência do processo de erosão em entressulcos, já que o impacto das gotas de chuva diretamente sobre a superfície do solo promoveu o desprendimento das partículas do solo pelo salpicamento, que contribuiu para o processo de formação de uma superfície de selamento, fazendo com que houvesse redução na capacidade do solo de ser infiltrado e conseqüentemente aumentando o volume escoado superficialmente.

Os dados apresentados nas Figuras 11 e 12 mostram que o padrão CT apreendeu as menores perdas de solo e água. Isso mostra que chuvas constantes com intensidade de 30 mm h⁻¹, para o solo estudado, propiciou menor influência nas perdas de solo e água, devido a ausência de picos de maior intensidade. Com base nestes resultados, é possível inferir que, para as condições deste estudo, taxas de aplicação de água inferiores a 30 mm h⁻¹ somente provocará escoamento expressivo em longos tempos, servindo estes dados para manejo de irrigação neste tipo de solo.

A tendência observada de maiores perdas para os padrões IN e AT, provavelmente ocorreram porque quando o pico de máxima intensidade é atingido, o solo já esteja com teor de umidade elevado ou completamente saturado, o que possibilita uma maior desagregação das partículas e maior carregamento de solo, principalmente neste intervalo crítico da precipitação.

As perdas de solo e água do padrão AV ocorreram aproximadamente até os 29 minutos de duração da chuva, se estabilizando a partir deste tempo. Para o padrão IN, esta estabilização foi alcançada aos 42 minutos, enquanto que o padrão AT, o processo erosivo teve início somente após os 44 minutos de chuva continuando ascendente até o final do teste. Para o padrão CT, as perdas tiveram início cerca de 22 minutos, perdurando até praticamente o final. Com este comportamento, é possível constatar que o padrão de chuva AT pode ser responsável por maior perda de solo em chuvas de maior duração e intensidade para este tipo de solo. Ao contrário, nota-se o comportamento do padrão AV, quando as maiores perdas acumuladas ocorreram logo no primeiro terço do tempo de duração do evento. Este fato pode ser explicado porque a aplicação da chuva utilizando o padrão AV começa com uma intensidade alta de precipitação, favorecendo a ocorrência do escoamento superficial logo no início da chuva. A partir de certo tempo do início do evento, com a diminuição da intensidade, a chuva reduz a sua capacidade de desagregação e remoção, o fluxo superficial perde a turbulência e a capacidade de transporte. Dessa maneira, este escoamento tende a diminuir reduzindo também a perda de solo.

De acordo com as Figuras 11 e 12, num tempo maior de duração da chuva, as perdas de solo para o padrão AT provavelmente seriam maiores, em virtude do pico de maior intensidade de precipitação ocorrer após o solo já estar totalmente umedecido. No entanto, é possível observar que na curva referente a este padrão as perdas de solo e água ainda continuam ascendente, diferentemente dos demais, que tiveram estabilizadas suas taxas de

perda. A falta de estabilização das perdas de água e solo para este padrão AT, evidencia a continuidade do escoamento após a interrupção da amostragem, o que pode ter influenciado nos resultados. É importante destacar que, normalmente os trabalhos de pesquisa realizados com diferentes padrões de precipitação indicam o padrão AT como aquele responsável pelas maiores perdas de solo. Cruz (2006), em estudo de erosão hídrica sob chuva natural, evidenciou que as maiores perdas de solo e água foram provocadas por uma chuva natural do padrão AT, mesmo não expressando alta energia cinética, dentre os eventos observados no tempo de estudo. Da mesma forma, Mehl (2000), concluiu que o padrão de precipitação AT foi o responsável pelas maiores perdas acumuladas e taxas máximas de perdas de água e solo, quando comparado aos padrões AV, IN e CT. No estudo, o autor evidenciou perdas de solo de $0,378 \text{ kg m}^{-2}$, $0,464 \text{ kg m}^{-2}$, $0,665 \text{ kg m}^{-2}$ e $0,192 \text{ kg m}^{-2}$ e de água na ordem 15,5 mm, 13,9 mm, 16,9 mm e 7,5 mm para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente. As perdas encontradas por Mehl (2000) são bem superiores às encontradas neste estudo; todavia, vale ressaltar que as condições de pesquisa foram distintas, a começar pela lâmina de precipitação empregada (35 mm), pico de intensidade de precipitação (120 mm h^{-1}) e também a declividade da rampa ocupada pelo solo em estudo (12%).

Nas Figuras 13 e 14 estão apresentados os valores das perdas acumuladas de solo e água, respectivamente, para o solo com cobertura morta. É possível observar que o padrão AV promoveu a maior perda acumulada de solo, seguido pelos padrões IN e AT, respectivamente. Percebe-se que as curvas seguem as mesmas características do padrão de referência, mantendo também semelhanças entre si, alterando apenas as magnitudes e os tempos de início e estabilização das perdas. Para as perdas acumuladas de água (Figura 14), percebe-se que o padrão AT refletiu as maiores perdas.

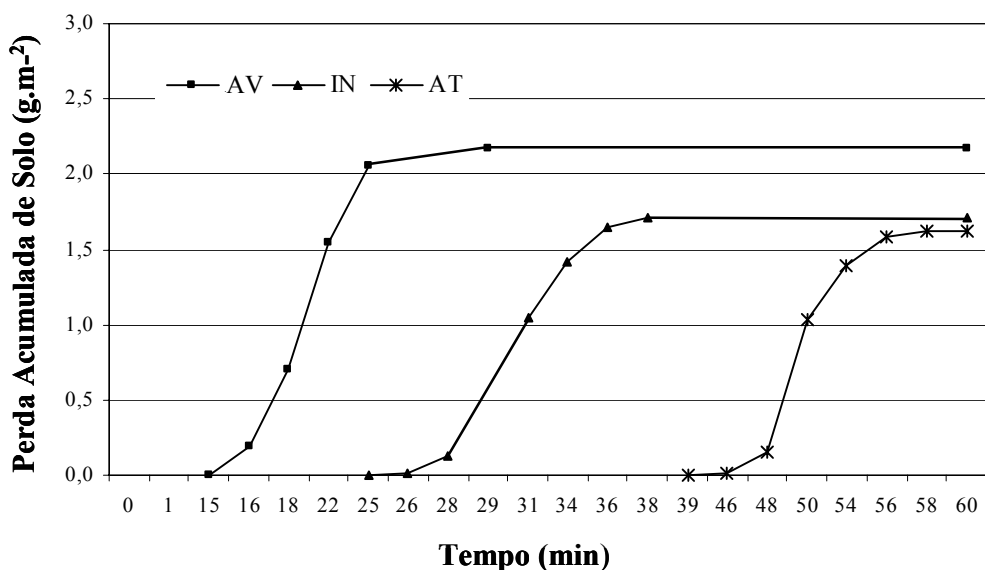


Figura 13. Perda acumulada de solo (g m^{-2}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) durante o tempo de duração da chuva em solo com cobertura morta.

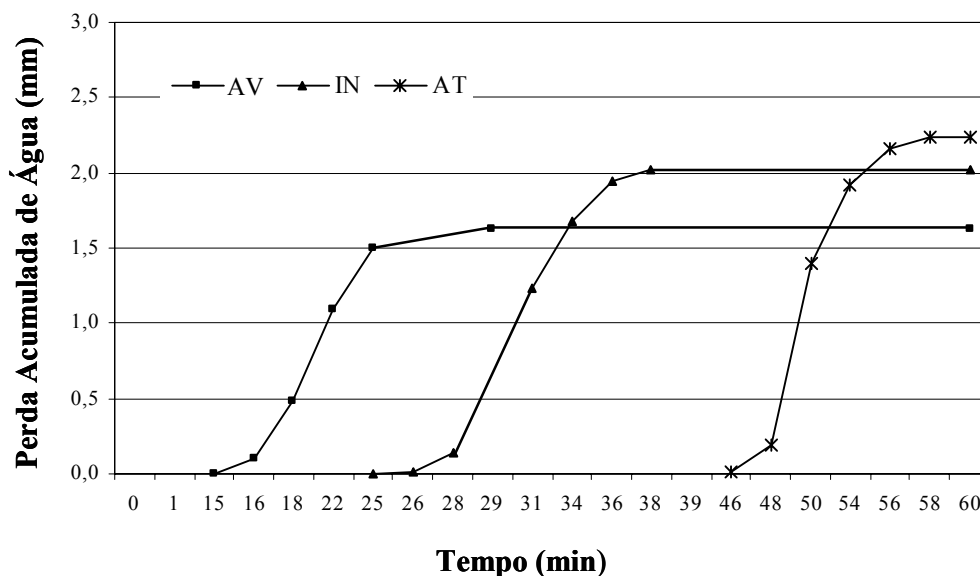


Figura 14. Perda acumulada de água (mm) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN) e atrasado (AT) durante o tempo de duração da chuva em solo com cobertura morta.

Comparando os dados apresentados nas Figuras 11, 12, 13 e 14, nota-se com mais clareza as diferenças ocorridas nas diferentes condições de cobertura. O uso da cobertura com palhada de milho proporcionou uma redução expressiva nas perdas de solo, o que não aconteceu com as perdas de água, entre os padrões AV, IN e AT. Com já discutido anteriormente, não foi registrado escoamento para o padrão CT no solo protegido com cobertura morta.

Tal comportamento pode ser explicado em virtude das maiores velocidades de escoamento superficial, que ocorreram no solo sem cobertura, aliado ao preparo no sentido do declive. Estas características favoreceram o aumento no volume de solo desagregado pela formação de pontos preferências do escoamento da água no terreno, que por sua vez, proporcionou aumento na sua capacidade de transporte. Alves et al. (1995) utilizou um simulador de chuva, concluíram que a perda de água não sofreu influência significativa do manejo dos resíduos culturais no solo. Cruz (2006) evidenciou que baixos níveis de cobertura do solo aliado ao preparo no sentido do declive, favoreceram o aumento do volume de partículas desagregadas, que são lançadas para áreas adjacentes tendendo sempre a se deslocar do local de origem para áreas mais baixas do terreno, formando uma camada sobre o solo reduzindo a capacidade de infiltração. Neste momento, forma-se uma lâmina sobre o solo e o impacto das gotas de chuva sobre esta lâmina favorece o transporte de partículas junto com a água, pelo aumento da turbulência do regime.

Outro fato importante apresentado é que no solo com cobertura ocorreu uma inversão nas perdas, tendo o padrão AT apresentado a menor perda de solo (Figura 13) e a maior perda de água (Figura 14). Estes resultados corroboram com os encontrados por Volk et al. (2004), que confirmam que as condições físicas de superfície e subsuperfície do solo, resultantes do seu manejo, que governam as perdas de solo por erosão hídrica são bem distintas daquelas que governam as perdas de água pelo mesmo fenômeno. Bertol et al. (1987) concluíram que a cobertura do solo de 60 % promoveu acentuada redução nas perdas de solo em relação a ausência da cobertura. Colocam que as perdas de água foram mais influenciadas pelos métodos de preparo do solo do que pela cobertura morta. Os resultados confirmam também o colocado por Beutler et al. (2003) e Cruz (2006), que concluíram que as perdas de solo são mais afetadas pelo sistema de preparo e cultivo do que as perdas de água.

Como já discutido anteriormente, a cobertura do solo controla a turbulência da enxurrada, retardando o início do escoamento no momento inicial da chuva (padrão AV) em relação ao solo sem cobertura. Entretanto, a cobertura não influenciou nos tempos para o início do escoamento nos padrões IN e AT. Isto deve ser pelo fato de o padrão AV alcançar seu pico de precipitação logo no primeiro terço do tempo de duração da chuva, no momento que o solo provavelmente não tinha atingido sua taxa de infiltração estável. Com isto, os resíduos aumentaram em função do tempo de permanência da água sobre o terreno, contribuindo com a infiltração da água no solo. Ao contrário, foi verificado para os demais padrões (IN e AT) que, quando foi atingido o pico de maior intensidade de precipitação, o solo já se apresentava com a umidade mais elevada em relação ao primeiro caso, com a frente de molhamento em um estado mais profundo no solo e com uma velocidade de redistribuição de água no perfil provavelmente mais lenta, o que contribuiu para o acúmulo de água e a conseqüente formação da enxurrada logo que iniciou o pico de maior intensidade de aplicação.

A presença de cobertura estabilizou as perdas acumuladas para os padrões AV, IN e AT, respectivamente aos, 29 minutos, 38 minutos e 58 minutos após o início da chuva. É importante ressaltar que no momento da realização dos testes ficou evidenciado, entre as repetições do padrão AT, a descontinuidade do escoamento superficial logo após a última amostragem, findando a aplicação da chuva sem a ocorrência de perdas.

Os resultados apresentados corroboram com os encontrados por Cassol & Lima (2003), que estudando as perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho distrófico típico sob chuva simulada, observaram que os resíduos deixados sobre a superfície do terreno, foram capazes de reduzir significativamente a perda total de solo em entressulcos, em decorrência do efeito da cobertura da palha na redução da desagregação do solo. Resultados semelhantes também foram obtidos por Braida & Cassol (1999).

As taxas máximas de perda de solo e de água em solo sem cobertura foram significativamente afetadas pelos padrões de precipitação AV, IN e AT em relação ao padrão CT (Tabela 11). Da mesma forma, as taxas de perdas de solo foram afetadas pelas condições de cobertura do solo.

Em solo nu as taxas máximas de perdas de solo foram de $51,7 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $81,5 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $72,1 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $7,9 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, para os padrões AV, IN, AT e CT, respectivamente. Para o solo com cobertura, os valores das taxas alcançadas foram de $15,3 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, $13,8 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $13,2 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, para os padrões AV, IN e AT, respectivamente.

No solo exposto, os padrões IN e AT apresentaram taxas máximas de perda de solo superiores ao padrão CT. O padrão AV, apesar de expressiva diferença, não diferiu estatisticamente do padrão CT. Comportamento similar foi observado com as taxas máximas de perda de água, em que os padrões de precipitação AV, IN e AT mostraram ser significativamente superiores ao padrão CT, apesar de também não expressarem diferenças estatísticas.

No solo coberto, as taxas máximas de perdas de água e solo entre os padrões AV, IN e AT não foram afetadas pelas condições de cobertura do solo. Entretanto, a presença da cobertura eliminou totalmente o escoamento superficial nas parcelas submetidas ao padrão CT de precipitação.

Com estes resultados pode-se inferir que diferentes padrões de chuva influenciaram significativamente os picos de perda de solo, em relação ao padrão CT, quando aplicados em solo exposto. Em condições de cobertura do solo por resíduos culturais de milho, os padrões influenciaram significativamente tanto os picos de perda de solo como os de água, em relação ao padrão CT, que é rotineiramente utilizado por diversos cientistas em pesquisas de conservação do solo.

Tabela 11. Valores médios da taxa máxima de perda de solo e de água, perdas acumuladas de solo e água, e coeficientes de escoamento para quatro padrões de precipitação em

solo sem cobertura morta.

Padrões de Precipitação	Taxa Máxima de Perda de Solo		Taxa Máxima de Perda de Água	
	Solo nú	Solo coberto	Solo nú	Solo coberto
	g m ⁻² h ⁻¹		L m ⁻²	
Avançado	51,7 ABa	15,3 Aa	26,2 Aa	10,9 Aa
Intermediário	81,5 Aa	13,8 Ab	32,9 Aa	16,3 Aa
Atrasado	72,1 Aa	13,2 Ab	29,0 Aa	18,1 Aa
Constante	7,9 B	0	6,6 A	0

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem entre si por Tukey a 5%.

A presença dos restos culturais sobre o solo, em relação ao solo nu, reduziu as taxas de perda de solo para os padrões AV, IN e AT em cerca de 70 %; 83 % e 82 %, respectivamente (Tabela 11). Para o padrão CT, a presença de cobertura eliminou completamente o escoamento superficial e as perdas. As taxas de perdas de água em solo coberto, quando comparadas às encontradas em solo nu, mostraram-se reduzidas em 58%; 50% e 38 % para os padrões AV, IN e AT, respectivamente. Lopes et al. (1987b) concluíram que o aumento da taxa de cobertura do solo, independente do tipo de resíduos, diminuiu acentuadamente a velocidade do escoamento superficial de água e reduziu o arraste de sedimentos de maior tamanho do solo. Da mesma forma, Cassol et al. (2004) concluíram que o aumento na cobertura do solo com resíduos vegetais elevou a altura da lâmina de escoamento e a rugosidade hidráulica e reduziu a velocidade média do escoamento, provocada pelo aumento das forças viscosas promovida pela interposição física dos resíduos ao escoamento, resultando na redução na taxa de desagregação do solo. Esta hipótese ainda pode ser confirmada pela Figura 15, que expressa a relação entre a água perdida pela enxurrada e a lâmina da chuva aplicada (coeficiente de escoamento), nas diferentes condições de cobertura. É evidente a diferença observada entre os coeficientes de escoamento entre as duas condições de cobertura do solo.

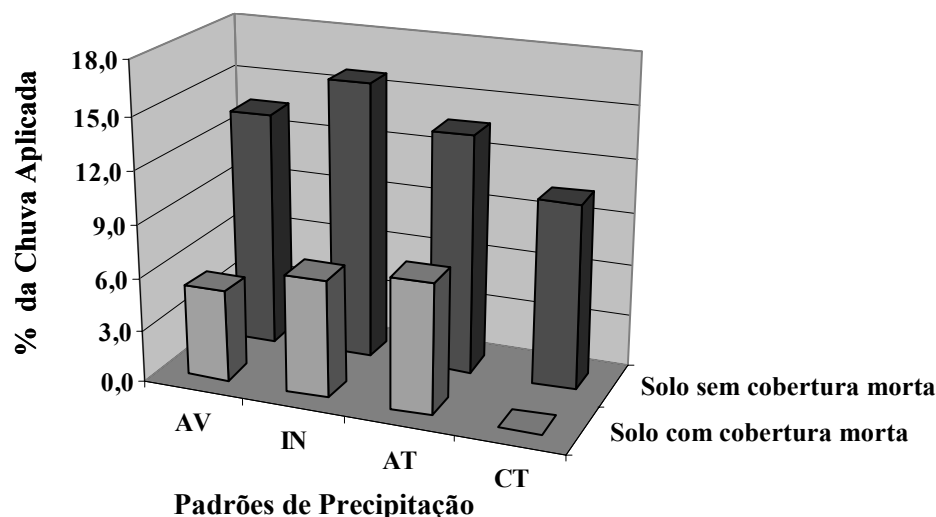


Figura 15. Coeficientes de escoamento superficial para quatro padrões de precipitação em solo com ou sem cobertura morta.

Nas Figuras 16 e 17 estão representadas as taxas de perdas de solo e de água obtidas em solo nu, para os padrões de precipitação AV, IN, AT e CT. É possível notar que o comportamento das taxas de perdas de solo e água para os padrões de precipitação, seguiu a mesma tendência da variação da intensidade de precipitação durante a ocorrência da chuva. Houve um aumento da taxa de perda de solo com o aumento da intensidade de precipitação,

atingindo o máximo de perda justamente com o ponto de ocorrência do pico de máxima intensidade para os padrões AV, IN e AT, declinando a partir desse momento. Os resultados estão de acordo Sidiras et al. (1984), que evidenciaram um aumento na desagregação do solo com o aumento da intensidade da chuva.

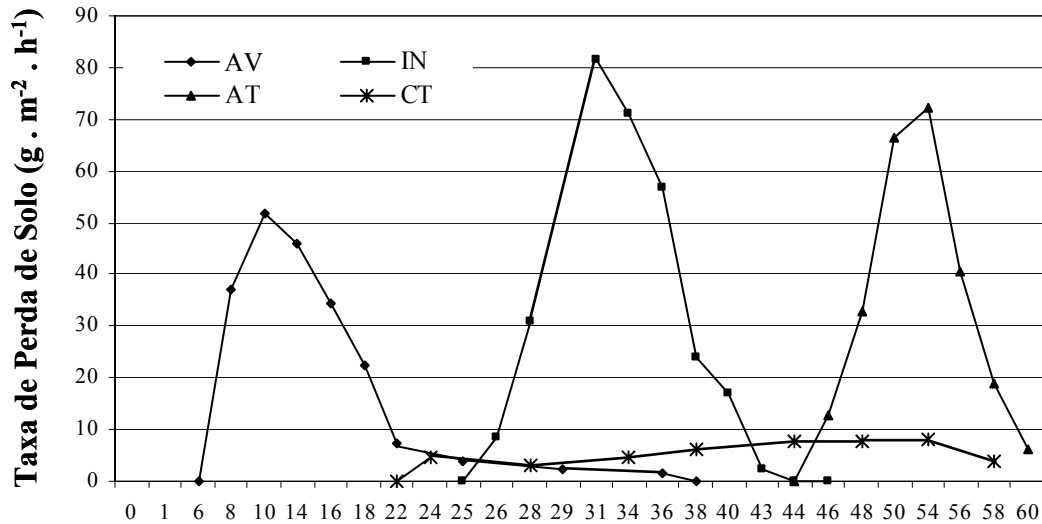


Figura 16. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT), durante o tempo de duração da chuva em solo sem cobertura morta.

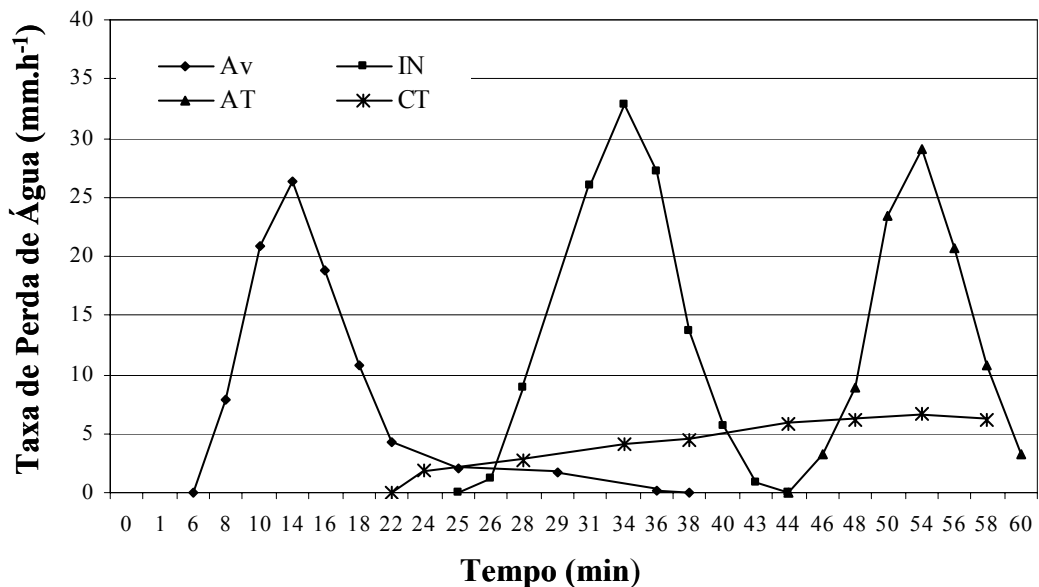


Figura 17. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT) e constante (CT), durante o tempo de duração da chuva em solo sem cobertura morta.

Não diferente das demais, a taxa de perda de solo para o padrão CT refletiu comportamento similar ao próprio padrão, não mostrando forte tendência a oscilações como os demais, quando aplicado em solo sem cobertura. Cabe destacar que para este padrão, as taxas de perdas de solo e água foram crescentes até os 54 minutos de chuva, atingindo o ponto

máximo, com tendência de decréscimo após este tempo. Resultados similares foram apresentados por Cassol & Lima (2003) que estudando a erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparos e manejo do solo com a aplicação de uma chuva simulada de com intensidade constante de 60 mm h^{-1} durante 70 minutos, em solo descoberto ou com a palha incorporada, evidenciaram, taxa crescente de perda de solo até um determinado ponto, apresentando a partir de então comportamento decrescente. Resultados similares forma encontrados por Silva & Rossoni, (2004).

Nas Figuras 18 e 19 estão representadas taxas de perdas de solo e de água obtidas em solo coberto por resíduos cultural de milho, para os padrões de precipitação AV, IN, AT e CT. Da mesma forma que no solo sem cobertura, as taxas de perdas apresentaram comportamento similar aos padrões de precipitação simulados. Em ambas as condições de cobertura do solo, quando se têm altas intensidades de precipitação ou quando se aproxima o ponto de máxima intensidade, são observados altos valores de escoamento. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de sob a aplicação de chuva com maiores intensidades a taxa de infiltração de água no solo seja superada, proporcionando acúmulo de água na superfície e consequentemente o escoamento superficial nesses pontos. Da mesma forma, quando a taxa de aplicação de água é baixa o escoamento também é baixo, podendo até não ocorrer quando a intensidade de precipitação for inferior a taxa de infiltração estável (TIE) de água no solo.

Coelho et al. (2000) comentam que em condições de intensidade de precipitação abaixo da TIE, o microrrelevo superficial comporta-se de maneira estável, apresentando uma superfície espelhada crescente (acúmulo de água) sobre o solo. Sob condição de intensidade de precipitação acima da TIE, os autores observaram que a superfície espelhada se estabilizou mais rapidamente, apresentando, posteriormente, a formação de canais preferenciais de escoamento de água sobre o solo (erosão laminar). Segundo Chow et al. (1988), a taxa de infiltração é um processo dinâmico, não dependente apenas das condições iniciais do solo como porosidade, umidade antecedente e permeabilidade de horizontes subsuperficial, mas também de processos dinâmicos que ocorrem durante o fenômeno como selamento superficial gerado pela gota da chuva e redução do potencial mátrico do perfil causado pelo avanço da frente de molhamento. Assim podemos afirmar que a enxurrada decorrente de uma chuva, e causadora do escoamento, é depende da taxa de infiltração de água no solo.

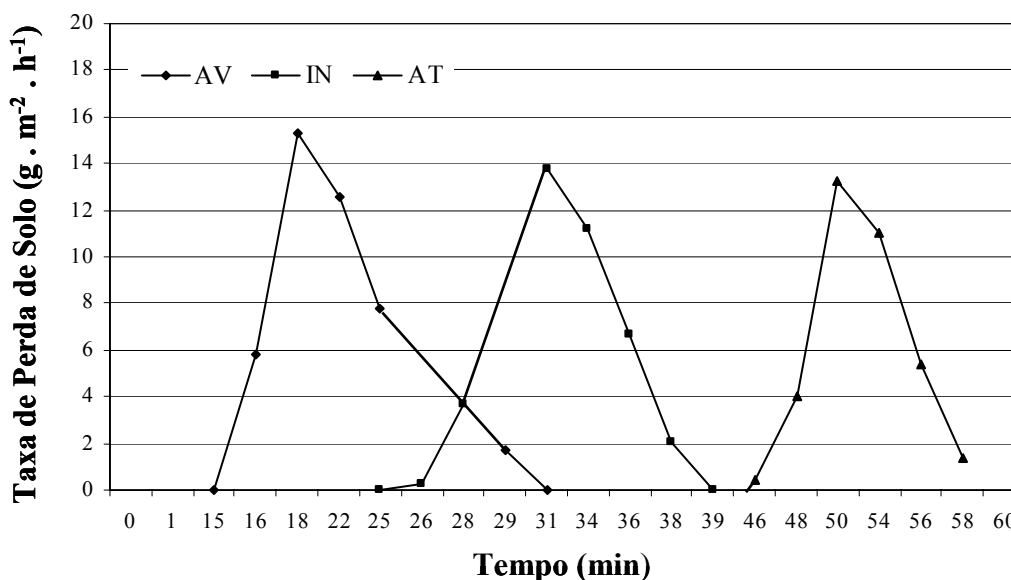


Figura 18. Taxa de perda de solo ($\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT), durante o tempo de duração da chuva em solo com cobertura morta.

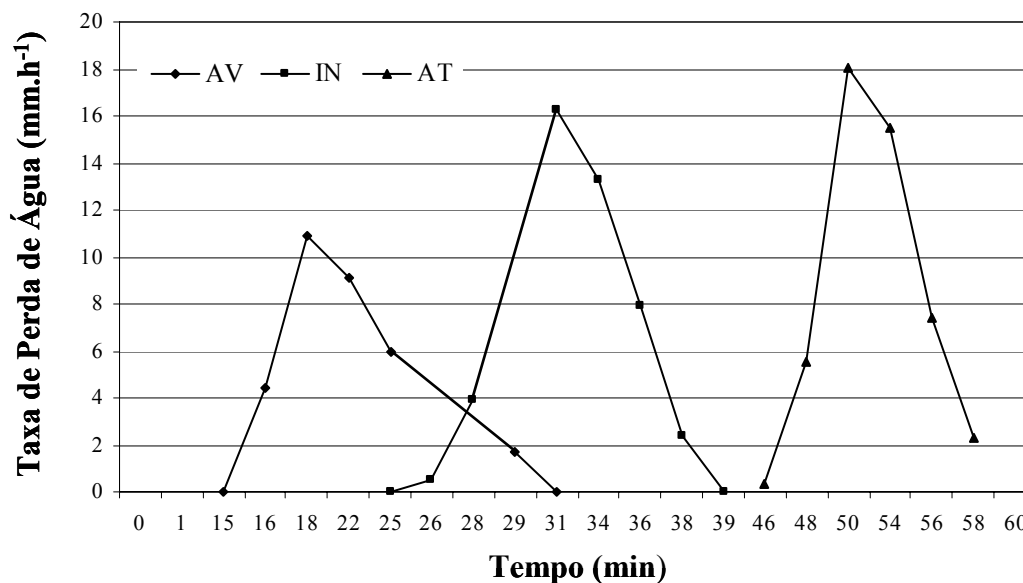


Figura 19. Taxa de perda de água (mm h^{-1}) nos padrões de precipitação avançado (AV), intermediário (IN), atrasado (AT), durante o tempo de duração da chuva no solo com cobertura morta.

Para as taxas de perdas de água, os maiores valores foram observados para a chuva do padrão AT. No momento de realização dos teste, foi verificado que durante a ocorrência do pico de máxima intensidade para este padrão, o solo se apresentava bastante umedecido, favorecendo a ocorrência dos efeitos citados por Chow et al. (1988) Por este motivo, Silva & Rossone (2004) comentaram que os padrões de precipitação constituem um importante fator nas perdas de água.

Para o padrão AV, as maiores taxas de perda de solo no terreno com cobertura pode ser explicadas devido a proteção da cobertura do solo pela palhada. A maior intensidade de precipitação para o padrão AV é alcançada logo no primeiro terço do tempo de duração da chuva, o que faz com que o solo esteja com menor conteúdo de umidade, recebendo os impactos diretos das gotas que não foram interceptadas pela cobertura, provocando o salpicamento das partículas do local, que por sua vez pode ser facilmente carregadas pela enxurrada subsequente a este processo. Resultados semelhantes são colocados por Volk et al. (2004). Segundo os autores, na semeadura direta, as condições de superfície e subsuperfície do solo favoreceram maiores perdas de água. No entanto, apesar da maior capacidade de transporte da enxurrada neste tratamento, a desagregação das partículas de solo por impacto das gotas da chuva e, ou, de cisalhamento da enxurrada foi baixa, o que refletiu em taxas menores de perda de solo neste tratamento.

A possível explicação colocada para o fato, é que a superfície do solo após o cultivo do milho, encontrava-se mais consolidada, fato que pode ter refletido na maior resistência do solo contra as forças de dispersão ou desagregação de suas partículas (Streck & Cogo, 2003). Este fato demonstra a complexidade do estudo a cerca do processo erosivo, em razão da quantidade de fatores que influenciam neste fenômeno. Assim, mais estudos de campo devem ser realizados, principalmente levando em considerações os padrões de precipitação de ocorrência local, com vistas a validação de modelos de predição de perda de solo a serem aplicados no país.

Com base nos resultados, pode-se afirmar que os picos de máxima intensidade de precipitação foram responsáveis pela maior parte das perdas acumuladas de solo e de água no decorrer das chuvas. Para o solo sem cobertura, os picos de máxima precipitação foram responsáveis pelas maiores percentagens de perdas de solo nos padrões AV, IN e AT, chegando, em média, a 88%; 94% e 98 % do total perdido em cada chuva, respectivamente. Nos testes com cobertura, as perdas de solo provocadas pelos picos chegaram a 32%; 100% e

100% para os padrões AV, IN e AT, respectivamente. A mesma tendência foi observada para perda de água em ambas as condições de cobertura do solo. Percebe-se que a proteção do solo pela palhada de milho foi capaz de evitar mais efetivamente a remoção de partículas do solo em baixas intensidades de precipitação. Assim, além de proteger contra os impactos diretos das gotas da chuva, a cobertura fez com que a enxurrada atuasse no sentido de remover somente as partículas nos primeiros centímetros da camada superficial do solo. Estes resultados estão de acordo como Lopes et al. (1987b).

b.5.3 Avaliações das Perdas de Nutrientes na Água e nos Sedimentos da Enxurrada

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentadas às perdas de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada medidas sob os padrões de precipitação AV, IN, AT e CT para o solo sem e com cobertura morta, respectivamente.

As perdas totais de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada não foram diferentes significativamente entre os tratamentos, indicando que, para as condições deste estudo, o tipo de padrão de precipitação não influencia nas perdas totais de nutrientes do solo.

Nota-se que as maiores perdas de nutrientes ocorreram em suspensão nas enxurradas, conforme resultados obtidos por Bertol et al. (2005) e Távora et al. (1985). Este comportamento é explicado pelo fato da perda de água ter ocorrido em magnitudes bem superiores às perdas de solo, o que condicionou maiores perdas de nutrientes na água da enxurrada (Távora et al., 1985). Bertol et al. (2005) concluíram que as concentrações de Ca e Mg foram maiores nos sedimentos do que na água da enxurrada superficial, enquanto as perdas totais desses elementos foram maiores na água do que nos sedimentos.

Tabela 12. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo sem cobertura morta.

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes na água da enxurrada (g m⁻². 10⁴)				
	Ca	Mg	K	N	P
Avançado	389,7 A	152,4 A	240,8 A	156,7 A	*
Intermediário	683,5 A	251,7 A	452,1 A	185,9 A	
Atrasado	393,7 A	132,1 A	221,5 A	159,1 A	
Constante	332,9 A	104,6 A	315,9 A	137,6 A	
Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes nos sedimentos da enxurrada (g m⁻².10⁴)				
	Ca	Mg	K	N**	P
Avançado	4,9 A	3,0 A	4,7 A	-	0,70 A
Intermediário	3,7 A	2,0 A	3,7 A	-	0,60 A
Atrasado	5,1 A	1,2 A	1,9 A	-	0,30 A
Constante	2,3 A	0,8 A	0,7 A	-	0,10 A

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey ao nível de significância de 5%.

*Elemento não detectado pela metodologia empregada.

** Elemento não determinado devido a falta de material para análise.

Apesar de não ter ocorrido diferenças significativas nas perdas de Ca na água da enxurrada entres os tratamentos de chuva, é possível verificar na Tabela 12 que as perdas provocadas pelo padrão IN foram sensivelmente maiores que nos demais padrões na razão de

1,8, 1,7 e 2 vezes, respectivamente, para os padrões AV, AT e CT. Comportamento similar foi observado para o magnésio e potássio.

Tabela 13. Perda de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada para quatro padrões de precipitação no solo com cobertura morta.

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes na água da enxurrada ($\text{g m}^{-2} \cdot 10^4$)				
	Ca	Mg	K	N	P
Avançado	63,1 A	59,3 A	79,8 A	64,4 A	*
Intermediário	142,3 A	76,1 A	154,8 A	18,9 A	
Atrasado	142,7 A	76,3 A	96,7 A	72,3 A	
Constante	0	0	0	0	

Padrões de Precipitação	Perda de nutrientes nos sedimentos da enxurrada ($\text{g m}^{-2} \cdot 10^4$)				
	Ca	Mg	K	N**	P
Avançado	0,1 A	0,1 A	0,1 A	-	0,02 A
Intermediário	0,2 A	0,1 A	0,1 A	-	0,01 A
Atrasado	0,1 A	0,1 A	0,1 A	-	0,02 A
Constante	0,0	0,0	0,0	-	0,0

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si por Tukey ao nível de significância de 5%.

*Elemento não detectado pela metodologia empregada.

** Elemento não determinado devido a falta de material para análise.

É possível perceber que na água da enxurrada, não foram registradas perdas de fósforo, provavelmente por ter ocorrido em concentrações inferiores à sensibilidade do aparelho, o que condicionou concentração insuficiente para que pudesse ser detectada pela metodologia empregada. Este fato se justifica devido aos baixos valores desse elemento no solo e também, segundo Schick et al. (2000), pelo fato deste elemento estar adsorvido aos colóides do solo e ao maior transporte das frações de argila e silte implicando em maiores perdas nos sedimentos da enxurrada. Nuñez et al. (2003), comentam que a forma inorgânica do fósforo nos solos pode chegar a 90 % e que o elemento pode ser perdido por erosão tanto na forma solúvel como na oclusa. Como o elemento é fortemente adsorvido pelas argilas (Sposito, 1989), a maior proporção é transportado na forma adsorvida juntamente com as partículas do solo, fato que pode explicar a não ocorrência do elemento em suspensão na água da enxurrada, influenciando na sua ausência na fração líquida da enxurrada. É importante salientar que, em função da pequena quantidade de solo, as análises de nitrogênio nos sedimentos não foram realizadas.

Para o potássio, as maiores perdas também foram registradas na água da enxurrada, conforme resultados encontrados por Hernani et al. (1999). Os autores colocam que, normalmente as perdas de potássio em solução (na água da enxurrada) são maiores que as encontradas no sedimento, em função da maior solubilidade deste elemento.

As perdas de nutrientes nos sedimentos da enxurrada foram relativamente baixas quando comparadas às perdas na água da enxurrada. As baixas quantidades de nutrientes perdidos nos sedimentos foram influenciadas, principalmente, pelas baixas perdas de solo provocadas pelos tratamentos de chuva, concordando com os resultados apresentados por Bertol et al. (2004a). Da mesma forma, as perdas de Ca e Mg foram diretamente influenciadas pelas perdas de água e solo.

Em solo sem cobertura, as perdas de nutrientes na água e nos sedimentos da enxurrada não sofreram diferenças significativas entres os padrão de precipitação, mostrando que a variação da intensidade de precipitação da chuva não influencia nas perdas totais de nutrientes do solo.

Nota-se que as perdas de nutrientes no solo coberto por resíduos de milho, tiveram o mesmo comportamento observado para o solo exposto, só que em menor magnitude. Da mesma forma, as perdas foram diretamente influenciadas pelas perdas acumuladas de água e solo, corroborando com Bertol et al. (2004b).

Comparando os resultados mostrados nas Tabelas 12 e 13, nota-se que a cobertura do solo com resíduos do milho reduziu significativamente as perdas ocorridas no solo, corroborando com os resultados apresentados por Bertol & Miquelluti (1993a). Os autores colocam que o solo descoberto perdeu cerca de três vezes mais P e oito vezes mais Ca e mais Mg do que o cultivado com milho.

Os menores valores de perda total de nutrientes, tanto na água quanto nos sedimentos da enxurrada, são explicados pelas próprias quantidades de água e sedimentos perdidos nesta condição de cobertura do solo. Assim, as baixas quantidades de sedimento perdido por erosão hídrica, especialmente nos tratamentos com cultivo do solo, influenciaram mais expressivamente as perdas totais de nutrientes, principalmente nos sedimentos da enxurrada, do que as concentrações dos elementos nessas frações da erosão. Resultados semelhantes foram também encontrados por Guadagnin et al. (2005) para as perdas de nitrogênio num Cambissolo Húmico.

Conforme Hernani et al. (1999), em áreas agrícolas maiores perdas de cálcio e magnésio foram verificadas em sistemas de preparo convencional sem cobertura vegetal e as menores em plantio direto, com o solo coberto de resíduos. Bertol & Miquelluti (1993a) concluíram que as perdas totais de fósforo e cálcio mais magnésio foram superiores no solo descoberto, quando comparadas ao solo cultivado. Daniel et al. (1994) colocam que as concentrações de nutrientes na água de enxurrada varia com a concentração destes no solo. Em diferentes cultivos, as variações nos conteúdos de nutrientes encontrados nas enxurradas são normais, pois dependem de fatores que influenciam a mineralização do elemento no solo, especialmente aqueles relacionados com o clima, como os que influenciam a atividade biológica e volume de chuvas precipitadas (Bertol et al., 2004b). Da mesma forma, Silva et al. (2005a) comentam também que as concentrações de nutrientes presentes na erosão hídrica são relacionadas com as concentrações destes na camada superficial do solo. Schaefer et al. (2002) verificaram uma diminuição substancial nas perdas de nutrientes com o aumento da cobertura do solo, corroborando com os resultados deste estudo. Assim, os resultados apresentados evidenciam que os retos culturais de milho deixados sobre o solo após a colheita, minimizam os impactos da erosão e o conseqüente empobrecimento do solo, principalmente daqueles cultivados em declive. Resultados semelhantes são colocados por Carvalho et al. (2003).

A Tabela 14 apresenta os valores das perdas absolutas de Ca, Mg e K para os padrões de chuva nas diferentes condições de cobertura do solo. Nota-se que a cobertura do solo foi capaz de reduzir as perdas de Ca em cerca de 84 %, 79 % e 64 %, respectivamente, para os padrões AV, IN e AT. Para o padrão CT, esta redução alcançou o 100 %, devido a eliminação total do escoamento pelos restos culturais. As perdas de Mg tiveram uma redução de 62 %, 70 %, 43 % e 100 %, respectivamente, para os padrões AV, IN, AT e constante. Para o K, as reduções foram similares às ocorridas para o magnésio. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Schaefer et al. (2002). Segundo os autores, as perdas absolutas de nutrientes são reduzidas substancialmente com o aumento da porcentagem de cobertura do solo, seguindo a ordem Ca>Mg>K>P. No presente estudo, a ordem crescente preferencial de perdas foi: Ca>K>Mg, corroborando com Hernane et al., (1987).

A água com nutrientes em suspensão na enxurrada respondeu quase que individualmente pelas perdas totais ocorridas no solo sob as condições experimentais estudadas. Mediante os resultados e de acordo com Távora et al. (1985) e Bertol et al. (2005), pode-se afirmar que nas condições experimentais a via preferencial de perdas de nutrientes do solo é a água da enxurrada.

Tabela 14. Perda absoluta de Ca, Mg e K para quatro padrões de precipitação em razão das condições de cobertura do solo

Padrões de Precipitação	Ca		Mg		K	
	Solo nu	Solo coberto	Solo nu	Solo coberto	Solo nu	Solo coberto
Avançado	394,6	63,2	155,4	59,4	245,5	79,9
Intermediário	687,2	142,5	253,7	76,2	455,8	154,9
Atrasado	398,8	142,8	133,3	76,4	223,4	96,8
Constante	335,2	0	105,4	0	316,60	0
Média geral	454,0	87,1	162,0	53,0	310,3	82,9

b.6 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

- o simulador de chuva é capaz de reproduzir adequadamente os padrões de precipitação de ocorrência natural;
- as taxas de perdas de solo e água para o padrão CT se mostraram inferiores em relação aos padrões AV, IN e AT, indicando que este padrão pode não caracterizar o processo erosivo frente as chuvas naturais;
- as perdas totais de solo, água e nutrientes para os padrões de precipitação não apresentaram diferenças significativas, tanto em solo nu, como em solo com cobertura;
- nas condições experimentais, a via preferencial de perdas de nutrientes foi em suspensão na água da enxurrada;
- a cobertura do solo com resíduos de milho, reduziu substancialmente as taxas e perdas de solo, água e nutrientes, indicando que a palhada deixada sobre o solo após a colheita, auxilia de maneira efetiva no controle da erosão, principalmente em terras cultivadas em declive.

b.7 referências bibliográficas

- ALVES, A.G.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Relações da erosão do solo com a persistência da cobertura vegetal do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p. 127-132, 1995.
- 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*, v.11, p. 187-192, 1987.
- BERTOL, I.; MIQUELLUTI, D.V. Perdas de solo, água e nutrientes reduzidas pela cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28, n.10, p.1205-1213-1213, 1993a.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; CASOL, P.C.; AMARAL, A.J.; BARBOSA, F.T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um Inceptisol sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.485-494, 2004a.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitosolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.1045-1054, 2004b.

BERTOL, I; GUADAGNIN, J.C.; GONZÁLEZ, A. P.; AMARAL, A.J. DO; BRIGNONI, L.F. Soil tillage, water erosion, and calcium, magnesium and organic carbon losses. *Scientia Agricola*, Piracicaba-Braz, v.62, n.6, p.578-584, Nov./Dez. 2005.

BEUTLER, J.F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.509-517, 2003.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações da erosão em entressulcos com o tipo e com a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG. v. 23, p. 711-721. 1999.

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; CRUZ, E.S. DA.; LANA, A.M.Q.; SILVA, W.A. Efeito da cobertura morta e do preparo do terreno nas perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho-amarelo. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.11, n.1-4, p.15-22, 2003.

CARVALHO, D.F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E.M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo-RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.1, p.7-14, 2005.

CASSOL, A.E.; LIMA, V.S. de. Erosão em entressucos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.38, n.1, p.117-124, 2003.

CASSOL, A.E.; CANTALICE, J.R.B.; REICHERT, J.M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial de desagregação do solo em entressucos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.39, n.7, p.685-690, 2004.

COELHO, R.D.; MIRANDA, J.H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: Parte II acúmulo de água sobre a superfície do terreno. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.2, p.142-145, 2000.

CRUZ, E.S. da. *Influência do preparo do solo e de plantas de cobertura na erosão hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo*. Seropédica-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006, 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do solo)

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, Y.W. *Applied hydrology*. New York, McGraw-Hill, 572p. 1988.

DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N.; EDWARDS, D.R.; WEDEPOHL, R. & LEMUNYON, J.L. Minimizing surface water eutrophication from agriculture by phosphorus management. *J. Soil Water Conserv.*, v.40, p. 30-38, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise do solo*. 2 ed. Rio de Janeiro, ministério da agricultura, 212p.1997.

GREGO, C.R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASOL, P.C.; AMARAL, A.J.; Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, p.277-286, 2005.

HERNANI, L.C.; SAKAL, E.; LOMBARDI NETO, F.; LEPSCH, I, F. Influência de métodos de limpeza de terrenos sob floresta secundária em Latossolo Amarelo do Vale do Ribeira, SP:perdas por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.11, n.4, p.215-219, 1987.

HERNANI, L.C.; KURIHARA,C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n.23, p. 145-154. 1999.

LEVY, G.J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science*, Baltimore, v.155, p.15-22, 1993.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Influência da cobertura vegetal morta na redução da velocidade da enxurrada e na distribuição de tamanhos dos sedimentos transportados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, n. 2, p.192-197, 1987b.

MACEDO, J.R. de; OTONNI FILHO, T.B.; MENEGUELLI, N. do A. Variabilidade de características físicas, químicas e físico-hídricas em solo podzólico vermelho-amarelo de Seropédica, RJ. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.12, p. 2043-2053, 1998.

MEHL, H.U. *Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entre sulcos*. Santa Maria - RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2000, 53p. Tese (Mestrado em Agronomia)

MEYER, L. D; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, Michigan, v.22 n.1 p.100-103 1979.

NÚÑEZ, J.E.V.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N. Conseqüência de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. *Bragantia*, Capinas, v.62, n.1, p.101-109, 2003.

PREVEDELLO, C.L. LOYOLA, J.M.T.; COSTABILE, M.S., HORODENSKI, J. Solução numérica para o processo da infiltração da água no solo. *Scientia Agraria*, v.3, n.1-2, p.29-39, 2002.

SCHAEFER, C. E. R.; SILVA, D. D.; PAIVA, K. W. N.; PRUSKI, F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; ALBUQUERQUE, M. A. Perda de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo Vermelho-Amarelo sob chuva simulada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. v.37, n.5, p.669-678, 2002.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H.; FARIAS, G. S. Efeito da intensidade de chuva na desagregação por impacto de gotas em três sistemas de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.28, n. 2, p. 251-254, 1984.

SILVA, F.G. da; ROSSONI, H.A.V. *Influencia de diferentes perfis de precipitação nas perdas de água e solo*. Viçosa - MG, Universidade Federal Viçosa, 2004. 51p. Monografia (Projeto final de curso para obtenção do título de Engenheiro Ambiental)

SILVA, A.M. da; SILVA, M.L. N; CURI, N; LIMA, J.M. de; AVANZI, J.C; FERREIRA, M.M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.12, p.1223-1230, dez. 2005a.

SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho Amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.409-419, maio/ago., 2005d.

SILVEIRA, R. C. da; SALVADOR, N.; Uso de um simulador de chuvas no estudo de perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais de milho. *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v.24, n.3, p.718-729, 2000.

SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 234p.

SCHICK, J.; BERTOL.I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, 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*, n. 24, p. 427-436, 2000.

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, v.27, p.141-152, 2003.

TÁVORA, M.R.P.; SILVA, J.C.R.; HERNANDEZ, F.F.F.; SAUNDERS, L.C.U.; MOREIRA, E.G.S. Perdas de solo, água e nutrientes em Latosso Vermelho-Amarelo Distrófico de Ubajara (CE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p. 63-66, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, 1997. 174p.

VARELLA, C.A. *Efeito do sistema de cultivo nas perdas de água e solo*. Seropédica - RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999, 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes de seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.