

Transporte de Sedimentos, Escoamento Superficial e Variação da Tensão Matricial do Solo em Parcelas com Diferentes Usos do Solo no Município de Assis, SP

Eliane Akiko HONDA¹

Hiroataka OCHIAI²

Kazutoki ABE²

Edison Adriano BERTO¹

Alberto FRANCISCO³

RESUMO

O total de sedimentos transportados em suspensão e por arraste, o escoamento superficial e a variação do potencial matricial da água no solo foram monitorados em três parcelas de erosão com diferentes usos do solo. Cada parcela tem 15,0 m x 22,1 m de dimensão, é isolada da influência de fluxo externo de água até a profundidade de 40 cm, e possui um tanque equipado com vertedouro e linígrafo, um amostrador automático de água, além de tensiógrafos instalados em diferentes profundidades do solo. Um pluviógrafo forneceu os dados referentes às precipitações. Uma das parcelas é desprovida de qualquer cobertura vegetal, uma encontra-se reflorestada com espécies nativas da região e a outra possui cultura agrícola de importância econômica regional, recebendo tratamento similar ao comumente empregado. Este trabalho apresenta os resultados de dois eventos hídricos: um em período úmido e o outro no final da estiagem. O evento em período chuvoso foi composto por dois segmentos, sendo o primeiro caracterizado pela longa duração e baixa intensidade e o segundo pela curta duração e alta intensidade: 38 mm de precipitação em cerca de uma hora, com erosividade de 607,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Houve perda de sedimentos e água nas três áreas, e a

¹ Floresta Estadual de Assis, Caixa Postal 104, CEP 19800-000, Assis, SP, Brasil.

² Forestry and Forest Products Research Institute, 305, Ibaraki, Japão.

³ Estação Experimental João José Galhardo, Caixa Postal 233, CEP 19870-000, Paraguaçu Paulista, SP, Brasil.

espessura de solo perdida na parcela desprovida de vegetação, durante o evento hídrico, foi estimada em 0,05mm. Neste evento, em todas as parcelas, o potencial matricial do solo a 20 cm e 40 cm de profundidade diminuiu rapidamente com o início da chuva, atingindo valor nulo durante a ocorrência do escoamento superficial. O evento após o período de estiagem foi menos intenso, com 17,4 mm de precipitação e erosividade de 125,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Foi constatada pequena perda de sedimentos em suspensão apenas nas parcelas reflorestada e descoberta. Não foi verificado transporte de sedimentos por arraste e não houve modificação do potencial matricial a 70 e 100 cm em nenhuma parcela. Nos solos sob cultivo e reflorestamento, as modificações no potencial matricial a 20 cm de profundidade ocorreram lentamente, atingindo os menores valores em 47 horas e 60 horas, respectivamente, após início da chuva, donde se conclui que o escoamento superficial verificado nestas parcelas não foi acompanhado pela saturação do solo.

Palavras-chave: erosão, escoamento superficial, potencial matricial do solo, sedimentos em suspensão.

ABSTRACT

Transported sediment, surface runoff and matrix water potential were recorded from three erosion plots in Assis State Forest, Assis, São Paulo State, Brazil. Each plot, 15.0 m x 22.1 m in dimension, were isolated from external water fluxes to a depth of 40 cm. Continuous measurements were made by using tensiographs, a V notch tank with linigraph and an automatic water sampler. A pluviograph registered rainfall incidence. One plot was planted with native tree species, one was cultivated with agricultural species and one had bare soil. This paper presents the results of two rainfall events. The first event occurred in the wet season, and the other, at the end of the dry season. The rain event reported for the wet season had an initial long period with a low intensity rainfall and a second, high intensity one with 38 mm in 1 h and with an erosivity index of 607 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Sediments and water were lost from all plots. The matrix potential was near saturation in all plots before rainfall. In all plots, the response of the tensiographs installed at 20 cm and 40 cm depths was immediate and saturation occurred during the surface runoff. The rain event at the end of the dry season was less intense, with 17.4 mm and with an erosivity index of 126 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Some sediment transport was observed in the forested and bare plots, but not in the cultivated plot. All tensiographs in the bare soil plot, and the tensiograph at 70 cm in the forested plot indicated high water content. The other tensiographs showed

variable soil wetness; no change was indicated by the tensiographs at 70 cm and 100 cm. The surface runoff was verified by the absence of saturation. The minimum matrix potential occurred at 20 cm depth in cultivated and forested plots, respectively, 47 hours and 60 hours after the start of the rain.

Key-words: erosion, soil matrix potential, surface runoff, suspended sediment.

INTRODUÇÃO

Bacia hidrográfica é definida como o conjunto das terras composto por superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água que convergem até resultar em um leito único no exutório. É o ambiente ideal para estudos integrados em uma perspectiva global do ecossistema, pois no seu interior ocorrem todos os processos associados ao ciclo hidrológico, onde há a inter-relação da água com os diferentes compartimentos do sistema.

O monitoramento hidrológico de bacias hidrográficas tem sido ao longo do tempo uma ferramenta importante em pesquisas que visam a determinar as influências ambientais e antrópicas nas diversas fases do ciclo da água. Estas informações fornecem bases científicas para o manejo conservacionista da água e do solo, necessário para o desenvolvimento sustentável.

Pequenas áreas integrantes de uma vertente, denominadas “parcelas de erosão” (Bergsma *et al.*, 1996), também são freqüentemente utilizadas em pesquisas hidrológicas (Ploey & Gabriels, 1980). Estas parcelas têm dimensões reduzidas em relação à bacia hidrográfica, mas quando apropriadamente planejadas, permitem distinguir com precisão suficiente os componentes principais do ciclo hidrológico que ali ocorrem, podendo deste modo ser representativas. Estudos erosivos empregando parcelas resultaram em equações de estimativa de perda de solo, uma das quais, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS, ou Universal Soil Loss Equation, USLE), desenvolvida por Wischmeier & Smith (1978), vem sendo amplamente aceita e empregada, pela simplicidade conceitual e praticidade de aplicação. O método adota parâmetros desenvolvidos no país de origem, Estados Unidos, de maneira que para uso em outras regiões é necessário desenvolver parâmetros próprios, adaptados para as condições locais. Com esta finalidade, vários trabalhos empregando parcelas de erosão foram realizados sob condições brasileiras, tendo como exemplo Bertoni *et al.* (1972), que apresentam resultados de medições de perdas de solo realizadas em várias localidades do Estado de São Paulo, e concluíram que a vegetação florestal propicia menores perdas, sendo necessários 440.000 anos para desgastar 15 cm da camada superficial, seguida pela pastagem, cafezal e algodoal, com 4.000, 2.000 e 70

anos, respectivamente, para igual perda. Estes resultados embasam, na atualidade, vários métodos de conservação do solo (Bertoni & Lombardi, 1990).

DAEE (1989), compilando as informações disponíveis na literatura sobre os parâmetros da USLE desenvolvidos no Estado de São Paulo, elaborou o mapa do Potencial Natural à Erosão Laminar. Neste mapa, o município de Assis, inserido na bacia do Médio Paranapanema, foi classificado como tendo baixa suscetibilidade à erosão laminar, devido ao relevo com baixa declividade. Entretanto, segundo Max *et al.* (2003), “embora a declividade seja baixa, as vertentes longas, geralmente ultrapassando 2.000 m de extensão, favorecem os processos erosivos e o transporte de sedimentos para os cursos de água”. A energia advinda das chuvas, com valor anual oscilando entre 6.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 7.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (Rufino *et al.*, 1993), classificada segundo UFRGS (1992) como sendo de moderada a forte, também favorece a ocorrência de erosão. De fato, Brannstrom & Oliveira (2000), analisando documentos históricos, concluíram que o oeste do Estado de São Paulo, incluindo o município de Assis, com sua recente e rápida ocupação agrícola em solos arenosos, apresenta sinais de erosão intensa, com conseqüente degradação dos mananciais de água.

Há, portanto, necessidade de obter informações científicas em que se possam basear a recuperação e o manejo sustentável das bacias hidrográficas do oeste do Estado de São Paulo. No sentido de elucidar alguns aspectos relacionados aos mecanismos de erosão desta região, foram iniciados estudos a partir da instalação de parcelas de erosão na Floresta Estadual de Assis. A dinâmica da água pluvial na superfície e sub superfície do solo, assim como a quantidade de sedimentos transportados, estão sendo monitoradas para definir a influência da cobertura vegetal sobre a erosão do solo.

Neste capítulo são apresentados resultados preliminares da quantificação do escoamento superficial, do transporte de sedimentos e do potencial matricial do solo em três parcelas, decorrentes de dois episódios de chuva.

MATERIAL E MÉTODOS

Características locais

A Floresta Estadual de Assis encontra-se inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, e sua sede situa-se nas coordenadas geográficas de 22°30'S e 50°35'W, oeste do Estado de São Paulo. Ocupa as áreas mais altas do município de Assis, com altitudes que variam entre 500 e 580 m. (Max *et al.*, 2003).

Prado (1997) descreve o relevo como sendo suave ondulado, a litologia consistindo de arenito, pertencente ao Grupo Bauru, formação Adamantina; o solo, no local onde estão instaladas as parcelas, é Latossolo Vermelho Escuro álico A moderado textura média, composto por mais de 70% de areia. A composição granulométrica predominantemente arenosa torna este solo altamente suscetível à erosão (DAEE, 1989).

O clima, segundo classificação de Köppen, é transicional entre Cwa e Cfa (Queiroz *et al.*, 1979). Localiza-se no limite sul do grande domínio do cerrado, onde originalmente predominava a fisionomia denominada “cerradão” (Max *et al.*, 2003).

As parcelas de erosão

As unidades experimentais são as parcelas de erosão, cujas dimensões são 15,0 m de largura e 22,1 m de comprimento, definidas segundo o método de obtenção da Equação Universal de Perdas de Solo (Wischmeyer & Smith, 1978). Cada área é delimitada por placas de concreto, introduzidas no solo a uma profundidade de 40 cm, evitando assim a entrada de água superficial e subsuperficial rasa das adjacências. A instalação destas parcelas foi planejada de maneira que todas tenham o mesmo tipo de solo e a mesma declividade (aproximadamente 9%), sendo o uso do solo o fator diferencial entre elas.

Inicialmente as três parcelas estavam recobertas por gramíneas da espécie *Brachiaria decumbens*. Em janeiro de 1996, a parcela cultivada foi preparada para plantio de cana de açúcar, com calagem, adubação orgânica e química. Houve colheita anual por quatro vezes, até 1999. Novo plantio foi efetuado neste ano, sendo realizadas colheitas anuais até 2002. Em novembro de 2002, a parcela foi plantada com soja, e, em abril de 2003, substituída por aveia preta, colhida em setembro do mesmo ano.

Em maio de 1996, a parcela denominada “parcela reflorestada” foi plantada com mudas de espécies pioneiras e secundárias da região: *Croton floribundus*, *Croton urucurana*, *Acacia polyphylla*, *Cariniana estrellensis* e *Trema micrantha*. Utilizou-se espaçamento de 2 x 2 m, sendo a operação precedida em um mês por aplicação de herbicida, e em 15 dias por coveamento manual com adição de fertilizante.

A parcela descoberta recebeu capina freqüente a partir de janeiro de 1997, evitando-se o desenvolvimento de vegetação na superfície, representando assim a parcela desprovida de qualquer influência de cobertura vegetal e altamente sujeita aos efeitos erosivos do ambiente.

A Figura 1 mostra a localização das parcelas dentro da Floresta Estadual de Assis.

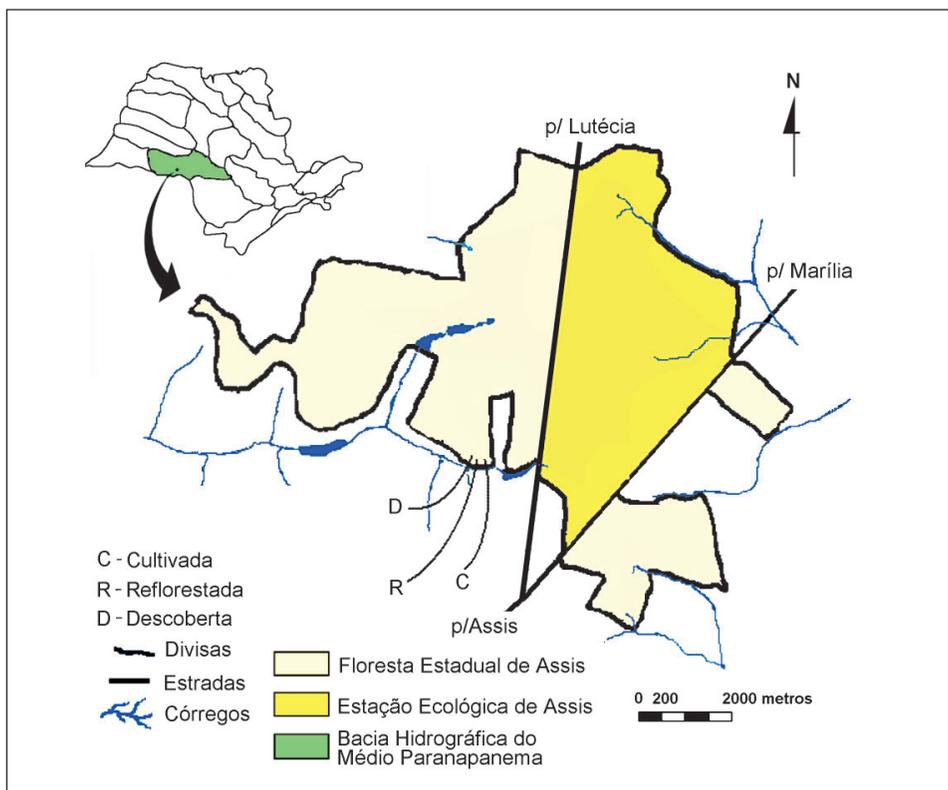


Figura 1. Localização da Bacia do Médio Paranapanema, no Estado de São Paulo e posicionamento das parcelas de amostragem de uso do solo na Floresta Estadual de Assis.

MÉTODOS

Na parte inferior de cada parcela foi instalada uma calha coletora de água do escoamento superficial e sedimentos, ligada a um tanque munido de corte triangular na extremidade oposta à da entrada de água, exercendo a função de vertedouro. Um linígrafo de borbulha, com precisão de 1 mm, registrou as variações no nível de água, que foram convertidas em vazão por meio de curva-chave, determinada para cada tanque. A resolução temporal para a medição da cota linimétrica foi de 2 minutos.

Tensiógrafos instalados às profundidades de 20, 40, 70 e 100 cm, em quatro posições no sentido do declive, forneceram o potencial matricial do solo nas parcelas.

Para fornecer registros da quantidade e intensidade de chuva, foi utilizado um pluviógrafo basculante, com precisão de 0,1 mm e resolução temporal de 5 minutos, instalado a 2 quilômetros da área experimental. A partir de março de 2003, a resolução temporal foi diminuída para 2 minutos, sendo o aparelho realocado junto às parcelas.

O material transportado sob forma de sedimentos em suspensão foi coletado utilizando um amostrador automático de água acoplado ao linígrafo, iniciando a coleta quando verificado aumento da cota linimétrica acima de valor pré estabelecido. Em um total de 24 garrafas disponíveis, sete foram reservadas para ocasiões com reduzido escoamento superficial, com amostragem a cada 30 minutos. As demais garrafas foram reservadas para cotas linimétricas maiores, com coletas realizadas em intervalos de 2 minutos, até a cota retornar ao nível inicial ou até esgotar as garrafas. Até 2000, as amostragens eram realizadas no interior do tanque. A partir de 2003, as alíquotas de água passaram a ser coletadas em reservatório acoplado à saída do vertedouro.

A Figura 2 mostra uma representação esquemática das instalações e dos equipamentos instalados nas parcelas.

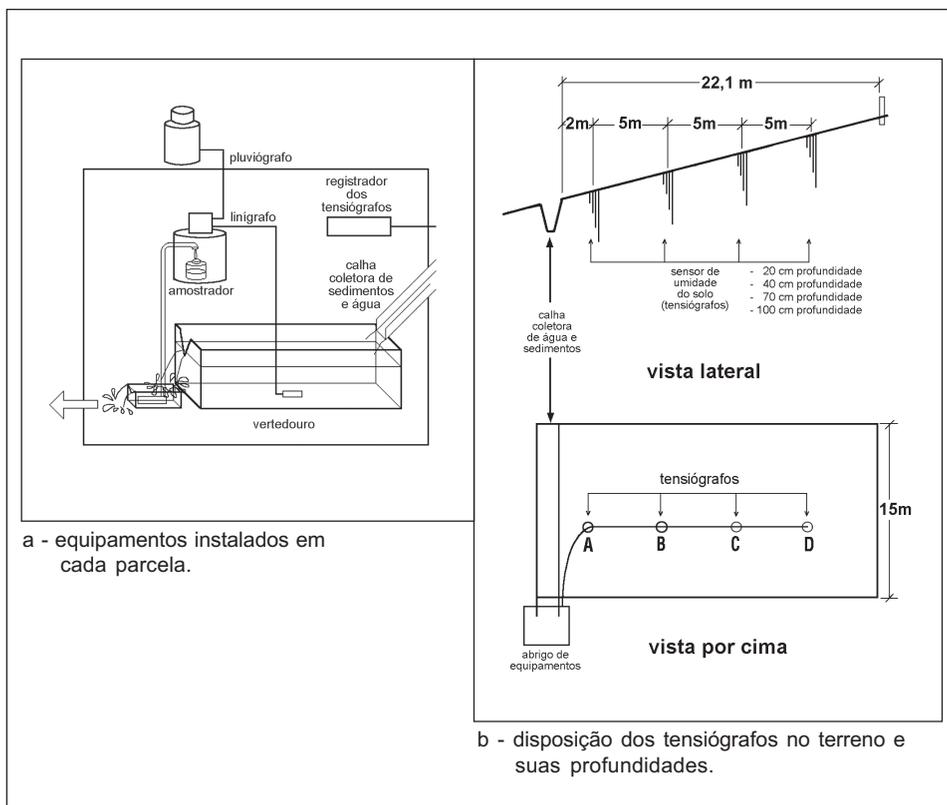


Figura 2. Ilustração esquemática das instalações e equipamentos utilizados em cada parcela. O pluviômetro foi instalado sobre o abrigo de equipamentos da parcela cultivada a partir de 2003.

A concentração do total de sedimentos em suspensão foi determinada mediante filtragem de alíquotas de 500 ml da água do escoamento superficial em filtros de fibra de vidro com porosidade igual a $0,1 \mu$, em sistema a vácuo, secas em estufa à temperatura de $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e submetidas a gravimetria.

A vazão sólida foi obtida multiplicando-se a concentração do total de sedimentos pela quantidade de água escoada. O produto deste valor pela resolução temporal forneceu o montante de sedimentos transportados no intervalo de tempo considerado e o somatório destes, o total de material transportado em suspensão durante o evento.

Também foi realizada a quantificação dos sedimentos transportados por arraste, mediante coleta do material depositado na calha e no fundo do tanque de medições, sendo o material seco em estufa e sua massa determinada por gravimetria.

Para cálculo da espessura de solo erosionado, foi obtida a densidade aparente do solo da camada superficial de todas as parcelas, pelo método do anel volumétrico. Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas de 400 cm^3 , entre 0 e 5 cm de profundidade, em abril de 2003, que foram submetidas a secagem em estufa à temperatura de $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ para determinação da massa. Uma alíquota desta amostra foi levada à estufa para volatilização da matéria orgânica e determinação gravimétrica do material mineral. O conteúdo orgânico foi determinado em porcentagem, em relação à matéria mineral, inorgânica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dois eventos hídricos foram estudados, um dos quais ocorrido em 17 de fevereiro de 1997, durante o período úmido, e parcialmente apresentado por Honda & Ochiai (1998). O outro evento ocorreu em 9 de outubro de 2003, sendo um dos primeiros após o período anual de estiagem. O presente capítulo adicionará às informações fornecidas por Honda & Ochiai (1998) a quantidade de sedimentos transportados por arraste, totalizando as perdas erosivas na parcela, e o monitoramento do potencial matricial do solo. O segundo evento será apresentado na íntegra.

Evento hídrico de 17 de fevereiro de 1997

Segundo Honda & Ochiai (1998), o montante total precipitado foi de 42,1 mm, podendo o evento ser dividido em duas partes: a primeira parte apresentou chuva de longa duração e baixa intensidade, enquanto a segunda parte foi intensa e pouco duradoura, com cerca de 38 mm entre 18:00 e 18:58h. Dois picos de intensidade ocorreram na segunda chuva: o primeiro entre 18:15h e 18:20h e o outro entre 18:35h e 18:40h, com respectivamente 7,7 mm e 5,2mm.

O intervalo entre as duas partes da chuva foi de cerca de 4:30 h, a partir do qual foi estabelecido que o solo estava úmido e em iguais condições de umidade em todas as parcelas, no início das amostragens. A intensidade máxima verificada durante o primeiro segmento do evento foi de 0,5 mm em 5 minutos, correspondente a 6 mm/hora, com energia cinética gerada de 16,3 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. O segundo segmento gerou 607,1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ de energia. Este valor pode ser considerado extremamente alto para um evento chuvoso, levando em conta os valores calculados por Rufino *et al.* (1993), pois corresponde a cerca de 1/12 do total anual por ele estabelecido para a região.

A Figura 3 apresenta a variação da intensidade da precipitação e do escoamento superficial nas parcelas. Apesar de ter sido verificado escoamento superficial no primeiro segmento do evento, comprovado pelo aumento da cota linimétrica no tanque de medições, problemas técnicos impossibilitaram a coleta de dados durante a sua ocorrência.

Segundo Aquino & Silva (2003), as chuvas podem ser classificadas em três padrões, quanto ao intervalo de tempo de ocorrência da sua intensidade máxima em relação ao tempo total de duração: 1) as que apresentam maior intensidade no intervalo de tempo menor a 30%, têm padrão avançado; 2) quando a intensidade

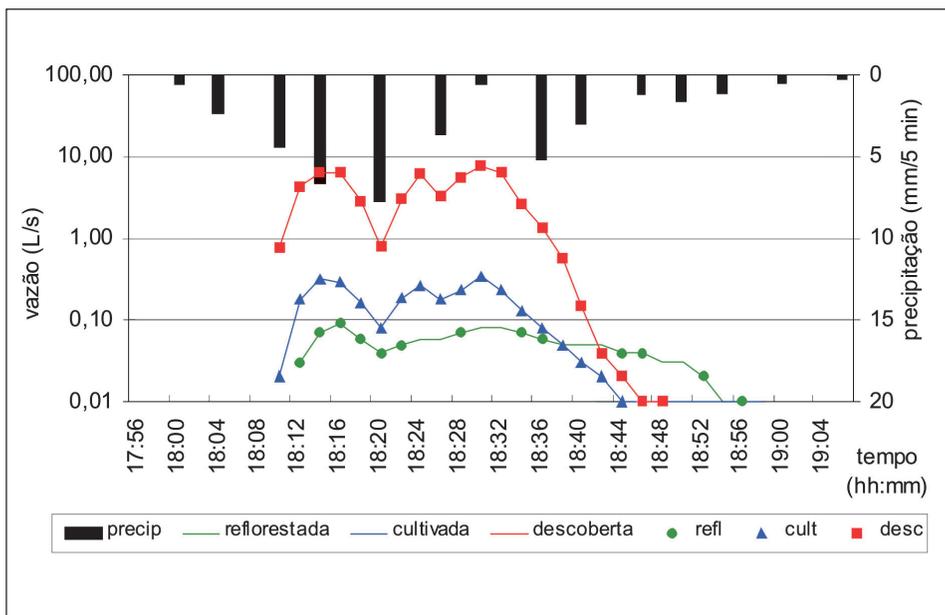


Figura 3. Variação da precipitação e da vazão líquida em três parcelas. Os símbolos (■, ▲, ●) indicam os momentos de amostragem de água do escoamento superficial, durante o evento chuvoso de 17 de fevereiro de 1997.

máxima está entre 30 e 60% do tempo total, o padrão é considerado intermediário; e 3) e o padrão atrasado caracteriza-se por apresentar máxima intensidade após a ocorrência de 60% de tempo. Chuvas com padrão atrasado, a exemplo do ocorrido em 17 de fevereiro de 1997, ou com padrão intermediário, são consideradas produtoras de maior quantidade de sedimentos e água, quando comparadas às chuvas de padrão avançado, possivelmente devido à maior umidade do solo antecedente ao pico de maior intensidade da chuva.

Em todas as parcelas, o escoamento superficial foi registrado cerca de 15 minutos após o início do segmento mais intenso do evento, junto a uma intensidade de 4,3 mm em 5 minutos de intervalo. Entretanto, foi visível um adiantamento dos valores máximos de vazão e concentração de sedimentos em relação à máxima intensidade de precipitação, decorrente da distribuição espacial da intensidade da chuva, sugerindo a necessidade de um pluviógrafo próximo às parcelas.

O escoamento superficial na parcela reflorestada apresentou maior tempo de duração, porém com menor montante de água; na parcela descoberta, a duração foi menor, mas maior quantidade de água foi perdida, cerca de metade da precipitação; na parcela cultivada, a duração foi similar à da área descoberta, mas os valores foram pequenos. Dessa forma, houve infiltração de quase a totalidade da água precipitada nas parcelas cultivada e florestada, demonstrando predominância dos processos de subsuperfície em vertentes com estes recobrimentos. Na área descoberta, mais da metade da chuva deixou a vertente durante o evento, carregando grande quantidade de sedimentos em suspensão (Tabela 1). A perda de solo, em mm, foi obtida mediante uso da densidade da camada superficial do solo, de 1,17 g/cm³, 1,42 g/cm³ e 1,46 g/cm³, respectivamente, nas parcelas reflorestada, cultivada e descoberta.

A maior concentração de sedimentos em suspensão foi verificada na parcela descoberta, seguida pela parcela cultivada (Figura 4). A vazão sólida mais alta também ocorreu na parcela descoberta, com 2.082,6 g/2 minutos, no intervalo seguinte ao máximo de escoamento superficial.

Não foram verificados sedimentos no tanque de medição e na calha coletora da parcela reflorestada, a partir do que se conclui que não houve material transportado por arraste. Na área cultivada, o montante de sedimentos arrastados foi de cerca de quatro vezes em relação aos transportados em suspensão. Na parcela descoberta, a quantidade de sedimentos perdidos por arraste foi quase equivalente à quantidade transportada por suspensão, resultando, para uma única chuva, em remoção de solo superior a 0,7 ton/ha. Bertoni & Lombardi (1990) estabelecem tolerância média de perda de solo de 15,0 ton/ha/ano para o Latossolo Vermelho escuro fase arenosa, o equivalente a cerca de vinte eventos chuvosos similares ao estudado. Os resultados mostram a vulnerabilidade do solo em período de preparo para plantio, quando fica descoberto e sujeito a eventos hídricos potencialmente erosivos.

Tabela 1. Quantidade de sedimentos movimentados, perda de solo e de água em cada parcela no evento hídrico de 17 de fevereiro de 1997, Assis, SP.

variável		Parcelas		
		reflorestada	cultivada	descoberta
Sedimento deslocado (g/parcela)	em suspensão	9,7	205,3	12.536,8
	Por arraste	0	832,0	11.862,0
	Total	9,7	1.037,3	24.398,8
Perda de solo	kg/ha	0,29	31,28	736,0
	mm	$2,5 \times 10^{-7}$	$2,1 \times 10^{-4}$	0,05
Perda de água	mm	0,4	1,0	21,4
	% esc.sup/P	1,1	2,8	56,3

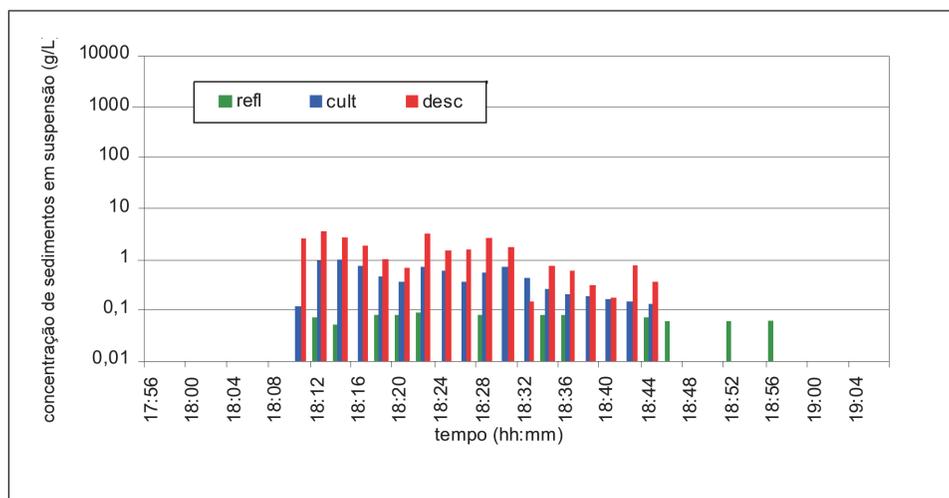


Figura 4. Variação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS), durante o evento chuvoso de 17 de fevereiro de 1997, Assis, SP.

Durante o evento chuvoso, a parcela com cana-de-açúcar apresentou perda de solo e água da ordem de 4% e 5%, respectivamente, em relação à área descoberta. Estes valores foram inferiores aos encontrados por Bertoni *et al.* (1972), que classificaram a cana-de-açúcar como uma das culturas agrícolas que, se bem condizadas, propiciam proteção ao solo e água, controlando 90% das perdas de solo e 75% das perdas de água em relação a áreas desprovidas de vegetação. De fato, a perda de água da parcela cultivada foi pouco superior à perda verificada na parcela

florestada, uso do solo considerado de máxima eficiência no controle de erosão por Kawaguchi (1951), que, tomando como base a quantidade de sedimentos provenientes de áreas florestais, determinou perda de sedimentos da ordem de 10 a 100 vezes maior em áreas recobertas por vegetação rasteira, e de cerca de 100 a 1000 vezes superior em áreas descobertas. No presente estudo, o total de sedimentos removidos das parcelas cultivada e descoberta foi de aproximadamente 109 e 2.500 vezes, respectivamente, em comparação ao verificado na parcela florestada.

As figuras 5a, 5b e 5c apresentam as variações ocorridas no potencial matricial do solo às profundidades de 20, 40, 70 e 100 cm, durante todo o evento chuvoso. Apesar de terem sido instalados quatro conjuntos de tensiógrafos em cada parcela, a diferença verificada no comportamento da tensão matricial entre os conjuntos instalados em diferentes posições no terreno de uma mesma parcela foi pequena, de maneira que, no presente trabalho, estão apresentados os valores de um conjunto de tensiógrafos por parcela.

No início do evento chuvoso, os valores dos tensiógrafos indicavam potencial matricial semelhante, entre -3,0 Kpa e -5,5 Kpa, próximo à saturação (Lopes, 1984), em todas as parcelas e em todas as profundidades, reflexo de três dias chuvosos, que somaram 33,5 mm de chuva e antecederam o evento estudado.

Na primeira fase do evento chuvoso, todos os tensiógrafos a 20 cm de profundidade, em todas as parcelas, responderam rapidamente, e a tensão mínima ocorreu meia hora após a máxima intensidade de precipitação na parcela cultivada e, nas demais, cerca de uma hora e meia após o pico de precipitação. Não foi verificado potencial matricial nulo durante esta fase do evento chuvoso, mas em todas as parcelas houve escoamento superficial. Na parcela cultivada, o tensiógrafo a 40 cm de profundidade respondeu rapidamente à chuva, alcançando valores próximos ao do tensiógrafo a 20 cm, não atingindo, porém, a saturação. Nas demais parcelas, a resposta dos tensiógrafos a 40 cm de profundidade foi relativamente lenta.

Na segunda fase do evento chuvoso, todos os tensiógrafos, em todas as parcelas, apresentaram modificações. No mesmo intervalo de tempo em que houve máxima intensidade de precipitação, ocorreram valores nulos de tensão matricial a 20 cm de profundidade em todas as parcelas, e na parcela cultivada a 40 cm de profundidade; na parcela reflorestada, o valor nulo a 40 cm de profundidade foi atingido no intervalo seguinte, após meia hora. Nas demais profundidades, a resposta foi menos intensa e mais lenta quanto maior a profundidade considerada.

Verificou-se semelhança entre o comportamento dos tensiógrafos das áreas reflorestada e descoberta, o que pode estar relacionado ao fato de que ambas as parcelas ainda podiam estar sob influência do uso anterior do solo: a primeira capi-

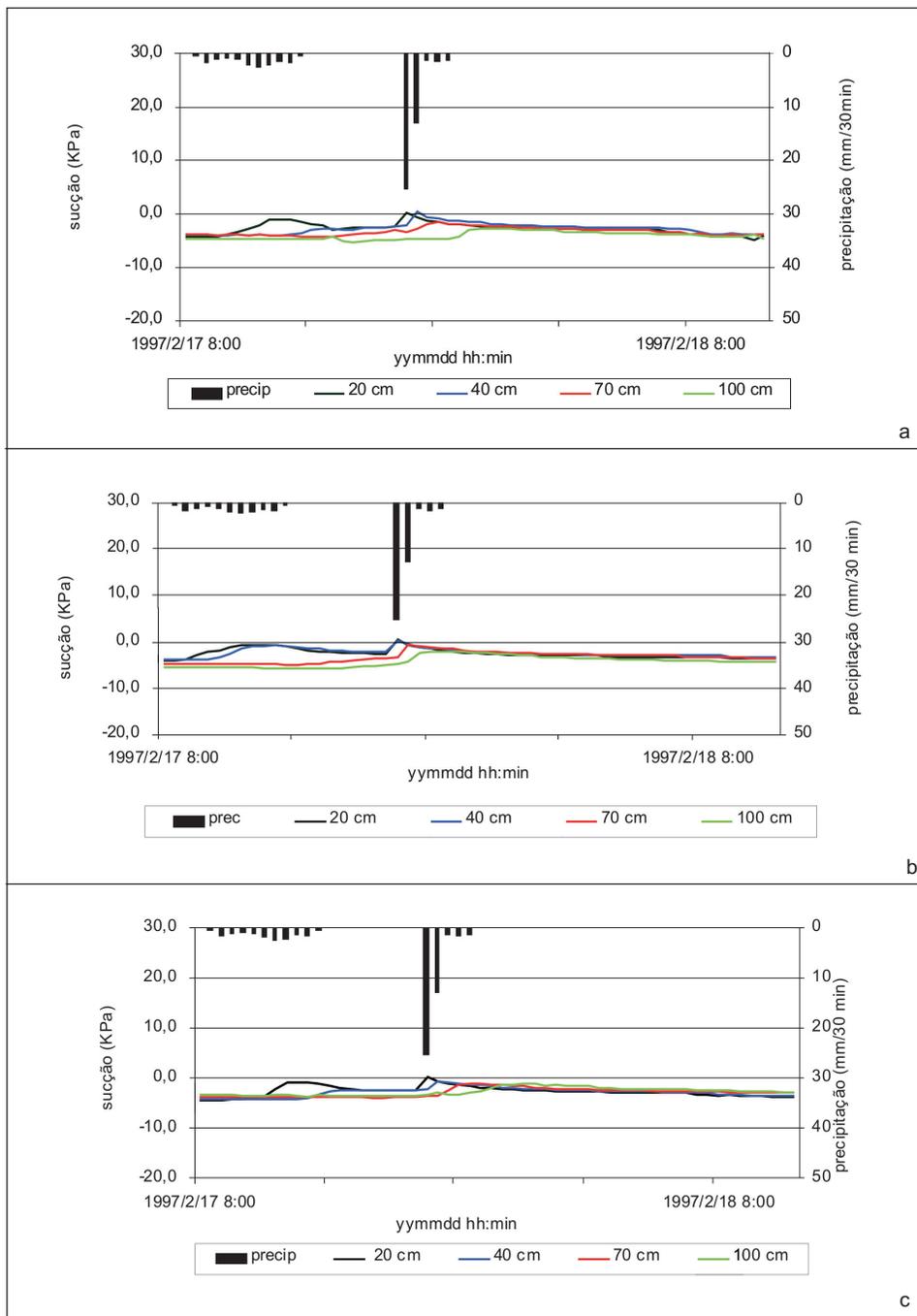


Figura 5. Variação do potencial matricial do solo em função do tempo, na parcela reflorestada (a), cultivada (b), e descoberta (c), no evento hídrico de 17 de fevereiro de 1997, em Assis, SP.

na e revolvimento manual da parcela descoberta foram realizados em janeiro de 1997, um mês antes do presente evento chuvoso, e a parcela reflorestada encontrava-se com mudas de árvores entre 0,5 m e 1,5 m de altura, sem dossel formado e o solo recoberto por vegetação rasteira. Por outro lado, a parcela com cana-de-açúcar já estava cultivada há um ano. Estando as raízes da cana-de-açúcar concentrados na camada entre 0 e 35 cm da superfície do solo (Müller *et al.*, 2003), submetidas ao ciclo anual de crescimento e morte (Anghinoni & Meurer, 1999), interpreta-se que estas, após o seu apodrecimento, passariam a ser condutas de água, contribuindo para uma rápida condução da água da superfície para maiores profundidades (Iwasaki, 1984; Burgess *et al.*, 2001), o que explica a rápida resposta do potencial matricial a 40 cm de profundidade nesta área.

Evento hídrico de 09 de outubro de 2003

O evento chuvoso de 09 de outubro de 2003 foi precedido por uma estiagem severa, com mês antecedente caracterizado pela distribuição irregular de chuvas: entre os dias 09 e 11 de setembro ocorreu precipitação de 57 mm, e o total de chuvas durante o período posterior a esta data até o dia 08 de outubro, foi de 11 mm. No dia 06 de outubro houve precipitação de 4mm, de maneira que a superfície do solo, assim como a serapilheira, estavam extremamente ressecadas.

O montante total precipitado no dia 09 de outubro de 2003 foi de 17,4 mm, em evento chuvoso cuja duração foi de 98 minutos. A intensidade máxima verificada foi de 3 mm em 2 minutos. A energia cinética gerada correspondeu a 125,7 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, valor de ocorrência freqüente na região (Honda *et al.*, 2004, no capítulo 5 desta obra). O padrão da chuva foi adiantado, o que caracteriza o evento como pouco produtor de sedimentos e água (Aquino & Silva, 2003).

A Figura 6 apresenta a variação da intensidade da precipitação e a resposta hidrológica das parcelas. Foi constatado escoamento superficial nas três áreas, 16 minutos após o início da chuva, juntamente com a máxima intensidade de precipitação. O pico de vazão nas parcelas descoberta e reflorestada ocorreu no intervalo seguinte ao máximo de precipitação e, na parcela cultivada, dez minutos após a máxima intensidade da chuva.

A duração do escoamento superficial foi equivalente nos três locais, com maior volume de água escoada na parcela descoberta, seguida pelas parcelas reflorestada e cultivada. Este resultado é conflitante com o observado no evento chuvoso de 17 de fevereiro de 1997 e com os verificados na bibliografia, onde áreas cultivadas geram mais perda de água em forma de escoamento superficial,

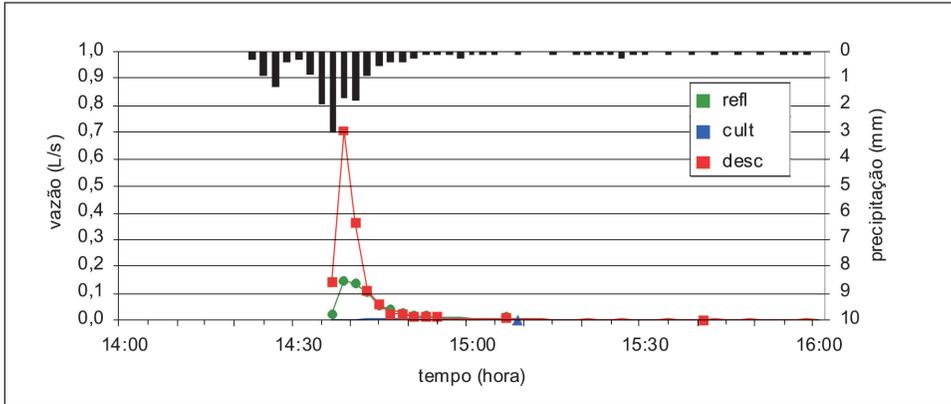


Figura 6. Variação da precipitação e da vazão líquida em três parcelas, os símbolos (■, ▲, ●) indicam os momentos de amostragem de água do escoamento superficial, durante o evento chuvoso de 09 de outubro de 2003, Assis, SP.

em relação a áreas com vegetação florestal (Bertoni *et al.*, 1972). O comportamento aqui obtido pode estar relacionado com as propriedades físicas do solo, que foram influenciadas pela matéria orgânica aí existente. Uma vez que a quantidade de material orgânico, na camada entre 0 e 5 cm do solo, foi similar entre as parcelas florestada e cultivada, de 3,04 e 2,89 %, respectivamente, contra 2,34 % na parcela descoberta, inferiu-se que o decorrido pode ser consequência da diferença nas características dimensionais da matéria orgânica. Se, por um lado, na parcela cultivada os restos culturais estavam visíveis e não incorporados ao solo, que por sua vez estava exposto em alguns pontos, por outro, na parcela florestada havia serapilheira com cerca de 2 cm de espessura, e a sua interface com o solo era difusa, demonstrando incorporação eficiente do material orgânico ao substrato mineral. Esta característica, associada ao ressecamento causado pela estiagem, pode ter criado hidrofobicidade da camada superficial do solo da floresta, propiciando a formação de caminhos preferenciais de drenagem. Fenômeno semelhante foi documentado por Lacrau *et al.* (2001) em plantações de *Eucalyptus* no Congo, em solo arenoso, no final do período seco.

Os maiores valores de concentração de sedimentos em suspensão ocorreram na parcela descoberta, sendo obtidos também nesta parcela os maiores valores de escoamento sólido, cujos picos acompanharam os picos de vazão líquida (Figura 7).

Houve pequena perda de sedimentos em suspensão nas parcelas reflorestada e descoberta, com 1,4 g e 330,0 g, respectivamente (Tabela 2). A amostragem efetuada na parcela cultivada não indicou transporte de sedimentos em suspensão, e não foi constatado sedimento transportado por arraste em nenhuma parcela.

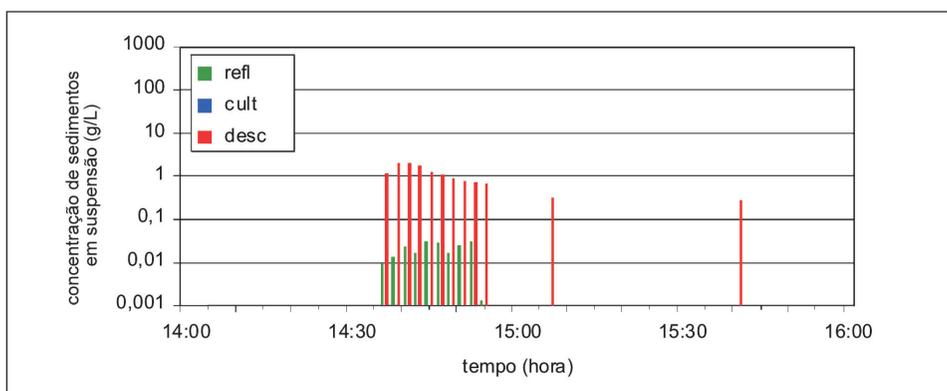


Figura 7. Variação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS), durante o evento chuvoso de 09 de outubro de 2003, em Assis, SP.

Tabela 2. Quantidade de sedimentos movimentados, perda de solo e de água em cada parcela no evento hídrico de 09 de outubro de 2003, Assis, SP.

variável		reflorestada	Parcelas cultivada	descoberta
Sedimento deslocado	em suspensão por arraste	1,4	0	330,0
	Total (g/parcela)	1,4	0	330,0
Perda de solo	kg/ha	0,042	0	9,96
	mm	$3,4 \times 10^{-8}$	0	$6,8 \times 10^{-6}$
Perda de água	mm Q/P	0,24	0,03	0,57
	% Q/P	1,4	0,2	3,3

As Figuras 8a, 8b e 8c apresentam as variações ocorridas no potencial matricial do solo durante o evento.

O potencial matricial medido nos tensiógrafos da parcela descoberta, em todas as profundidades, e a 70 cm na parcela reflorestada, na ocasião do início do evento, indicavam alto conteúdo de umidade. Milghen (1977) relata que, em solo descoberto, grande parte da água nas camadas subsuperficiais permanece no seu interior, apesar da evaporação inicial rápida e intensa, enquanto o conteúdo de umidade da camada superior é elevado. Com a dessecação da camada superficial, esta passa a impedir o prosseguimento das perdas evaporativas, o que explica o alto conteúdo de água em solos sem recobrimento vegetal. Isto facilita a ocorrên-

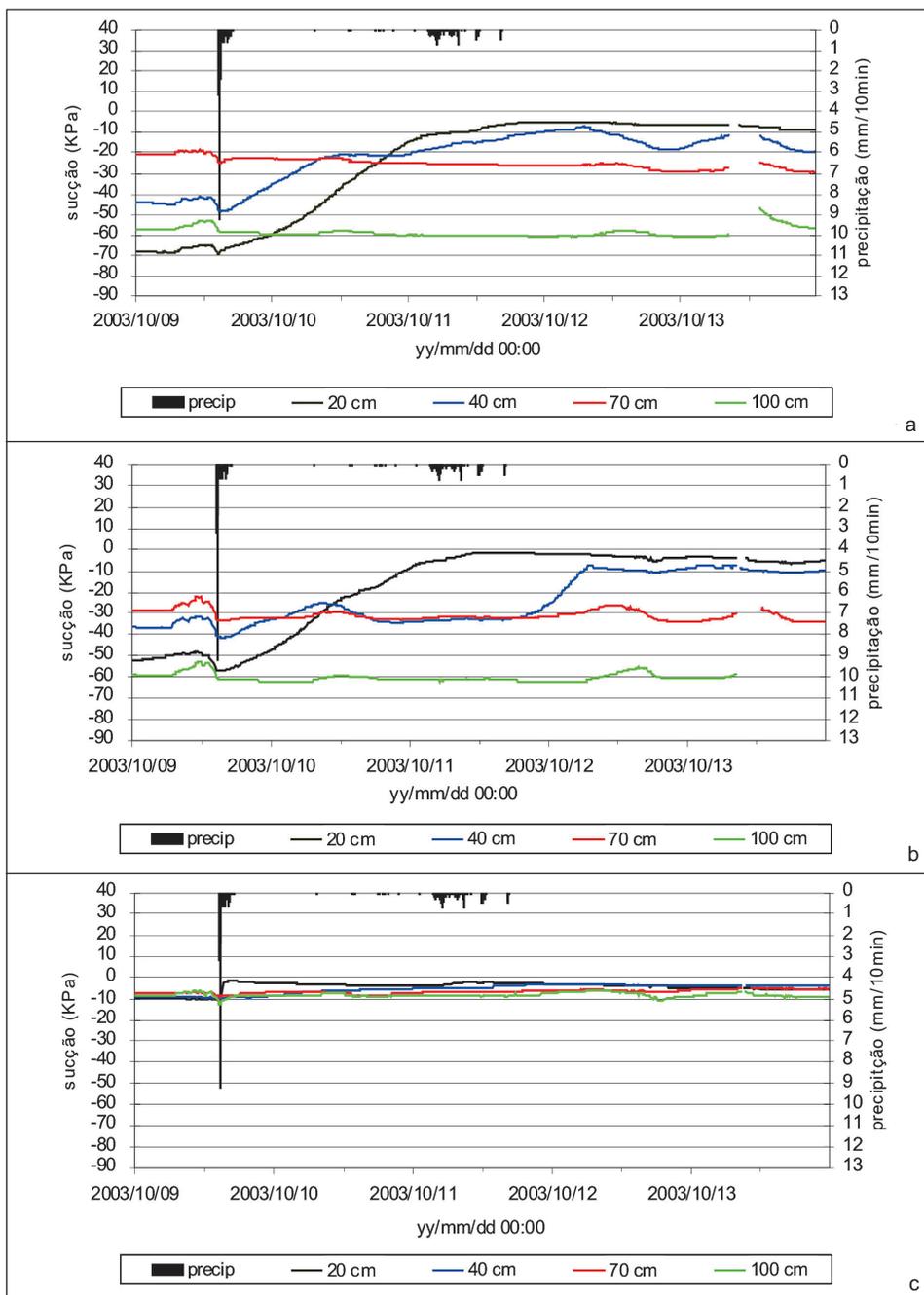


Figura 8. Variação do potencial matricial do solo em função do tempo, nas parcelas reflorestada (a), cultivada (b), e descoberta (c), durante e após o evento hídrico de 09 de outubro de 2003, em Assis, SP.

cia de escoamento superficial, pois solos com mais umidade têm a capacidade de infiltração diminuída e necessitam de menor quantidade de água para recarga (Tsukamoto, 1992). Este fato, aliado ao encrostamento da camada superficial em solos descobertos (Mihara, 1951) aumenta o volume de água perdido no fluxo superficial e de solo por ele carregado.

O comportamento da evaporação no solo é alterado quando há a presença de vegetais na sua superfície, que exploram a disponibilidade hídrica através do seu sistema radicular: quanto mais profundo e ramificado, maior a eficácia no aproveitamento de água (Anghinoni & Meurer, 1999; Monteith, 1988). As espécies arbóreas têm tendência a explorar maior volume do solo, uma vez que o seu sistema radicular é mais profundo (Jama *et al.*, 1998), o que explica os maiores valores do potencial matricial inicial na parcela reflorestada.

O potencial matricial relativamente baixo encontrado em tensiógrafos a 70cm de profundidade nas parcelas com recobrimento vegetal, pode ser reflexo dos eventos chuvosos de 9 a 11 de setembro que, entretanto, não chegaram a atingir a profundidade de 100 cm, onde elevados valores de potencial matricial indicavam baixa umidade.

Com o início da precipitação houve, na parcela descoberta, a diminuição da tensão matricial do tensiógrafo a 20cm de profundidade. Este atingiu valor mínimo em uma hora após a primeira intensidade máxima de chuva e variou em função da variação na intensidade de precipitação. A resposta dos tensiógrafos a 40 e 70 cm foi lenta e pouco intensa, sendo que estes atingiram o mínimo de tensão, respectivamente, cerca de 58 e 64 horas após o intervalo com máxima intensidade de chuva.

Nas parcelas reflorestada e cultivada, os tensiógrafos a 20 e 40 cm iniciaram a resposta simultaneamente à ocorrência da chuva. Em ambas as parcelas, a tensão matricial mínima a 20cm de profundidade foi atingida em cerca de 50 horas após o máximo de intensidade de chuva. A 40 cm de profundidade, a tensão matricial variou de maneira diversa entre as duas parcelas, mas os valores mínimos foram atingidos cerca de 72 horas após o pico de chuva. O intervalo de tempo entre a máxima intensidade de chuva e a tensão matricial mínima nos tensiógrafos foram maiores no evento hídrico de 9 de outubro de 2003, em comparação com o verificado no evento hídrico de 17 de fevereiro de 1997, podendo ser consequência da condutividade hidráulica, que é tanto maior quanto maior a umidade do substrato (Tsukamoto, 1992).

Durante o escoamento superficial do evento chuvoso de 9 de outubro de 2003 não houve saturação do solo, o que caracterizou um escoamento superficial do tipo hortoniano.

CONCLUSÕES

Os diferentes usos do solo influenciaram de maneira diversa a resposta hidrológica da parcela, em função das características da chuva e de umidade antecedente do solo.

Um evento chuvoso grande, em condições de alta umidade do solo, acarretou altas perdas de sedimentos e água na parcela desprovida de vegetação. Todas as áreas apresentaram escoamento superficial, e todos os tensiógrafos instalados a 20 cm de profundidade acusaram saturação do solo. O total de sedimentos retirados da parcela descoberta, em um evento chuvoso, foi de cerca de 1/20 da taxa de renovação anual do solo, o que demonstra a vulnerabilidade do solo em épocas de preparo para plantio, quando este se encontra desprovido de recobrimento e sujeito a chuvas intensas. Nas parcelas com recobrimento vegetal, inclusive na área cultivada, as perdas foram menores, com infiltração de quase totalidade da chuva, indicando ocorrência de processos de subsuperfície em maior proporção.

Uma pequena precipitação, em condições de baixa umidade do solo e grande ressecamento da superfície, acarretou perda de solo e água menor ou nulo. A perda de água foi maior na parcela descoberta, seguida pela área florestada e cultivada. O maior volume de escoamento superficial na parcela reflorestada em relação à cultivada, foi atribuído às condições de ressecamento e características da matéria orgânica, incorporada eficientemente na superfície do solo florestal, que pode ter acarretado hidrofobicidade na camada superficial, criando caminhos preferenciais de drenagem.

Há necessidade de acúmulo de dados para possibilitar a determinação do valor de erodibilidade (*K*) para o solo em estudo e das relações entre erosividade de chuvas e quantidade de solo erodido, e também para elucidar, de forma mais clara, as influências do uso do solo no comportamento da água de superfície e sub superfície.

AGRADECIMENTOS

À JICA, pela oportunidade ímpar de conhecer melhor o ambiente em que vivemos e assim corrigir erros passados, garantindo o futuro das próximas gerações;

Ao corpo técnico, administrativo e executivo da Floresta Estadual de Assis, pelo apoio;

Ao Instituto Florestal e Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo;

Aos revisores anônimos, pela valiosa contribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anghinoni, I. & Meurer, E.J. 1999. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. **In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS. Anais...**, Aracaju. p. 57-87.

Aquino, R.F. & Silva, M.L.N. 2003. Padrões de chuvas e potencial erosivo para o município de Lavras (MG). **In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SOLOS, 29. Anais...** Ribeirão Preto. (Em CD ROM).

Brannstrom, C. & Oliveira, A.M.S. 2000. Human modification of stream valleys in the western plateau of São Paulo, Brazil: implications for environmental narratives and management. **Land Degradation & Development, 11**:535-548.

Bergsma, E.; Charman, P; Gibbons, F.; Hurni, H; Moldenhauer, W.C. & Panichapong, S. 1996. **Terminology for soil erosion and conservation.** Wageningen. 313 p.

Bertoni, J & Lombardi Neto. 1990. **Conservação do Solo.** São Paulo: Ícone, 356p.

Bertoni, J; Pastana, F.I.; Lombardi Neto, F. & Benatti Jr., R. 1972. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agronômico.** Campinas: Instituto Agronômico. 56 p. (Circular 20).

Burgess, S.S.O.; Adams, M.A.; Turner, N.C.; White, D.A. & Ong, C.K. 2001. Tree roots: conduits for deep recharge of soil water. **Oecologia, 126**:158-165.

Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas, diretrizes para o planejamento urbano e regional, orientações para o controle de boçorocas urbanas.** São Paulo: D.A.E.E. 92 p.

Honda, E. A. & Ochiai, H. 1998. Influência do uso do solo no escoamento superficial e no transporte de sedimentos. **In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 3. Anais...**, Belo Horizonte, p. 35-41.

Iwasaki, Y. 1984. Soil and water loss in linigraphs. **Reports from Experimental Forests, Tohoku Branch, 272**:1-6.

Jama, B.; Buresh, R.J.; Ndufa, J.K. & Shepherd, K.D. 1998. Vertical distribution of roots and soil nitrate: tree species and phosphorus effects. **Soil Sci.Soc. Am. J., 62**:280-286.

Kawaguchi, T. 1951. Studies of soil erosion on mountain area (1):Statistical studies by the former data. **Reports from Experimental Forests, 61**:1-44.

Lacrau, J.P; Arnaud, M.; Bouillet, J.P. & Ranger, J. 2001. Spatial distribution of *Eucalyptus* roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the stand to take up water and nutrients. **Tree Physiology, 21**:129-136.

Lopes, A.S. 1984. **Solos sob “cerrado”- características, propriedades e manejo.** 2ª Edição. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato. 162 p.

Max, J.C.M.; Melo, A.C.G.; Honda, E.A.; Durigan, G.; Malícia, L.C.; Souza, M.B.M.; Cardoso, M.M.; Vilas Boas, O. & Contiéri, W.A. 2003. **Plano de Manejo da Floresta Estadual de Assis.** Floresta Estadual de Assis: Assis. 75p. (não publicado)

Mihara, Y. 1951. **Rainsplash and soil erosion.** Relatório do Instituto de Pesquisa de Tecnologia Agrícola, n. A-1, p. 1-59.

Milghen, I. 1977. **Water at the Surface of the Earth**. Academic Press. 557 p.

Monteith, J.L. 1988. Does transpiration limit the growth of vegetation or vice versa?. **Journal of Hydrology**, **100**:57-68.

Müller, M.M.L.; Neves, C.S.V.J.; Moraes, M.H.; Guimarães, M.F. & Paiva, D.A. 2003. Crescimento radicular de cana de açúcar em áreas de monocultivo. **In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SOLOS**, 29. **Anais...** Ribeirão Preto. (Em CD ROM).

Ploey, J. & Gabriels, D. 1980. **Measuring soil loss and experimental studies**. **In: Kirkby, M.J.; Morgan, R.P.C.** (eds.), Soil Erosion. Wiley & Sons. pp. 63-108.

Prado, H. 1997. **Os solos do Estado de São Paulo: Mapas pedológicos**. Piracicaba, Divisão de Biblioteca e Documentação, Campus Luiz de Queiroz/USP, 205 p.

Queiroz, E.S.; Neumaier, N. & Torres, E. 1979. **Ecologia e manejo da cultura**. **In: Embrapa**. Centro Nacional de Pesquisas da Soja. Ecologia, Manejo e Adubação da Soja. Londrina. 91 p. (Circular Técnica, 2).

Rufino, R.L.; Biscaia, R.C.M. & Merten, G.H. 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **17**:439-444.

Tsukamoto, Y. 1992. **Forest Hydrology**. Tokyo: Bunmeido. 322 p.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 1992. **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS. 100 p.

Wischmeier, W.H & Smith, D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington D.C., USDA, Agriculture Research Service. 58 p. (Agricultura Handbook, 735).

