

ESCOAMENTO SUPERFICIAL PLUVIAL NA FLORESTA SECUNDÁRIA DAS ENCOSTAS DA SERRA DO MAR, REGIÃO DE CUBATÃO, SP¹

Marco Aurélio NALON²
Ana Cristina V. VELLARDI²

RESUMO

No período entre abril/88 a março/90, realizaram-se estudos hidromorfológicos em uma área experimental drenada por canais pluviais, com área de 0,63 ha, localizada à margem esquerda do rio Pilões, região de Cubatão, SP - Parque Estadual da Serra do Mar. Esses estudos visaram a compreensão da dinâmica da água através do acompanhamento de elementos do balanço hídrico, tais como: precipitação total (PT), precipitação interna (PI), escoamento pelo tronco (ET), penetração (PN), interceptação (IN), escoamento superficial pluvial (ESP) e armazenagem de água no solo (AS). No presente trabalho são apresentados os resultados parciais de ESP. Sua correlação com a precipitação total (PT) foi verificada pela equação de regressão:

$$ESP = 0,0389 + 0,0627 * PT$$

O ESP representou 1,50% da PT. Os fatores que influenciaram o comportamento do ESP foram a frequência e a intensidade das chuvas.

Palavras-chave: Escoamento superficial pluvial, precipitação total, armazenagem de água no solo.

1 INTRODUÇÃO

A Serra do Mar paulista compreende um trecho do território extremamente problemático, em virtude da sensibilidade dos aspectos físicos que a caracterizam. O entendimento da dinâmica hidrológica, sobretudo da precipitação pluviométrica, do escoamento pluvial e da erosão do solo, principalmente do tipo escorregamentos, compreende um dos aspectos básicos para o equacionamento dos problemas e definições dos critérios para o tratamento da área. Consciente dessa problemática, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, através do Instituto Florestal, firmou convênio com a PETROBRÁS para execução de um programa de pesquisa, do qual este trabalho é componente.

Visando conhecer o comportamento e distribuição da água proveniente da precipitação, em escala pontual, foi implantado um estudo experimental em uma área amostral pouco degradada nas encostas da Serra do Mar. Este estudo englobou a medição da precipitação

ABSTRACT

From April/88 to March/90, hydromorphological studies were made in experimental area drained for intermittent stream, with 0,63 ha, localized in left margin of Pilões river in Cubatão valley, "P. E. da Serra do Mar". This is a sample of not much degraded area. The objective of this study was the knowledge of water dynamic through the control of water budget: gross precipitation (PT), throughfall (PI), stemflow (ET), penetration (PN), interception (IN), overland flow (ESP) and infiltration (AS). Show here partial results from overland flow. The equation that relate these parameter with gross precipitation, are the following:

$$ESP = 0,0389 + 0,0627 * PT$$

The overland flow correspond to 1,50% of gross precipitation. The frequency and intensity of rainfall were the principal influence in the overland flow.

Key words: Overland flow, gross precipitation, infiltration.

total que atingiu a área experimental, com a instalação de pluviômetro e pluviógrafo, e do escoamento superficial pluvial, com a instalação de calhas coletoras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CRUZ (1982), na Serra do Mar, região de Caraguatatuba, coletou dados do transporte de sedimentos pelo escoamento pluvial em vertentes revestidas por florestas e em áreas de reflorestamento de *Pinus*. Segundo a autora, os resultados mostraram que não ocorreram grandes diferenças no escoamento pluvial e no transporte de sedimentos em áreas de florestas naturais e reflorestadas de *Pinus*, naquelas condições. A invasão de espécies herbáceas e arbustivas e liteira impede o escoamento superficial pluvial mais intenso em ambos os casos. Ressaltou também que o desmatamento é um dos maiores propulsores para a dinamização dos processos geomorfológicos.

(1) Suporte Financeiro: Convênio IF/PETROBRÁS/SMA.

(2) Instituto Florestal - C.P. 1322-01059 - São Paulo-SP-Brasil.

DOMINGUES (1983) estudou as formações superficiais, as formas e as declividades das vertentes no estudo de dinâmica fluvial e evolução das vertentes das escarpas da Serra do Cubatão. Estes fatores aliados à pluviosidade representam fortes impulsos de energia aos processos fluviais na dinâmica atual. Concluiu que, na área estudada, o escoamento fluvial promove a dinâmica de várias modalidades de processos, principalmente nas formações dos taludes de detritos que recapeiam as baixas vertentes e o canal fluvial. Estes depósitos recentes apresentam até 10 metros de espessura, com matriz areno-argilosa que envolve blocos e matacões, resultando em superposição de camadas muito heterogêneas, inconsolidadas e fortemente permeáveis. Estas características aliadas às declividades predominantes superiores a 22° e precipitações de até 442,0 mm diários (29/jan/1970) justificam a existência de "sumidouros" e de outros fenômenos de variações no comportamento do escoamento, que caracterizam a complexidade do regime fluvial e da perenidade dos rios das escarpas.

LIMA (1988) estudou o escoamento superficial, as perdas de solo e de nutrientes em 5 microparcels dotadas de sistema coletor de enxurrada e sedimentos, reflorestadas com eucalipto em solos arenosos, no município de São Simão, SP. Acompanhou os experimentos durante um período de 4 anos, sendo que uma parcela permaneceu sem vegetação como testemunha, com o objetivo de verificar o processo de erosão e de perdas de nutrientes em função do reflorestamento. No 1º ano foram altas as médias de escoamento superficial e perdas de solo, respectivamente, de 1,7 a 3,2% da precipitação, e de 1,0 a 10,4 t/ha. Essas taxas diminuíram com o crescimento do eucalipto nas parcelas reflorestadas, para 0,5% da precipitação para o escoamento superficial e 0,01 t/ha para as perdas de solo, enquanto a microparcela sem vegetação permaneceu com altas taxas de escoamento superficial e perdas de solo. Concluiu que a maior fração das chuvas infiltra-se, portanto, a maior proporção de deflúvio de bacias hidrográficas, é produzida por processos de sub-superfície e que as perdas de solo estão relacionadas com o escoamento superficial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para seleção da área de estudo foram considerados vários parâmetros em função dos objetivos. O grau de degradação da cobertura vegetal constituiu o principal parâmetro de seleção, considerando-se os aspectos fitofisionômicos, como porte, densidade, extrato e diversidade de espécies. Também considerou-se a ordem, extensão e definição topográfica e morfológica dos interflúvios das bacias de drenagem, bem como a morfologia das vertentes - declividade, amplitude topográfica, exposição de solo e movimentos de massa.

A linha metodológica experimental adotada prevê, no caso de estudos de processos em vertentes, a instalação de parcelas experimentais de ensaio e visa medir e levantar parâmetros físicos para análise, corre-

ção e interpretação dos fenômenos do escoamento superficial pluvial. Dessa forma, foram utilizadas calhas coletoras modelo GERLACH (FIGURA 3), adaptada de GERLACH (1967).

Para o dimensionamento dessas calhas, foi efetuado um levantamento dos dois maiores totais diários de precipitação, no posto pluviométrico do Departamento de Água e Energia Elétrica, E3 236-R Pilões, no período entre 1972 e 1986 (TABELA 1).

TABELA 1 - Dados utilizados para o dimensionamento das calhas

Posto (D.A.E.E.)	30/dez/75 precipitação (mm)	29/jan/76 precipitação (mm)
E3 236-R	240,7	288,2

Para o dimensionamento da calha coletora, foi feita uma estimativa do escoamento superficial pluvial, utilizando-se o método racional, devido à sua simplicidade de aplicação e facilidade do conhecimento e do controle dos fatores a serem considerados. Esse método baseia-se na fórmula racional:

$$Q = C * I * A / 3600$$

onde:

Q : vazão máxima (m³/s)

A : área da parcela (ha)

C : coeficiente de escoamento superficial

I : intensidade da precipitação (mm/h)

Dessa forma, com base nas precipitações da TABELA 1, foi estimado um escoamento superficial pluvial médio de 5,5% da precipitação total. O comprimento da calha foi estabelecido em 1 m e o raio de curvatura do corpo da calha calculado em função do volume desejado, V=15,798 l, ficando definido em R=0,10 m.

A calha foi dimensionada para armazenar a água escoada superficialmente resultante de uma alta taxa de precipitação total diária, como nos casos citados na TABELA 1, e no caso de um acidente como o entupimento do orifício de vazão da calha. A água coletada pela calha teve vazão por um orifício na base de seu corpo, por onde foi conduzida a galões de armazenamento. O material utilizado para a manufatura das calhas foi folha de zinco galvanizado.

Para orientar a escolha dos pontos de locação das calhas coletoras, foram feitos levantamentos de declividade dentro da área experimental. Definidas as classes de declividades existentes na área experimental, foram instaladas, inicialmente, 5 (cinco) calhas, número este ampliado para 7 (sete), distribuídas ao longo das vertentes, considerando-se as declividades e a compartimentação topográfica. Para cada calha foi feita a delimitação de sua área de influência aproximada de escoamento superficial pluvial, ou seja, a área drenada pelo escoamento superficial pluvial coletado pela calha, denominada parcela.

Nas parcelas das 5 (cinco) primeiras calhas coletoras instaladas foi feita análise granulométrica de amostras do volume superficial de solo, 0,0 a 35,0 cm.

Para o tratamento estatístico dos dados do escoamento superficial pluvial utilizou-se o modelo inteiramente casualizado. A homogeneidade entre as calhas foi verificada através de análise de variância e dos testes de significância de TUKEY e DUNCAN, para detectar qual ou quais calhas apresentaram diferenças.

O volume (V) de água coletada em cada calha foi, originalmente, medido em campo, em mililitros (ml) e posteriormente convertido para altura em milímetros (mm), por:

$$ESP \text{ (mm)} = V \text{ (ml)} / A \text{ (m}^2\text{)} * 1000$$

onde:

A : área de influência aproximada da calha

Essa conversão possibilitou o cálculo da média de um conjunto de medições através da média aritmética simples, uma vez que esta eliminou o efeito da diferença entre as áreas de influência de cada calha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Optou-se por uma área localizada à margem esquerda do rio Pilões, no vale de Cubatão, no P. E. da Serra do Mar - núcleo Pilões (FIGURA 1). Trata-se de uma área amostral pouco degradada pela poluição, com 0,63 ha, orientação SW, drenada por canais pluviais secundários, que convergem a dois canais pluviais principais. Caracteriza-se por vertentes com declividade média de 28°, com presença de blocos e matações em superfície e sub-superfície, vegetação de porte arbóreo com sub-bosque e diversidade de espécies (FIGURA 2). Seguindo a orientação da declividade e compartimentação topográfica, foram instaladas 7 calhas coletoras de escoamento superficial, como mostra a TABELA 2.

Análises de textura (argila, silte, areia fina e areia grossa) do material superficial das parcelas (0,0 - 30,0 cm) resultaram para todas as calhas em uma textura argilo-arenosa, variando apenas em proporções.

Os percentuais mensais do ESP em relação à PT, entre abril/88 e março/90, estão apresentados na FIGURA 4.

Na TABELA 3, esses percentuais estão agrupados por período sazonal.

De forma geral, o ESP apresentou variação sazonal, sendo mais intenso nos períodos chuvoso e muito chuvoso, onde ocorreram chuvas de maior quantidade e intensidade, e menos intenso no período pouco chuvoso, onde ocorreram chuvas de menor quantidade e intensidade.

A fim de verificar a correlação entre ESP e PT, foram elaboradas as equações de regressão linear simples para cada ano hídrico e para todo o período de estudo, conforme TABELA 4, e apresentada na FIGURA 5.

Os coeficientes de correlação entre ESP e PT mostram que houve um bom ajuste das equações, principalmente no 1º ano hídrico. De forma geral, 62,75% dos eventos de ESP puderam ser explicados pela equação de regressão linear.

O ESP variou não só com a quantidade de PT, como também com sua intensidade. A partir dessa observação foram levantados, mensalmente, os eventos de ESP máximo, mínimo e nulo mais significativos, ou seja, registrados no maior número de calhas em operação, e seus respectivos dados de PT e distribuição de frequência de intensidade de chuva. Analisando os limites de ocorrência de ESP máximos, mínimos e nulos, por período sazonal, obteve-se o seguinte:

PERÍODO CHUVOSO:

- ESP máximos ocorreram com PT a partir de 33,6 mm, com chuvas acumuladas de intensidades superiores a 11,1 mm/h.

- ESP mínimos ocorreram com PT a partir de 0,2 mm, sem chuvas acumuladas, com intensidades entre 0,0 e 3,0 mm/h.

- ESP nulos ocorreram com PT a partir de 0,8 mm, sem chuvas acumuladas, com intensidades entre 0,0 e 1,0 mm/h.

PERÍODO POUCO CHUVOSO:

- ESP máximos ocorreram com PT a partir de 7,1 mm, com chuvas acumuladas de intensidades entre 0,0 e 1,0 mm/h.

TABELA 2 - Características das calhas coletoras

calha	parcela (m ²)	altitude (m)	decliv. pontual (°)	decliv. média parcela (°)	orientação	compartimento	data início	data final
C1	35,5	105,0	34,0	23,6	NW	ALTO	04/88	03/90
C2	13,6	102,0	34,0	30,0	NW	ALTO	04/88	03/90
C3	4,2	81,0	35,0	36,5	NW	MÉDIO	04/88	03/90
C4	16,0	64,0	27,0	24,0	NW	BAIXO	04/88	03/90
C5	132,5	83,0	30,0	28,5	SW	MÉDIO	04/88	03/90
C6	8,7	68,0	32,0	26,3	SW	BAIXO	02/89	03/90
C7	12,4	81,0	25,0	34,4	SW	MÉDIO	02/89	03/90

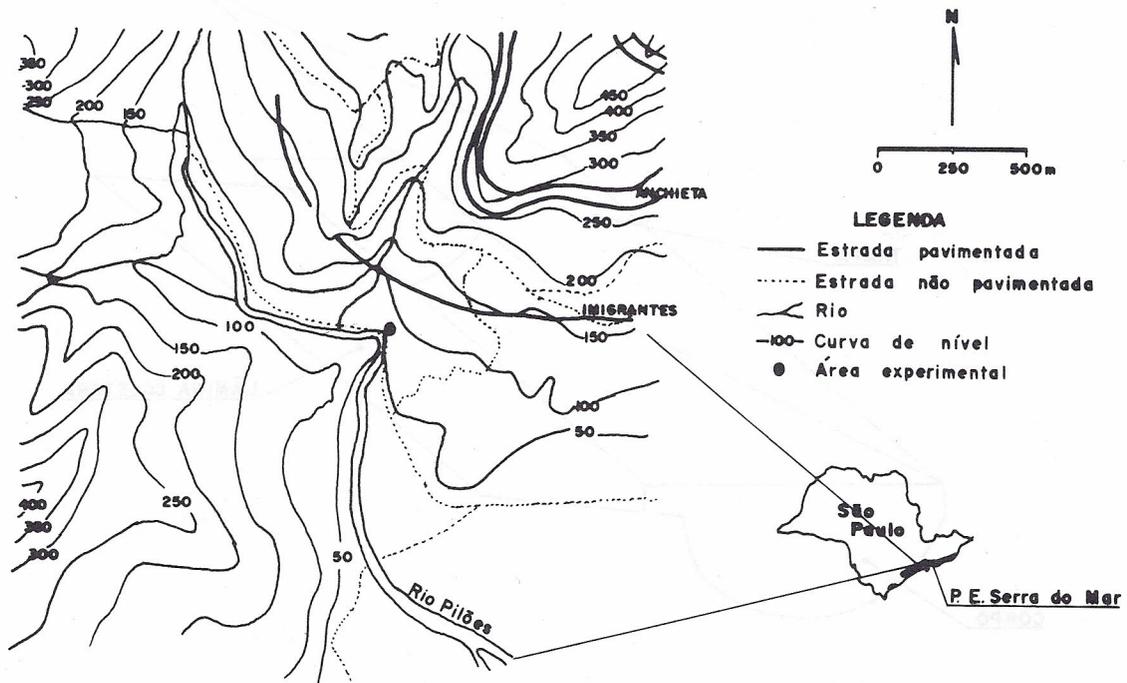


FIGURA 1 - Localização da Área Experimental

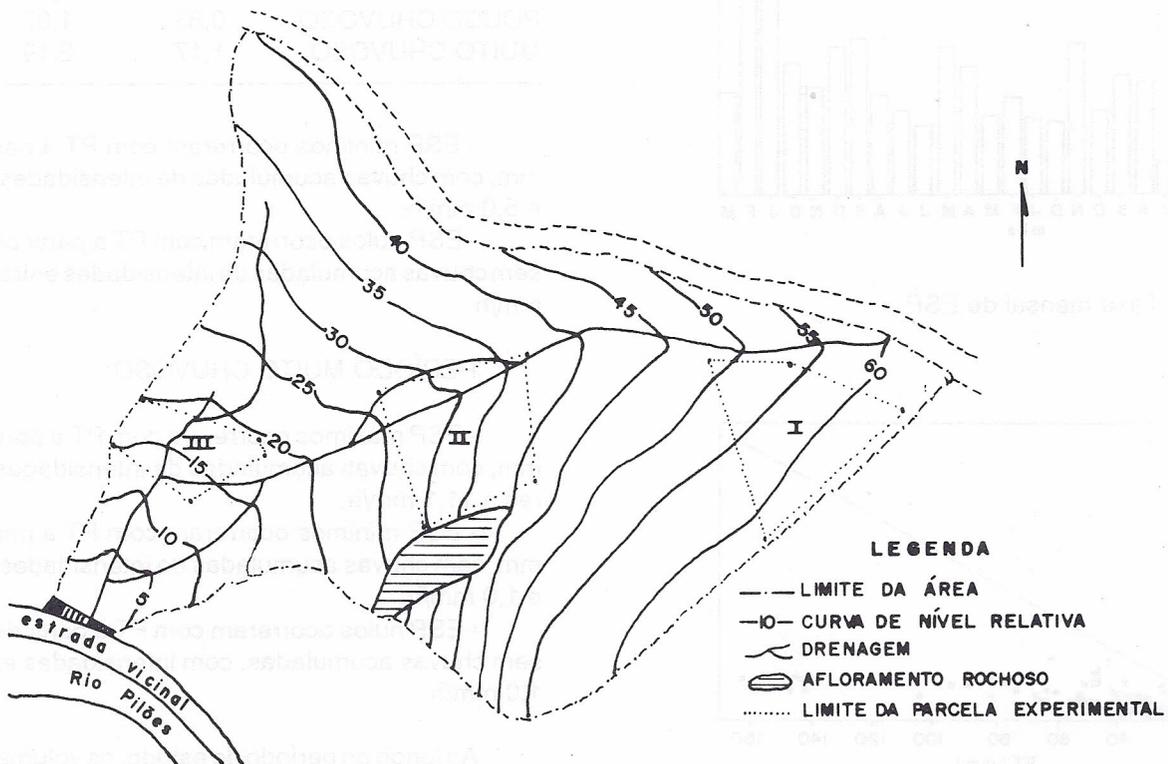


FIGURA 2 - Planta da Área Experimental

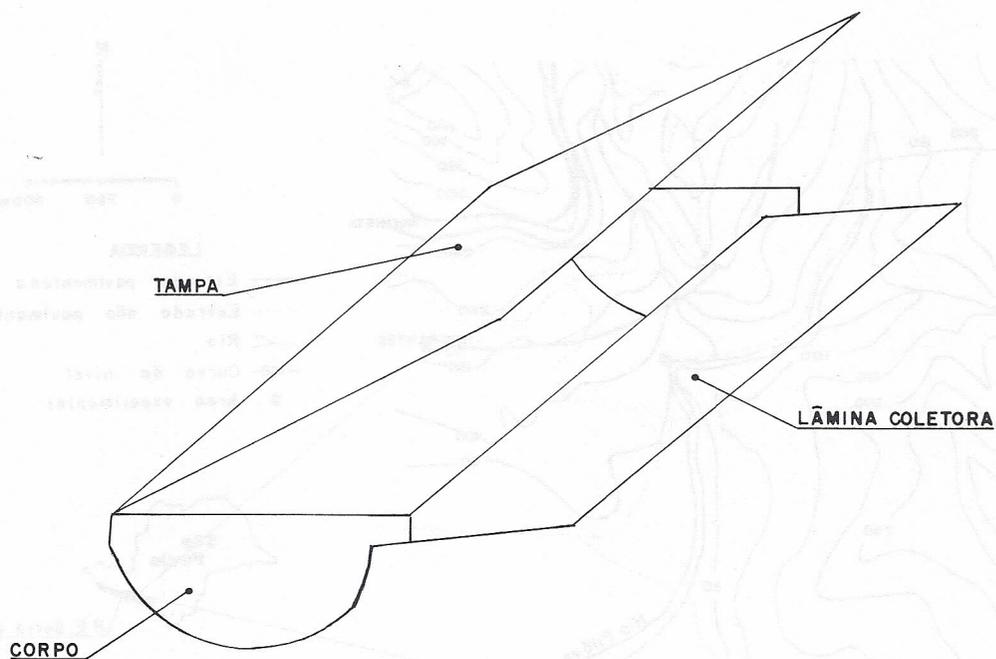


FIGURA 3 - Calha coletora modelo "GERLACH"

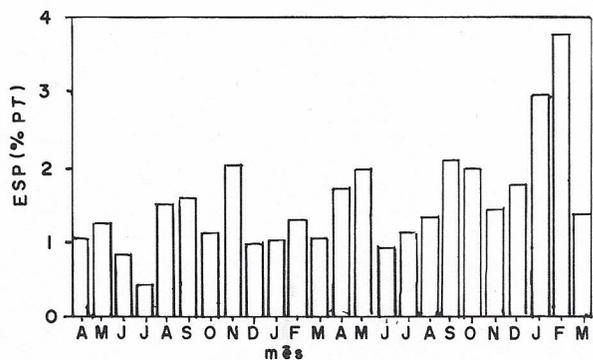


FIGURA 4 - Taxa mensal de ESP

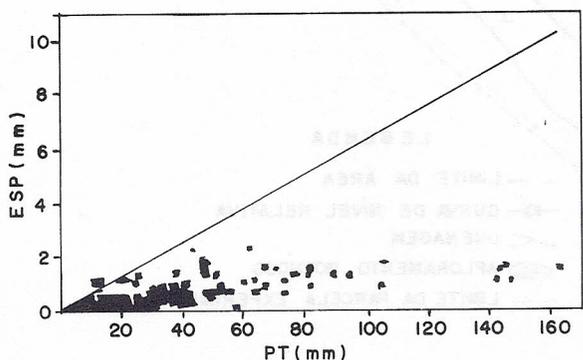


FIGURA 5 - Regressão linear ESP x PT

TABELA 3 - Porcentual de ESP em relação à PT por período sazonal

Período	1º ano hídrico	2º ano hídrico	geral
CHUVOSO	1,30	1,66	1,60
POUCO CHUVOSO	0,83	1,07	1,02
MUITO CHUVOSO	1,17	2,19	1,56

- ESP mínimos ocorreram com PT a partir de 2,2 mm, com chuvas acumuladas de intensidades entre 3,0 e 5,0 mm/h.

- ESP nulos ocorreram com PT a partir de 0,2 mm, sem chuvas acumuladas de intensidades entre 0,0 e 1,0, mm/h.

PERÍODO MUITO CHUVOSO:

- ESP máximos ocorreram com PT a partir de 29,2 mm, com chuvas acumuladas de intensidades superiores a 11,1 mm/h.

- ESP mínimos ocorreram com PT a partir de 0,4 mm, com chuvas acumuladas de intensidades entre 0,0 e 1,0 mm/h.

- ESP nulos ocorreram com PT a partir de 0,2 mm, sem chuvas acumuladas, com intensidades entre 0,0 e 1,0 mm/h.

Ao longo do período de estudo, os volumes de ESP coletados por cada calha diferiram entre si na maior parte dos eventos. Para verificar se essas diferenças foram devido ao acaso ou não, foram feitas análises de variância e aplicados os testes de TUKEY e DUNCAN, a fim de

TABELA 4 - Equações de regressão linear simples de ESP em função da PT, coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r²) e teste "F"

EQUAÇÃO		r	r ²	F
1º ano	ESP = 0,0129 + 0,0118 * PT	0,9041	0,8175	703,7143**
2º ano	ESP = 0,0608 + 0,0160 * PT	0,7451	0,5553	133,6134**
geral	ESP = 0,0389 + 0,0627 * PT	0,7921	0,6275	446,3813**

(*) significativo a nível de 5%

(**) significativo a nível de 1%

TABELA 5 - Análise de variância para os volumes de ESP coletados por cada calha

CAUSA DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
calha	6	139,5870363	23,2645061	56,2298**
resíduo	1395	577,1668656	0,4137397	
TOTAL	1401	716,7539020		

(**) significativo a nível de 1%

TABELA 6 - Testes de TUKEY e DUNCAN para os volumes de ESP coletados pelas calhas

NOME	Nº REPET.	TUKEY		DUNCAN	
		5%	1%	5%	1%
C7	135	a	A	a	A
C3	244	a	A	a	A
C6	113	b	B	b	B
C2	227	c	C	c	C
C4	268	c	C	c	C
C5	240	c	C	c d	C
C1	175	c	C	d	C

agrupar as calhas de comportamento semelhante (TABELAS 5 e 6)

O valor de F encontrado indicou que a diferença de volume de ESP coletado pelas calhas foi significativa ao nível de 1%. Os testes de TUKEY e DUNCAN destacaram as calhas C7, C3 e C6 como de comportamento distinto das demais, e entre si, com altos índices de ESP. A declividade das parcelas das calhas C3 e C7, foram as maiores, nessa ordem. A calha C6 apresentou a 5º maior declividade de parcela, mas estava localizada na vertente SW, onde os dados de tensiometria mostraram haver um maior teor de umidade na camada superficial do solo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados dos 2 anos hídricos estudados mostram que há uma sazonalidade no comportamento do ESP, tendo suas maiores taxas no período muito chuvoso e menores taxas no período pouco chuvoso. O aparecimento do ESP está fortemente ligado à frequência, quantidade e intensidade das precipitações. Esses

fatores isolados ou combinados entre si podem gerar ESP, como a seguir:

- precipitações de baixa quantidade e intensidade podem gerar ESP se a camada superficial do solo estiver muito úmida ou saturada e/ou se houver precipitações acumuladas em no mínimo 48 horas.

- precipitações de altas intensidades, superiores a 7,0 mm/h, podem gerar ESP, mesmo que a camada superficial do solo encontre-se com baixo teor de umidade, pois é suficiente para superar a velocidade de infiltração da água no solo.

- precipitações inferiores a 0,8 mm com intensidades inferiores a 1,0 mm/h, sem chuvas acumuladas em dias anteriores, não geram ESP.

As duas calhas com maior taxa de ESP, C3 e C7, nessa ordem, apresentaram as duas maiores declividades médias de parcela, não havendo esta correspondência para as demais.

Os resultados obtidos até o momento são parciais, sendo que medições posteriores encontram-se em fase de tabulação e análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DOMINGUES, E. N., 1983. *Estudo de Processos Geomorfológicos de Escoamento Fluvial e Evolução de vertentes na Serra do Cubatão, Serra do Mar - SP.* Depto. de Geografia. FFLCH - USP, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 153 p.
- LIMA, V. P., 1988. *Escoamento Superficial, Perdas de Solo e de Nutrientes em Microparcelas Reflorestadas com Eucalipto em Solos Arenosos no Município de São Simão, SP.* Piracicaba. São Paulo, IPEF, ESALQ, abr. 1986, 5-16.
- GERLACH, T., 1967. Hillslope through for measuring sediment movement. *Revue Geom.* dyn.,4,173.