

ESTUDO DO BALANÇO HÍDRICO NAS ESCARPAS DA SERRA DO MAR, REGIÃO DE CUBATÃO, SP*

Marco Aurélio NALON**
Ana Cristina Valcarcel VELLARDI**

RESUMO

No período entre abril/88 a março/91, realizaram-se estudos hidrológicos em uma área experimental drenada por canais pluviais, com 0,63 ha, localizada à margem esquerda do rio Pilões, região de Cubatão, SP - Parque Estadual da Serra do Mar, núcleo Pilões. Estes 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) e escoamento superficial pluvial (ESP). A correlação entre PI, ET, PN, IN e ESP com a PT, pôde ser verificada pelas equações de regressão:

$$\begin{aligned} PI &= -1,0962 + 0,9549 * PT & IN &= 1,0429 + 0,0405 * PT \\ ET &= 0,0480 + 0,0046 * PT & ESP &= 0,0599 + 0,0131 * PT \\ PN &= -1,0529 + 0,9596 * PT \end{aligned}$$

Os dados coletados neste período, demonstraram que do total da precipitação que atingiu a área de estudo, penetraram na floresta em forma de PI e ET, respectivamente, 89,64 % e 0,64 % desta, ficando 9,72 % interceptada pela cobertura vegetal. O ESP representou 1,44 % da PT e 1,59 % da água que penetrou e atingiu o solo.

Palavras-chave: precipitação total; penetração; interceptação; precipitação interna; escoamento pelo tronco; escoamento superficial pluvial; balanço hídrico.

1 INTRODUÇÃO

As escarpas da Serra do Mar, no sudeste brasileiro, são palco freqüente de movimentos coletivos de massa de solo e rocha. É do conhecimento generalizado a vinculação desses escorregamentos com a estação de chuvas, quando "frentes" num ritmo cíclico, geram intensos fenômenos de instabilidade atmosférica, constituindo em fortes chuvas e tempestades orográficas.

A ocupação crescente das encostas da

ABSTRACT

From April/88 to March/91, hydrological studies were made in experimental area drained by intermittent streams, with 0.63 ha, located in the left margin of Pilões river in Cubatão valley, "Parque Estadual 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 several aspects of water budget: rainfall (PT), throughfall (PI), stemflow (ET), penetration (PN), interception (IN) and overland flow (ESP). The equations that relate these parameters with gross precipitation, are the followings:

$$\begin{aligned} PI &= -1.0962 + 0.9549 * PT & IN &= 1.0429 + 0.0405 * PT \\ ET &= 0.0480 + 0.0046 * PT & ESP &= 0.0599 + 0.0131 * PT \\ PN &= -1.0529 + 0.9596 * PT \end{aligned}$$

The results show that throughfall, stemflow and interception correspond to 89.64 %, 0.64 % and 9.72 % of rainfall. The overland flow corresponds to 1.44 % of rainfall and 1.59 % of penetrate water.

Key words: rainfall; penetration; interception; throughfall; stemflow; overland flow; water budget.

Serra do Mar verificada, principalmente, nestes últimos dez anos, somada aos efeitos da poluição ambiental, gerado pelo complexo industrial da baixada costeira, destrói a cobertura vegetal e acentua a erosão.

O entendimento da dinâmica hidrológica compreende um dos aspectos básicos para o equacionamento dos problemas e definição dos critérios para o tratamento da área.

(*) Aceito para publicação em abril de 1993, Convênio SMA/IF/PETROBRÁS.

(**) Instituto Florestal, SP - CP. 1322 - 01059-970 - SP - Brasil.

Conscientes dessa problemática, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente, através do Instituto Florestal, firmou convênio com a PETROBRÁS para execução de um programa de pesquisa de levantamentos do meio biofísico, do qual este trabalho é componente.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT, desenvolveu estudos dos elementos do balanço hídrico, na mesma região de estudos do Instituto Florestal, possibilitando a constituição de uma equipe multidisciplinar para o desenvolvimento de atividades conjuntas, na fase inicial, no que se refere à implantação de equipamentos, tratamento e interpretação dos dados.

Visando o conhecimento do comportamento e distribuição da água proveniente da precipitação, em escala pontual, foi implantado um estudo experimental em uma área amostral pouco degradada na baixa encosta da Serra do Mar. Este estudo englobou a medição da precipitação total que atingiu a área experimental, da interceptação da chuva pela cobertura vegetal, da penetração através da precipitação interna e do escoamento pelo tronco, e do escoamento superficial pluvial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ARCOVA & CICCIO (1987) realizaram estudo do fluxo de nutrientes através da precipitação em aberto e interna, e do escoamento pelo tronco em floresta natural no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha - SP. Este estudo verificou que o maior responsável pelo fluxo de nutrientes é a precipitação interna, que representa 80,20 % da precipitação total anual, e que o escoamento pelo tronco, apesar das altas concentrações verificadas, pouco influi, pois representa 1,1 % da precipitação total anual, enquanto que as perdas de água por interceptação, representam 18,7 % da precipitação total anual. Concluíram que, a água da precipitação é substancialmente enriquecida ao atravessar a parte aérea da vegetação.

CHORLEY & HAGGETT (1975) salientaram modelos hidrológicos para prognósticos, planejamento de recursos e entendimento simplificado e detalhado do comportamento e propriedades da água na natureza. Para prognósticos hidrológicos apresentaram o método de análise hidrometeorológica e métodos estatísticos, recomendando a utilização de ambos nos estudos de casos, por exemplo, de distúrbios hidrológicos e enchentes. Para o planejamento dos recursos d'água recomendaram modelos hidro-econômicos e estágios de utilização e exploração dos rios e proteção dos mananciais. Recomendaram, para o planejamento e entendimento da realidade hidrológica de uma área da bacia, a seleção de amostragem com implantação de pequeno número de aparelhos e construção de rede, por exemplo, tipo isoietal para estudo da quantidade e distribuição da precipitação e de bacias modelos, onde são efetuadas medidas precisas de precipitação, do escoamento, da evaporação da água, das características do sub-solo, dos tipos de sedimentos, etc..., utilizadas para generalizar e prever as condições sobre grandes áreas.

DE PLOEY & CRUZ (1979) em estudos sobre escorregamentos na Serra do Mar concluíram que os episódios catastróficos do verão de 1967, em Caraguatatuba, concentraram-se em vertentes com mais de 22°. Em 1975, CRUZ já havia definido o limite de 15° a partir do qual ocorreram deslizamentos de vertentes na bacia do rio Santo Antônio, nesta área da Serra do Mar. Nesta mesma área, CRUZ (1982) coletou dados do transporte de sedimentos pelo escoamento pluvial em vertentes revestidas por florestas e em áreas de reflorestamento com *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 com *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.

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 com 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 no solo, 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. O mesmo autor (1986), apresentou os princípios básicos da hidrologia florestal e ressaltou que, para precisão e representatividade da medição da precipitação interna, vários pluviômetros, distribuídos bem abaixo de uma árvore, poderão dar uma medida precisa da precipitação interna naquele ponto, mas este valor está longe de ser representativo da precipitação interna para uma floresta toda. Portanto, usa-se distribuir os instrumentos ao acaso, dentro da floresta. Já o escoamento pelo tronco é de difícil medição, em florestas naturais com diversidade de espécies e tamanhos de árvores, uma vez que este varia, principalmente, com a rugosidade da casca. Outra dificuldade nas medidas de escoamento pelo tronco é a transformação do volume de água coletado em cada árvore em mm de altura d'água, que pode ser feita, em relação à área da copa da árvore ou medir-se o escoamento pelo tronco de várias árvores de uma parcela e transformar o volume em relação a área da parcela.

NAKANO (s.d.) em estudos sobre a

propriedade da floresta de conservar a água do solo, observou que em regiões descobertas, a perda d'água se dá na camada superficial e rapidamente; nos campos, em camadas um pouco mais profundas e mais lentamente, e finalmente, nas florestas, em camadas mais profundas e gastando um tempo bem maior.

VALLEJO & VALLEJO (1982) realizaram estudos de interceptação na Bacia Experimental do Rio da Cachoeira, Floresta da Tijuca (RJ) e ressaltaram o fato de determinados interceptômetros apresentarem valores superiores àqueles obtidos pela estação pluviométrica em determinadas chuvas. Observaram que a frequência da precipitação tem influência direta nos valores de interceptação, bem como as condições climáticas antecedentes. Seus resultados iniciais sugeriram, a princípio, que a floresta reduz a ação das chuvas sobre o solo, predominando uma distribuição lenta de umidade em detrimento dos índices de escoamento superficial.

3 MATERIAL E MÉTODO

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, estrato 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.

Dessa forma, optou-se por uma área localizada na baixa encosta da Serra do Mar, à margem esquerda do rio Pilões, no vale do Cubatão, no Parque Estadual da Serra do Mar - núcleo Pilões - entre os paralelos 23°53'26" e 23°53'59" latitude S e entre os meridianos 46°28'59" e 46°29'34" longitude W (FIGURA 1).

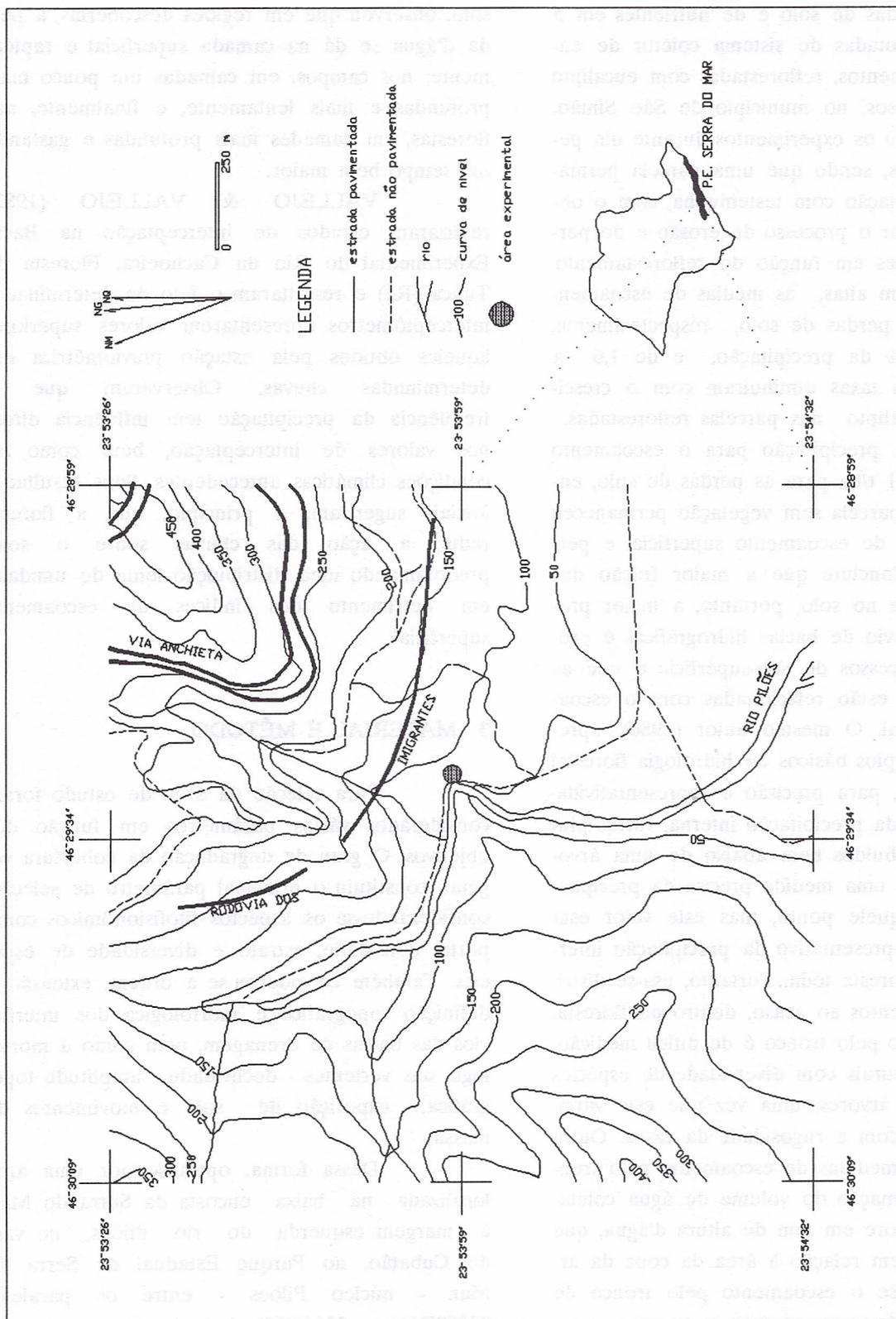


FIGURA 1 - Mapa de localização da microbacia.

Trata-se de uma área amostral pouco degradada pela poluição, com 0,63 ha, entre as cotas 60 m e 120 m, orientação SW, drenada por canais pluviais secundários, que convergem à dois canais pluviais principais. Caracteriza-se por vertentes com declividade média de 28°, com presença de blocos e matacões em superfície e sub-superfície. A vegetação é secundária com grande diversidade de espécies, de porte arbóreo atingindo até 25 m de altura, sub-bosque atingindo entre 7 m e 14 m de altura e vegetação herbácea escassa. O tipo de solo no baixo, médio e alto compartimento é LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO A e CAMBISSOLO ÁLICO tb A também no alto compartimento (ROSSI & PFEIFER, 1991). A área recebe interferência de um clima quente e úmido através da circulação atmosférica local, dominada pela brisa marítima e pela circulação superior da atmosfera, controlada pela frente Polar e Tropical Atlântica, segundo Santos apud BÁCCARO (1982) (FIGURA 2).

Nesta amostragem implantou-se estudos experimentais, em escala pontual, referentes ao balanço hídrico, no período de abril/1988 à março/1991 compreendendo 3 anos hídricos:

1º ano hídrico : abril/88 a março/89

2º ano hídrico : abril/89 a março/90

3º ano hídrico : abril/90 a março/91

Para a caracterização geral da pluviosidade na bacia do Rio Pilões, e pontual nas proximidades da microbacia, foram utilizados dados pluviométricos dos postos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (D.A.E.E.), relacionados na TABELA 1.

Com os dados do posto E3 236-R foram calculadas as médias da precipitação mensal e anual e definidos os períodos sazonais de chuva.

Para a medição da PT, implantou-se inicialmente um pluviômetro e um pluviógrafo em uma área equivalente ao alto compartimento da microbacia (altitude 110 m). Posteriormente, os mesmos foram transferidos para a base administrativa do núcleo Pilões, por motivos de

segurança do equipamento.

As leituras do pluviômetro foram diárias, enquanto o pluviógrafo forneceu registros em cartas semanais, de onde foram extraídos dados de quantidade e intensidade da chuva.

A precipitação interna (PI) e o escoamento pelo tronco (ET), foram medidos em três parcelas experimentais no interior da microbacia (I, II e III), escolhidas ao acaso e, em uma parcela fora da microbacia (IV), em área próxima com mesma orientação e altitude (TABELA 2).

Em cada parcela foram instalados interceptômetros, distribuídos em malha de 5 m, para medição da PI.

A medição do ET foi feita em árvores com diâmetro maior que 20,0 cm, em todas as parcelas experimentais.

As medições de PI e ET foram feitas diariamente.

As médias da PI e do ET de cada parcela e entre as parcelas, foram calculadas por média aritmética simples.

Os volumes (V) de PI e ET foram medidos, originalmente no campo, em mililitros (ml) e posteriormente convertidos em altura pluviométrica (mm), para a correlação com a PT, pelas fórmulas:

$$PI \text{ (mm)} = V \text{ (ml)} / 15,3938$$

$$ET \text{ (mm)} = V \text{ (ml)} / A \text{ (m}^2\text{)} * 10^3, \text{ onde:}$$

A = área da parcela experimental.

O grau de correlação da PI e do ET com a PT, foi verificado através de equações de regressão linear simples.

A partir dos resultados de PI e ET foram calculados a penetração (PN) e a interceptação (IN), através de:

$$PN = PI + ET \text{ e}$$

$$IN = PT - PN$$

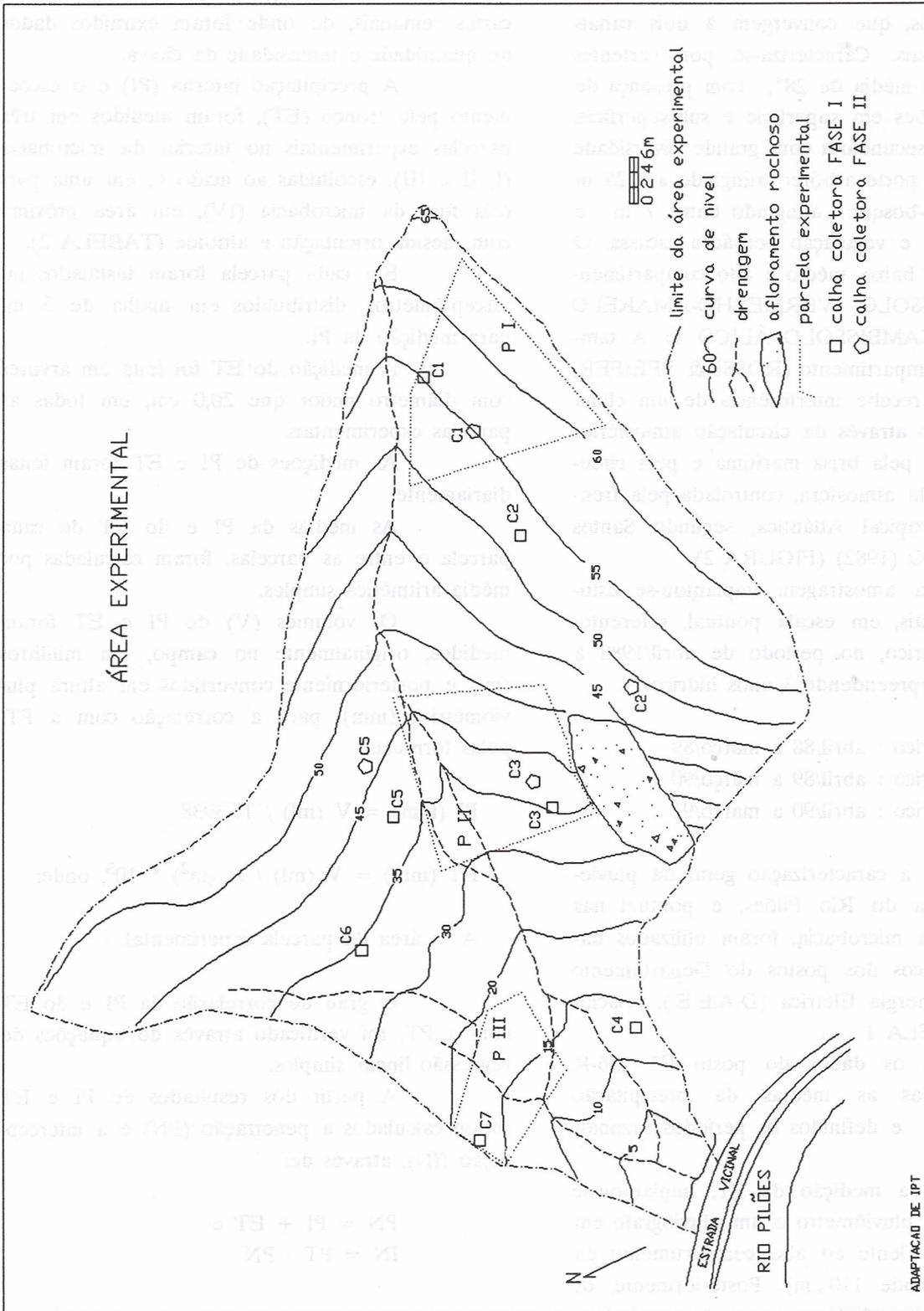


FIGURA 2 - Planta da microbacia.

TABELA 1 - Postos pluviométricos do D.A.E.E..

Posto	Prefixo	Altitude	Compartimentação
Piaçaguera	E3 038-R	15 m	baixa encosta
Cubatão - DER	E3 101	6 m	baixa encosta
Alto da Serra	E3 109	805 m	alta encosta
Curva do Onça	E3 153-R	500 m	média encosta
Via Anchieta	E3 143	450 m	média encosta
Pilões	E3 236-R	100 m	baixa encosta
Imigrantes	E3 241	770 m	alta encosta

TABELA 2 - Parcelas utilizadas para medição de PI e ET.

Parcela	Área (m ²)	Nº de Coletores		Data	
		PI	ET	início	término
I	482,0	11	12	25/04/88	10/07/89
II	604,0	22	19	25/04/88	14/03/90
III	198,5	17	7	21/10/89	31/05/90
IV	144,0	20	14	23/03/90	31/03/91

Para o acompanhamento e medição do escoamento superficial pluvial (ESP) foram utilizadas calhas coletoras de zinco galvanizado, modelo GERLACH, adaptada de GERLACH

(1967), dimensionadas em função dos dois maiores totais diários de precipitação, registrados na região de estudo, no período entre 1958 e 1986 (TABELA 3).

TABELA 3 - Dados utilizados para o dimensionamento das calhas.

Posto (D.A.E.E.)	Precipitação (mm)	
	30/12/75	29/01/76
E3 038-R	121,5	257,5
E3 101	125,0	184,7
E3 143	242,6	364,8
E3 109	64,8	300,0
E3 236-R	240,7	288,2
E3 153-R	186,5	351,7
E3 241	130,5	442,0

As dimensões da calha foram: 1 m de comprimento com volume de 15.708,0 cm³ ou 15,708 litros.

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 a declividade e a compartimentação topográfica. Para cada calha foi feita a delimitação de sua área de influência aproximada de escoamento superficial pluvial, ou seja, a sua 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, retiradas ao lado das parcelas.

As medições de ESP foram feitas diariamente, e 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:

$$ESP \text{ (mm)} = V \text{ (ml)} / A \text{ (m}^2\text{)} \cdot 10^3, \text{ onde:}$$

A = área de influência aproximada da calha

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os totais mensais obtidos durante o período de abril/1988 a março/1991, de precipitação total (PT), precipitação interna (PI), escoamento pelo tronco (ET), penetração (PN), interceptação (IN) e escoamento superficial pluvial (ESP), encontram-se na TABELA 4. Esta, demonstra que os maiores totais mensais de PT, PI e PN, ocorreram nos meses de março/91, fevereiro/89, março/89 e dezembro/88, nessa ordem, todos no período muito chuvoso, e os seus menores totais mensais ocorreram em agosto/88, julho/88 e junho/90, nessa ordem, todos no período pouco chuvoso.

Os maiores totais mensais de IN, ocorreram em fevereiro/91, abril/90 e novembro/89, nessa ordem, sendo que esses meses apre-

sentaram baixa frequência de precipitação, ou seja, poucos dias com registro de chuva e com intervalos de tempo maior entre um e outro. Em alguns meses foram registrados totais mensais negativos de IN, o que significa ter havido uma penetração de água na floresta maior que a precipitação que a atingiu. Entre esses, o evento mais expressivo ocorreu em dezembro/88, quando choveu continuamente do dia 19 ao dia 28, com um pico de precipitação de 289,2 mm (66,1 % da precipitação total do mês) em 48 horas. Observou-se em campo, eventos onde houve registro de água nos coletores de PI, mesmo sem ter havido precipitação no dia anterior. Tais fatos ocorreram principalmente nos meses de dezembro a fevereiro, quando também foi observada a ocorrência de nevoeiros noturnos que, em contato com a superfície lisa dos funis de captação da PI, pode facilmente ter se condensado e escoado até o galão de armazenagem, podendo se somar a água já ali existente.

Quanto ao ET, o maior total mensal ocorreu em março/91 e os menores em agosto/88 e julho/88, coincidindo com os maiores e menores totais mensais de PN.

O ESP apresentou seus maiores totais mensais em janeiro/90, março/91 e fevereiro/89, nessa ordem, sendo os dois últimos coincidentes com os maiores totais mensais de PN. No mês de janeiro/90, foram registrados eventos chuvosos de alta intensidade ($\geq 11,0$ mm/h), que contribuíram para o aumento do ESP. Os menores totais mensais de ESP ocorreram em julho/88, agosto/88 e junho/90, nessa ordem, coincidindo com os menores totais mensais de PN.

De acordo com os dados do posto pluviométrico E3 236-R PILÕES (D.A.E.E.), do período de 1972 a 1986, a precipitação mensal mínima que atingiu a área foi de 6,6 mm (junho/84) e a mensal máxima foi de 932,1 mm (janeiro/76) e a precipitação total anual é de 2951,3 mm (FIGURA 3). Esses mesmos dados permitiram caracterizar três períodos de comportamento pluviométrico distintos (TABELA 5).

TABELA 4 - Totais mensais de PT, PI, ET, PN, IN e ESP entre abril/88 e março/91.

MÊS/ANO	PT(mm)	PI(mm)	ET(m)	PN(mm)	IN(mm)	ESP(mm)
ABR/88	265,4	99,1	1,152	99,63	22,27	2,774
MAI/88	268,4	259,8	1,568	261,40	7,00	3,403
JUN/88	108,5	91,5	0,562	92,06	16,44	0,888
JUL/88	40,9	26,6	0,212	26,80	14,10	0,179
AGO/88	25,9	21,0	0,125	21,11	4,79	0,396
SET/88	257,3	245,1	1,295	246,44	10,86	4,136
OUT/88	212,3	186,8	0,889	187,71	24,59	2,359
NOV/88	154,9	129,7	0,673	130,40	24,50	3,132
DEZ/88	437,2	484,0	1,190	485,14	-47,94	4,341
JAN/89	348,0	326,3	1,331	327,62	20,38	3,473
FEV/89	511,0	516,7	1,324	518,04	-7,04	6,688
MAR/89	438,0	415,6	1,223	416,79	21,21	4,582
ABR/89	266,4	250,5	1,095	251,60	14,80	4,593
MAI/89	212,3	193,9	0,813	194,75	17,55	4,246
JUN/89	284,8	235,8	0,470	236,29	48,51	2,658
JUL/89	251,2	232,3	0,575	232,88	18,32	2,781
AGO/89	116,9	114,8	0,251	115,05	1,85	1,572
SET/89	249,8	252,7	0,968	253,63	-3,83	5,227
OUT/89	158,4	147,6	0,483	148,08	10,32	3,158
NOV/89	227,4	173,2	0,587	173,80	53,60	3,286
DEZ/89	187,2	142,0	0,429	142,46	44,74	3,327
JAN/90	325,6	317,1	0,743	317,89	7,75	9,652
FEV/90	151,1	159,7	0,186	159,87	-8,77	5,706
MAR/90	270,3	233,0	0,349	233,34	36,96	3,728
ABR/90	368,6	305,4	3,328	308,77	59,83	3,050
MAI/90	156,4	144,8	2,663	147,42	8,98	0,947
JUN/90	72,0	65,3	1,554	66,83	5,17	0,507
JUL/90	177,4	139,4	5,024	144,45	32,95	1,925
AGO/90	121,0	92,5	2,211	94,72	26,28	1,875
SET/90	132,6	102,5	2,316	104,87	27,73	2,346
OUT/90	262,6	220,5	3,227	223,77	38,83	5,336
NOV/90	236,2	202,0	3,940	205,98	30,22	5,382
DEZ/90	162,1	165,1	2,194	167,34	-5,24	1,322
JAN/91	372,5	330,4	3,267	333,66	38,84	4,342
FEV/91	382,8	309,2	2,985	312,19	70,61	3,489
MAR/91	597,8	563,1	6,613	569,70	28,10	7,991

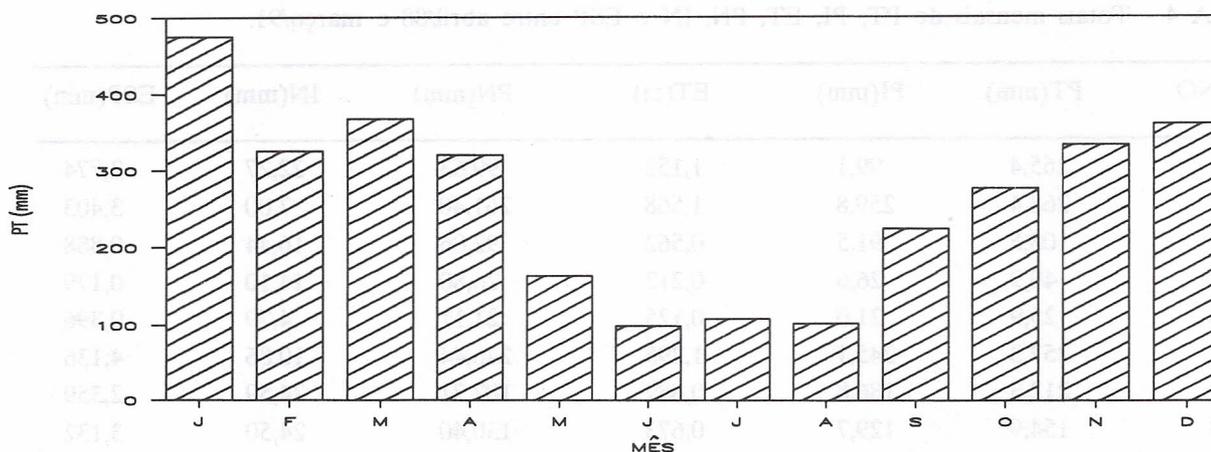


FIGURA 3 - Precipitação total mensal média, entre 1972 e 1986, do posto E3 236-R Pilões.

TABELA 5 - Porcentagem da precipitação total anual por período sazonal, entre 1972 e 1986 do posto E3 236-R PILÕES.

Período	Meses	(%) da PT total anual
pouco chuvoso	junho, julho e agosto	10,5
chuvoso	abril, maio e setembro	24,3
muito chuvoso	outubro, novembro, dezembro janeiro, fevereiro e março	65,2

Os dados de precipitação total, medidos pelo pluviógrafo e pluviômetro instalados na área de estudo, coletados no 1º, 2º e 3º

anos hídricos, nos dão os seguintes resultados (TABELA 6) e (FIGURA 4).

TABELA 6 - Precipitação máxima e mínima mensal e total anual, registrada entre abril/88 e março/91, em Pilões.

Período	Mínima mensal (mm)	Máxima mensal (mm)	Total anual (mm)
1º ano hídrico	25,9	511,0	3067,8
2º ano hídrico	116,9	325,6	2701,4
3º ano hídrico	72,0	597,8	3042,0

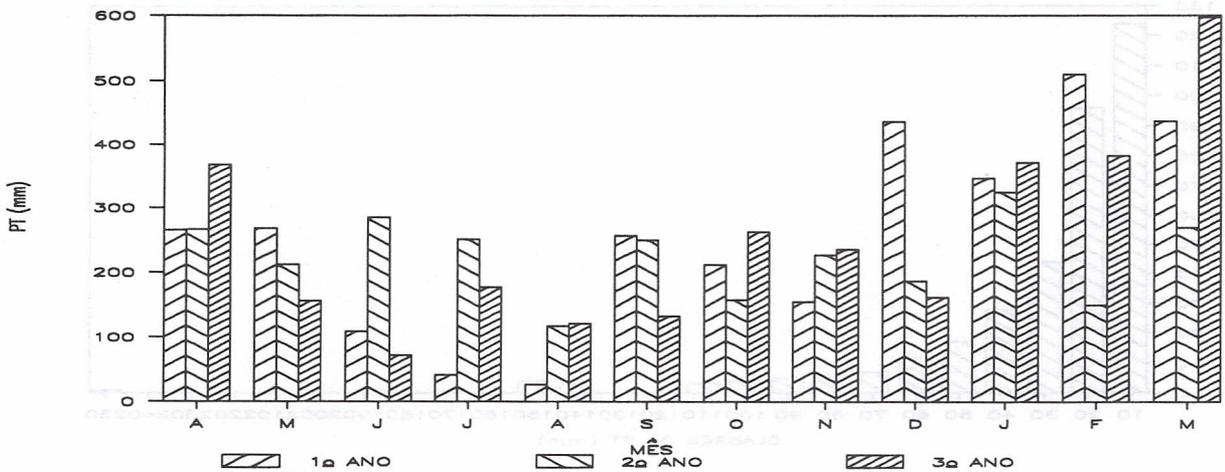


FIGURA 4 - Precipitação total mensal do período entre abril/88 e março/91, em Pilões.

A distribuição porcentual das chuvas em relação à precipitação total anual, por

período sazonal, ficou assim representada (TABELA 7).

TABELA 7 - Porcentagem da precipitação por período sazonal em relação a precipitação total anual

Período	Ano Hídrico (%)		
	1º	2º	3º
pouco chuvoso	5,7	24,2	12,2
chuvoso	25,8	27,0	21,6
muito chuvoso	68,5	48,8	66,2

Comparando os resultados obtidos na área de estudo com os resultados do período de 1972 a 1986, temos que a precipitação do período pouco chuvoso do 1º ano hídrico foi bem abaixo da média, devido aos baixos índices mensais de precipitação dos meses de julho/88 e agosto/88. O período muito chuvoso do 2º ano hídrico também apresenta-se abaixo da média de forma geral, contudo, o período pouco chuvoso do mesmo ano apresenta um percentual de precipitação muito acima da média. O 3º ano hídrico pode ser caracterizado como um ano

típico, por apresentar-se em concordância com a precipitação média dos 3 períodos sazonais.

No total, foram registrados 355 totais diários de precipitação, que representam o número de eventos estudados entre abril/88 e março/91. Destes, 220 (62,0 %) foram registrados entre 0,1 e 20,0 mm, enquanto que apenas 4 eventos (1,1 %) foram registrados entre 140,0 e 150,0 mm, 1 evento (0,3 %) entre 160,0 e 170,0 mm e 1 evento (0,3 %) entre 240,0 e 250,0 mm (FIGURA 5).

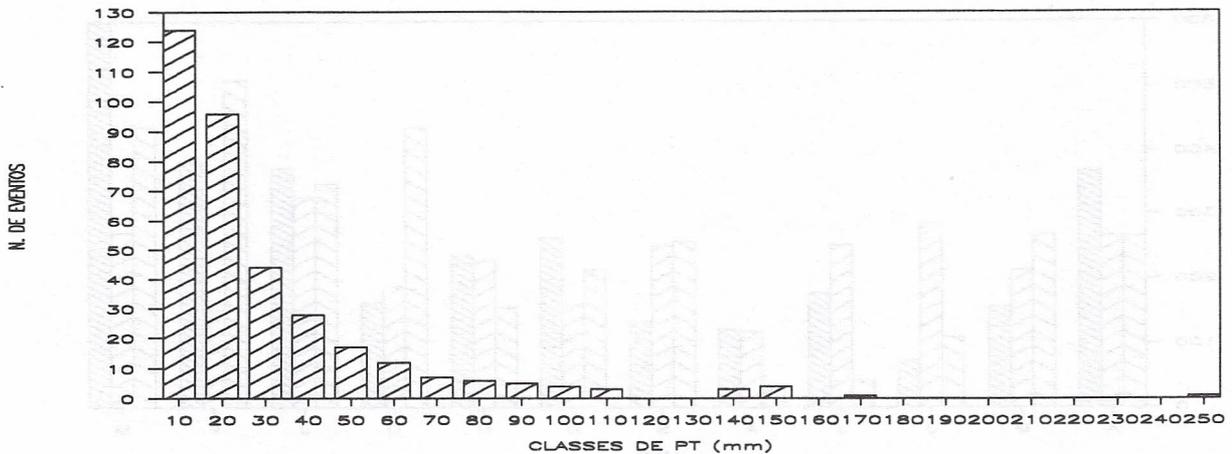


FIGURA 5 - Histograma de distribuição dos totais diários de precipitação (PT), entre abril/88 e março/91, em Pilões.

Através dos pluviogramas, pode-se calcular a intensidade em mm/hora, das precipitações que atingiram a área e agrupá-las em classes dentro de cada período sazonal. Os histogramas de distribuição dessas intensidades são apresentados nas FIGURAS 6, 7 e 8, mostram que chuvas com intensidade superior a 11,0 mm/h, consideradas de alta intensidade, ocorreram com maior frequência durante o período muito chuvoso. De forma geral, 92,8 % das chuvas tiveram intensidades inferiores a 11,0 mm/h.

O percentual mensal da PI e do ET em relação à PT, para o período entre abril/1988 e março/1991, está representado nas FIGURAS 9 e 10.

Esses dados revelaram uma alta taxa de penetração (PN) da chuva, no interior da floresta, em forma de PI e ET, atingindo o solo.

Agrupando esses dados por período sazonal, nos três anos hídricos, obtêm-se os resultados expressos na TABELA 8.

Em termos médios, os períodos chuvoso e muito chuvoso apresentaram percentuais muito próximos de penetração e interceptação. O período pouco chuvoso destacou-se por apresentar menor taxa de penetração e conseqüente maior taxa de interceptação, o que concorda com o fato de que

nele predominam chuvas de baixa quantidade, intensidade e frequência, o que permite que as folhas das árvores sequem entre uma chuva e outra, aumentando sua capacidade de retenção de água conduzindo-a, em parte, pelo tronco até o solo. Nos demais, predominam chuvas de alta quantidade, intensidade e frequência, de modo que as folhas das árvores ficam molhadas com mais constância, diminuindo sua capacidade de retenção de água e aumentando o gotejamento, ou seja, a PI.

Comparando-se o comportamento do PI, ET, PN e IN com o comportamento da PT nos três anos hídricos, temos que para o período pouco chuvoso do 1º ano hídrico, que apresentou índice de precipitação total abaixo da média, as taxas de PN e IN foram respectivamente a menor e a maior dos três anos hídricos. O 2º ano hídrico apresentou um período muito chuvoso com índice de precipitação total abaixo da média e um período pouco chuvoso com índice de precipitação total acima da média. As taxas de PI, ET, PN e IN nesses dois períodos apresentaram-se muito semelhante entre si. O 3º ano hídrico apresentou-se como um ano hídrico típico, registrou-se um aumento das taxas de ET, nos três períodos sazonais, e da taxa de IN no período chuvoso, em relação aos anos anteriores.

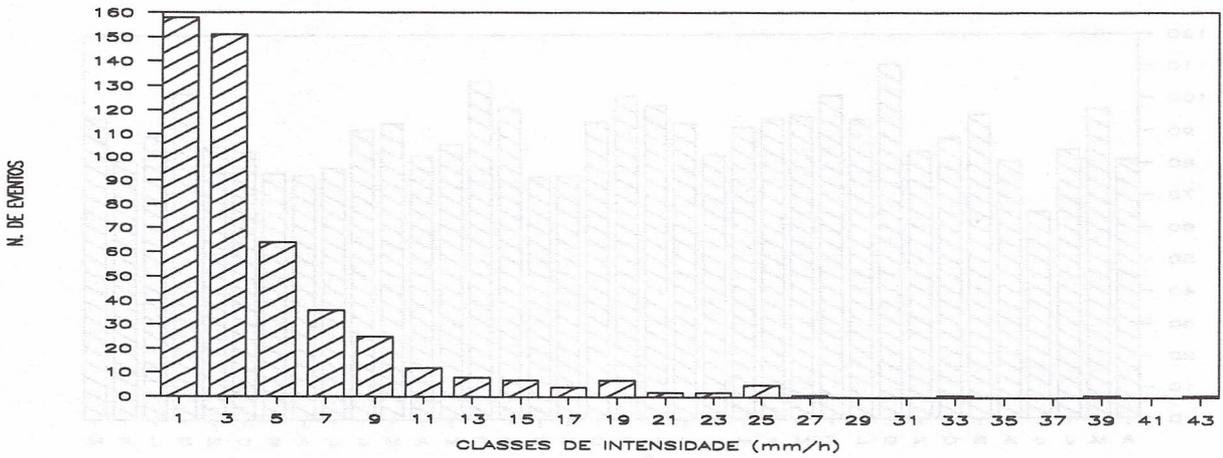


FIGURA 6 - Histograma de distribuição das intensidades de precipitação dos períodos chuvosos, entre abril/88 e março/91.

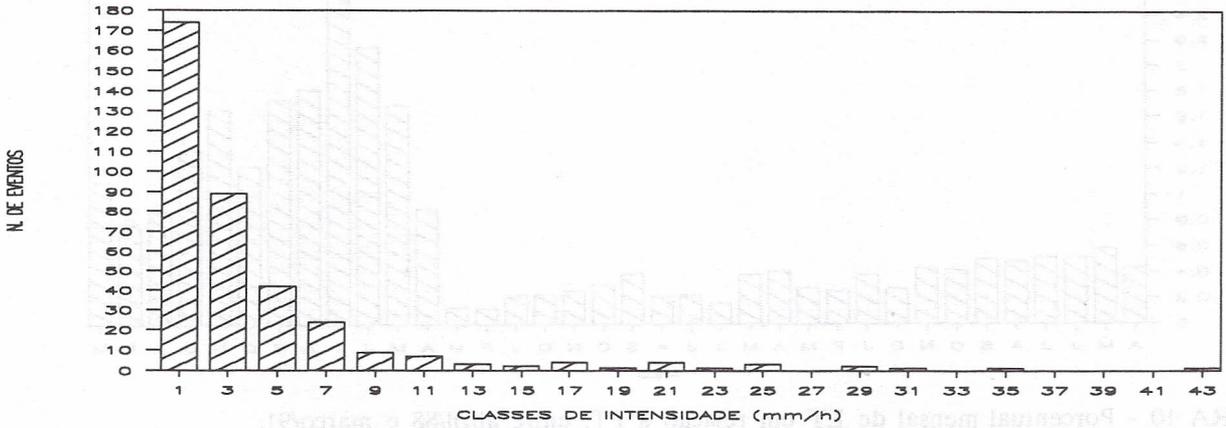


FIGURA 7 - Histograma de distribuição das intensidades de precipitação dos períodos pouco chuvosos, entre abril/88 e março/91.

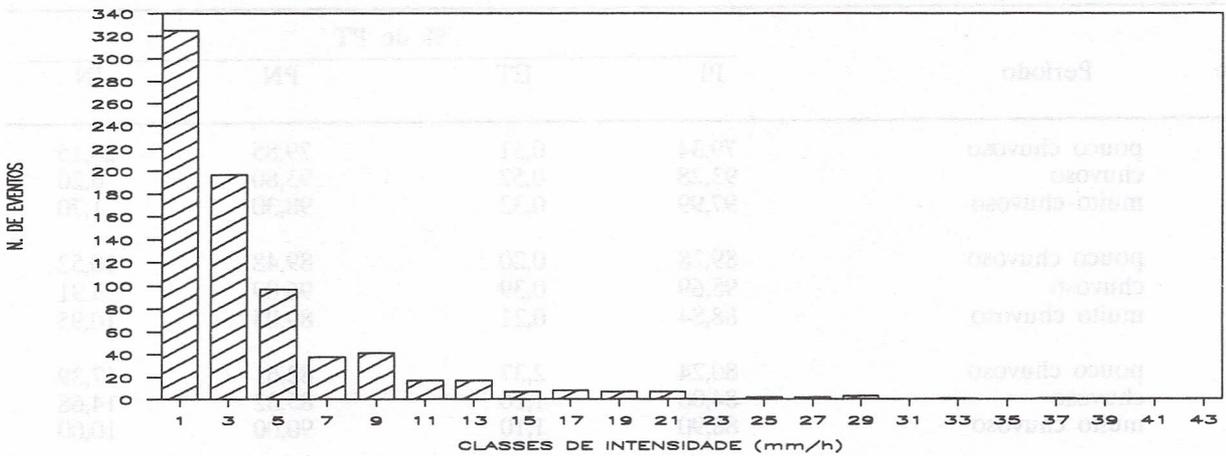


FIGURA 8 - Histograma de distribuição das intensidades de precipitação dos períodos muito chuvosos, entre abril/88 e março/91.

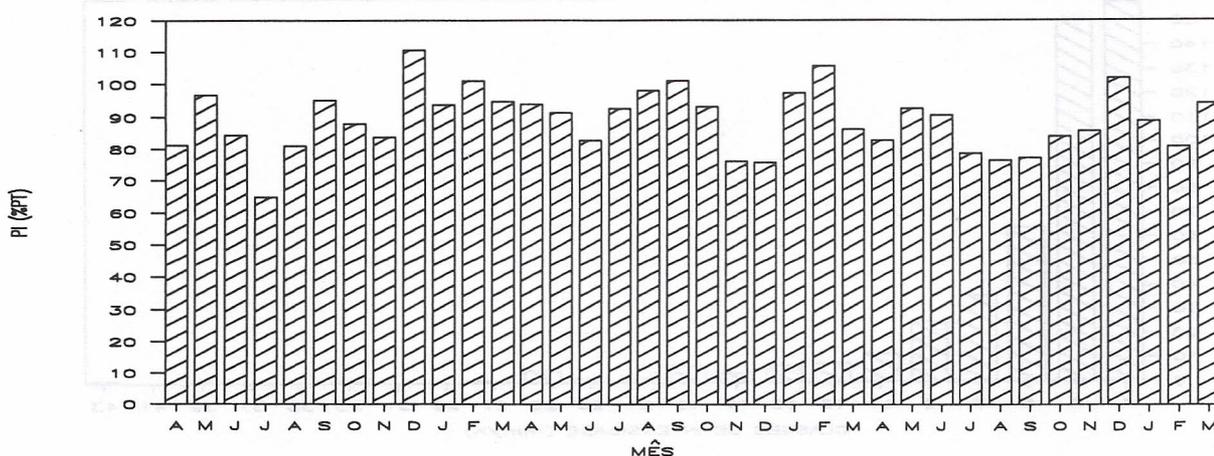


FIGURA 9 - Porcentual mensal de PI em relação à PT, entre abril/88 e março/91.

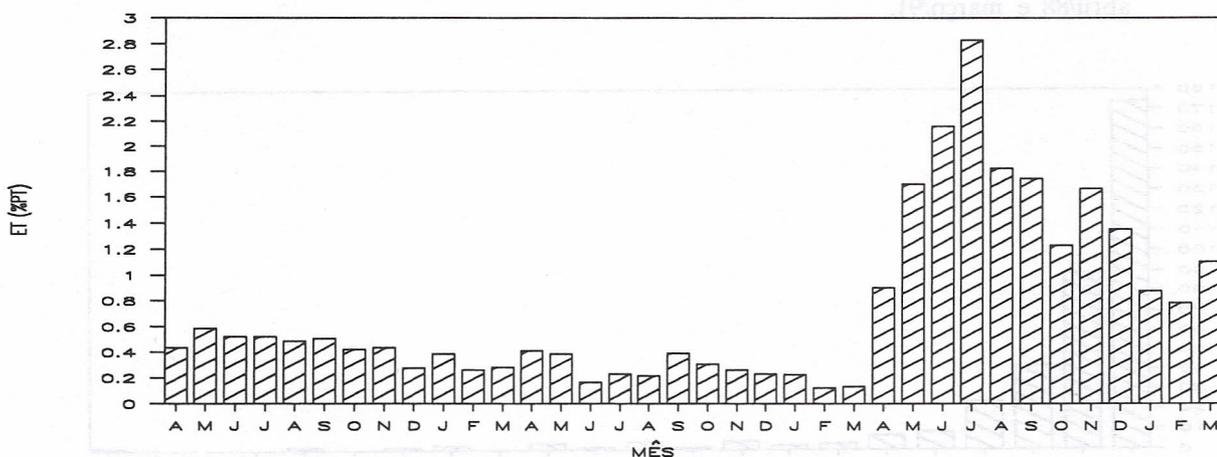


FIGURA 10 - Porcentual mensal de ET em relação à PT, entre abril/88 e março/91.

TABELA 8 - Porcentual de PI, ET, PN e IN em relação à PT por período sazonal, nos três anos hídricos.

Ano Hídrico	Período	% de PT			
		PI	ET	PN	IN
1º	pouco chuvoso	79,34	0,51	79,85	20,15
	chuvoso	93,28	0,52	93,80	6,20
	muito chuvoso	97,99	0,32	98,30	1,70
2º	pouco chuvoso	89,28	0,20	89,48	10,52
	chuvoso	95,69	0,39	96,09	3,91
	muito chuvoso	88,84	0,21	89,05	10,95
3º	pouco chuvoso	80,24	2,37	82,61	17,39
	chuvoso	84,06	1,26	85,32	14,68
	muito chuvoso	88,90	1,10	90,00	10,00
média	chuvoso	91,01	0,72	91,74	8,26
	pouco chuvoso	82,95	1,03	83,98	16,02
	muito chuvoso	91,91	0,54	92,45	7,55

A correlação da PI, ET, PN e IN com a PT, foi verificada em cada ano hídrico, através de equações de regressão linear simples, mostradas nas TABELA 9.

TABELA 9 - Equações de regressão linear simples entre PI, ET, PN, IN e PT, coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r^2) e teste "F", por ano hídrico.

Ano Hídrico	Equação	r	r^2	F
1º	PI = -2,6887 + 1,0970 * PT	0,9877	0,9757	5995,8719**
	ET = 0,0286 + 0,0022 * PT	0,8333	0,6944	356,7737**
	PN = -2,7237 + 1,0992 * PT	0,9874	0,9750	5827,4580**
	IN = 2,6585 - 0,0992 * PT	0,4985	0,2486	49,3199**
2º	PI = 0,6072 + 0,8833 * PT	0,9742	0,9491	1988,9388**
	ET = 0,0036 + 0,0024 * PT	0,8350	0,6973	246,5030**
	PN = 0,6113 + 0,8858 * PT	0,9742	0,9492	2001,4360**
	IN = -0,6108 + 0,1141 * PT	0,4868	0,2370	33,2430**
3º	PI = -0,2692 + 0,8750 * PT	0,9771	0,9548	1795,8994**
	ET = 0,2426 + 0,0059 * PT	0,7017	0,4925	82,4967**
	PN = -0,0196 + 0,8814 * PT	0,9770	0,9546	1787,3009**
	IN = 0,0196 + 0,1185 * PT	0,5248	0,2755	32,3248**
geral	PI = -1,0962 + 0,9549 * PT	0,9755	0,9517	6812,4283**
	ET = 0,0480 + 0,0046 * PT	0,5901	0,3483	188,7275**
	PN = -1,0529 + 0,9596 * PT	0,9759	0,9525	6930,8940**
	IN = 1,0429 + 0,0405 * PT	0,1860	0,0346	12,3942**

(**) Significativo à nível de 1 %.

Os coeficientes de correlação ente PI e PT mostram que houve um ótimo ajuste entre os parâmetros, nos três anos hídricos e no geral.

Quanto a correlação entre o ET e a PT, os coeficientes de correlação indicam que houve um bom ajuste nos dois primeiros anos hídricos e um menor ajuste no terceiro ano hídrico, que coincide com a mudança da parcela experimental e consequente cobertura vegetal. De forma geral o ET mostrou-se mal correlacionado com a PT.

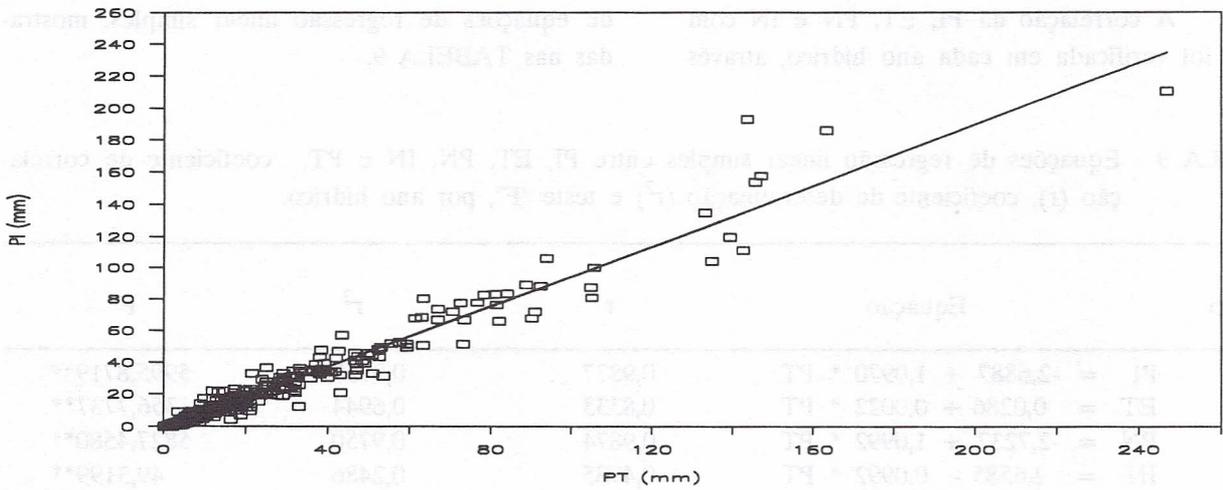
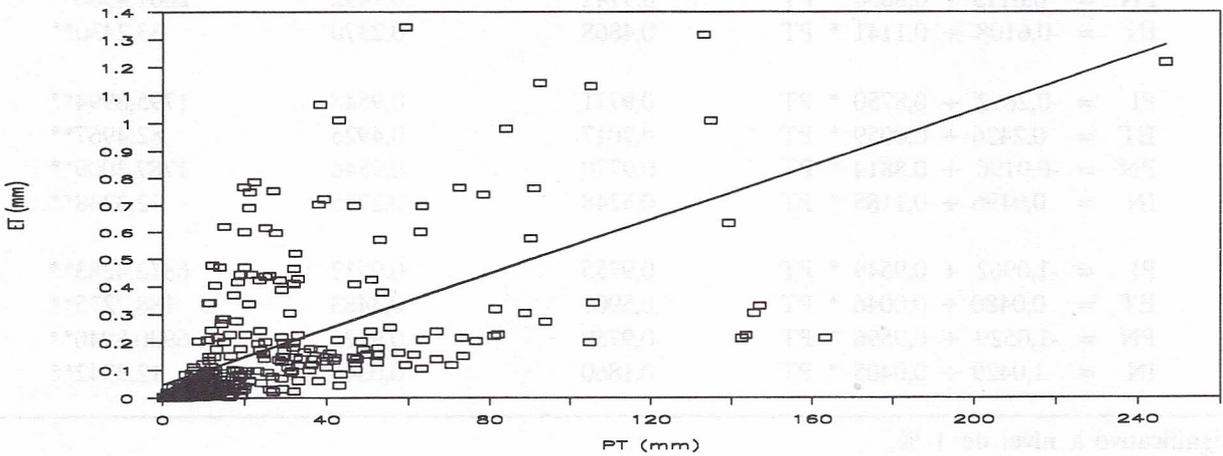
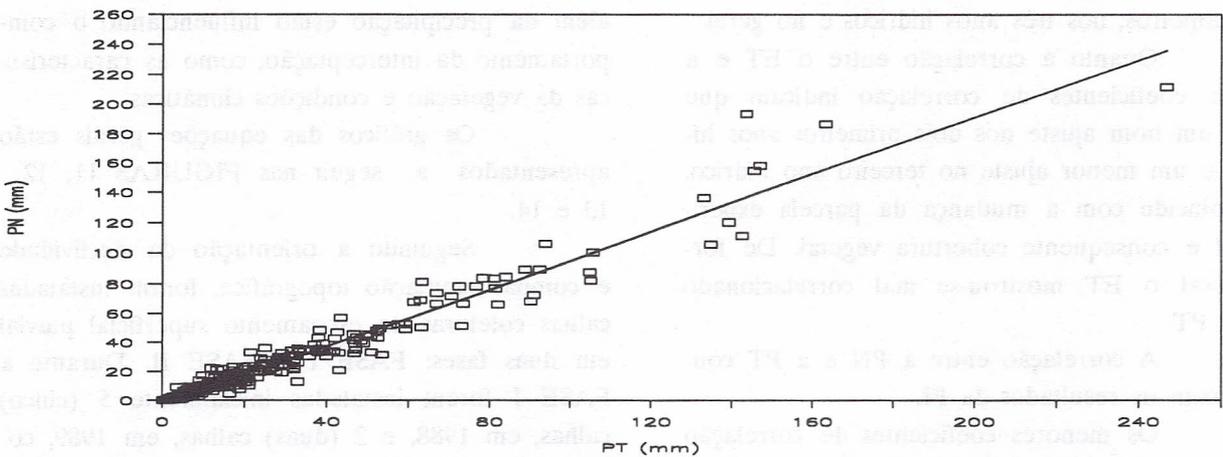
A correlação entre a PN e a PT concorda com os resultados da PI.

Os menores coeficientes de correlação foram encontrados entre a IN e a PT, durante os

três anos hídricos e no geral. Este baixos coeficientes de correlação indicam que outros fatores além da precipitação estão influenciando o comportamento da interceptação, como as características da vegetação e condições climáticas.

Os gráficos das equações gerais estão apresentados a seguir nas FIGURAS 11, 12, 13 e 14.

Seguindo a orientação da declividade e compartimentação topográfica, foram instaladas calhas coletoras de escoamento superficial pluvial em duas fases: FASE I e FASE II. Durante a FASE I foram instaladas inicialmente 5 (cinco) calhas, em 1988, e 2 (duas) calhas, em 1989, como mostra a TABELA 10.

FIGURA 11 - Curva de regressão linear de $PI = f(PT)$ dos 3 anos hídricos.FIGURA 12 - Curva de regressão linear de $ET = f(PT)$ dos 3 anos hídricos.FIGURA 13 - Curva de regressão linear de $PN = f(PT)$ dos 3 anos hídricos.

NALON, M. A. & VELLARDI, A. C. V. Estudo do balanço hídrico nas escarpas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP.

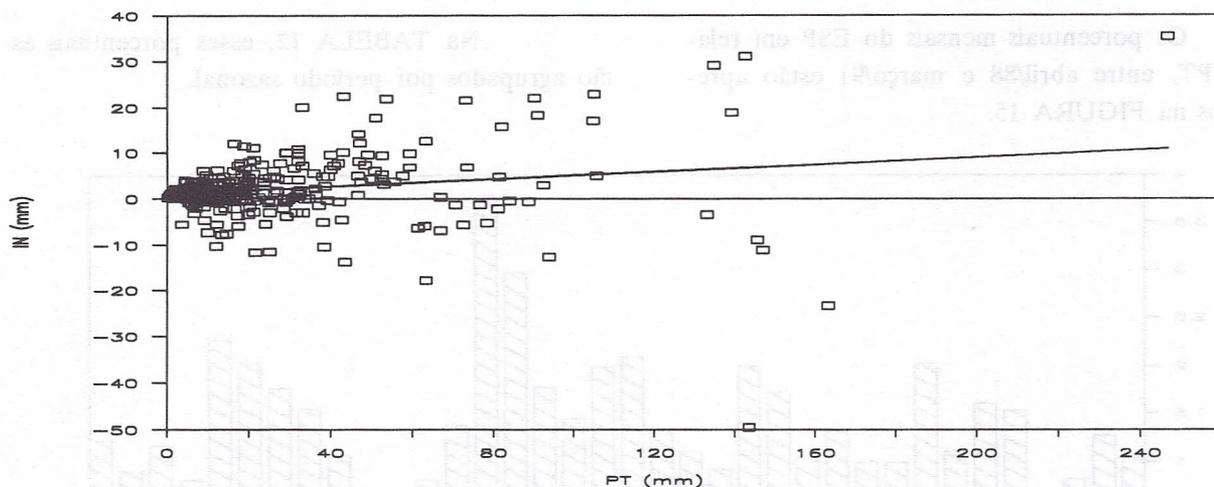


FIGURA 14 - Curva de regressão linear de $IN = f(PT)$ dos 3 anos hídricos.

TABELA 10 - Características das calhas coletoras da FASE I.

Calha	Parcela (m ²)	Altitude (m)	Declividade (°)		Orientação	Compartimento	Data	
			pontual	média			início	final
C1	35,5	105,0	34,0	23,6	NW	ALTO	04/88	07/90
C2	13,6	102,0	34,0	30,0	NW	ALTO	04/88	07/90
C3	4,2	81,0	35,0	36,5	NW	MÉDIO	04/88	07/90
C4	16,0	64,0	27,0	24,0	NW	BAIXO	04/88	03/91
C5	132,5	83,0	30,0	28,5	SW	MÉDIO	04/88	07/90
C6	8,7	68,0	32,0	26,3	SW	BAIXO	02/89	03/91
C7	12,4	81,0	25,0	34,4	SW	MÉDIO	02/89	03/91

Na FASE II, as calhas C1, C2, C3 e C5 foram relocadas, ficando as demais nos mes-

mos lugares, conforme mostra a TABELA 11.

TABELA 11 - Características das calhas da FASE II.

Calha	Parcela (m ²)	Altitude (m)	Declividade (°)		Orientação	Compartimento	Data	
			pontual	média			início	final
C1	14,7	106,0	30,0	28,1	NW	ALTO	08/90	03/91
C2	12,1	99,0	44,0	42,6	NW	ALTO	08/90	03/91
C3	15,0	83,0	31,0	36,8	NW	MÉDIO	08/90	03/91
C5	4,2	86,0	26,0	29,5	SW	MÉDIO	08/90	03/91

Para essas mesmas calhas foram feitas análises de textura (argila, silte, areia fina e areia grossa) do material superficial das parcelas

(0,0 - 30,0 cm). Em termos de classificação, a textura foi a mesma para todas as calhas: argilo-arenosa, variando apenas em proporções.

Os percentuais mensais do ESP em relação a PT, entre abril/88 e março/91 estão apresentados na FIGURA 15.

Na TABELA 12, esses percentuais estão agrupados por período sazonal.

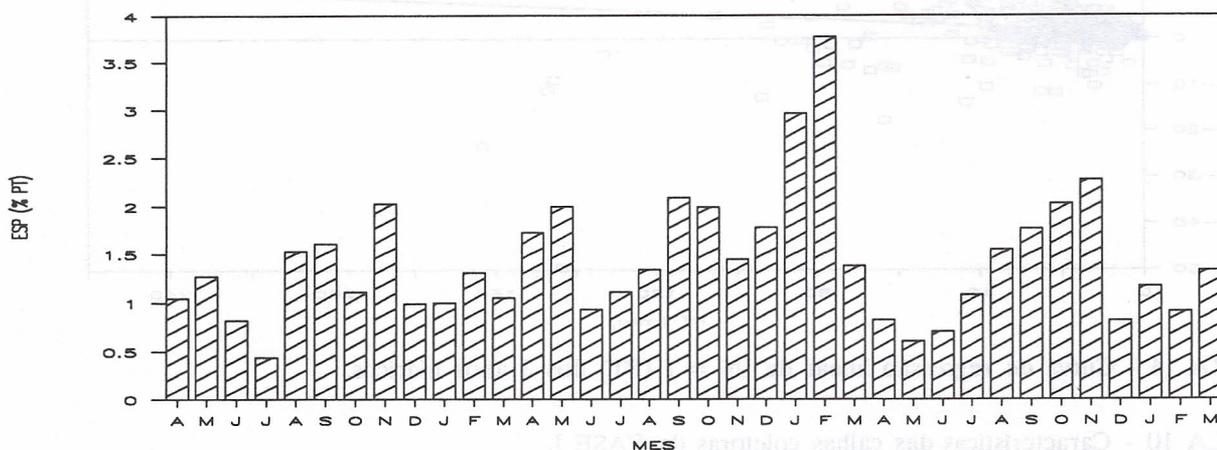


FIGURA 15 - Percentual mensal de ESP em relação a PT, entre abril/88 e março/91.

TABELA 12 - Percentual de ESP em relação a PT por período sazonal.

Período	Ano Hídrico			média
	1º	2º	3º	
chuvoso	1,30	1,66	0,96	1,31
pouco chuvoso	0,83	1,07	1,16	1,02
muito chuvoso	1,17	2,19	1,38	1,58

Em termos médios o ESP apresentou maior taxa no período muito chuvoso, onde ocorreram chuvas de maior quantidade e intensidade, e menor taxa no período pouco chuvoso, onde ocorreram chuvas de menor quantidade e intensidade, com exceção do 3º ano hídrico, quando ocorreram vários eventos de alta

intensidade de chuva, neste período.

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 13, e apresentadas na FIGURA 16.

TABELA 13 - Equações de regressão (ESP x PT), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (r^2) e teste "F".

Período	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**
3º ano	ESP = 0,1048 + 0,0097 * PT	0,7749	0,6006	127,8633**
geral	ESP = 0,0606 + 0,0544 * PT	0,7825	0,6124	557,7724**

(**) Significativo à nível de 1 %.

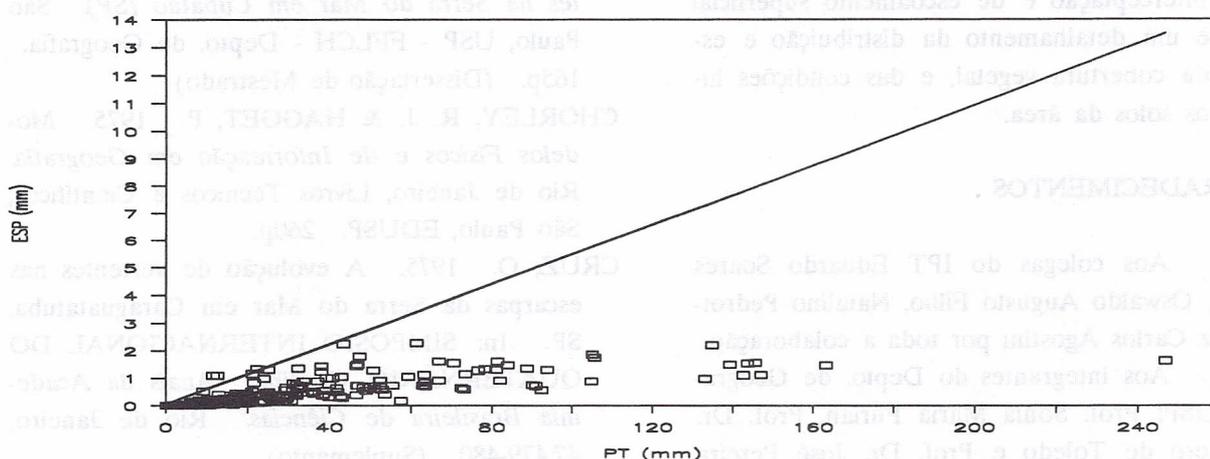


FIGURA 16 - Curva de regressão linear de $ESP = f(PT)$ dos 3 anos hídricos.

Os coeficientes de correlação mostraram que houve um bom ajuste das equações, principalmente no 1º ano hídrico. De forma geral, 61,24 % dos eventos de ESP puderam ser

explicados pela equação de regressão linear.

O resultado individual de cada ano hídrico e médio, estão apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 - Resultados do balanço hídrico anual e médio.

Período	PI (% PT)	ET (% PT)	PN (% PT)	IN (% PT)	ESP (% PT)	ESP (% PN)
1º ano	91,34	0,38	91,72	8,28	1,19	1,30
2º ano	90,79	0,26	91,05	8,95	1,85	2,03
3º ano	86,80	1,29	88,09	11,91	1,27	1,44
média	89,64	0,64	90,28	9,72	1,44	1,59

A análise da tabela acima mostra que a principal forma de penetração da água das chuvas, na floresta, foi através da precipitação interna, sendo insignificante, perto dessa, o escoamento pelo tronco. Ao atingir a superfície do solo, o processo que ocorreu com maior intensidade foi o de infiltração da água que penetrou, representando o escoamento superficial pluvial uma pequena parcela desta.

5 CONCLUSÃO

Os resultados dos 3 anos hídricos estu-

dados, mostram que há uma sazonalidade no comportamento da PT, PI, ET, PN, IN e ESP.

Do total de precipitação que atingiu a área durante os três anos hídricos, em média, 89,64 % penetrou na floresta em forma de precipitação interna e 0,64 % em forma de escoamento pelo tronco, totalizando uma penetração de 90,28 %. Dessa forma 9,72 % da precipitação ficou interceptada pela cobertura vegetal. O escoamento superficial pluvial representou 1,44 % da precipitação total e 1,59 % da água que penetrou na floresta e atingiu o solo, indicando que a maior parte dessa água infiltrou no mesmo.

Para melhor entendimento dos proces-

tos de interceptação e de escoamento superficial sugere-se um detalhamento da distribuição e estrutura da cobertura vegetal, e das condições hídricas dos solos da área.

6 AGRADECIMENTOS

Aos colegas do IPT Eduardo Soares Macedo, Oswaldo Augusto Filho, Natalino Pedrotti e Luiz Carlos Agostini por toda a colaboração.

Aos integrantes do Depto. de Geografia da USP: Prof. Sonia Maria Furian, Prof. Dr. Gil Sodero de Toledo e Prof. Dr. José Pereira de Queiroz Neto.

Aos pesquisadores do Instituto Florestal PqC Elvira Neves Domingues, PqC Francisco Soriano Arcova e PqC Sebastião Fonseca Cesar.

Aos auxiliares de campo Irani Quirino da Silva, Leônidas Batista de Oliveira e Geraldo Sabino de Oliveira, responsáveis pela coleta e medição de dados, e manutenção dos equipamentos de campo, pela competência e dedicação com que realizaram tal tarefa.

Ao pessoal do Parque Estadual da Serra do Mar, núcleo Pilões, pelo apoio logístico e vigilância dos equipamentos.

Ao Engenheiro Agrimensor Henrique Antonioli, pela localização em planta topográfica dos equipamentos na área experimental.

Às secretárias Neide Capocci e Helena de Oliveira Barretta, pelos serviços de datilografia.

Ao motorista Edgard Pereira da Silva, por todas as idas e vindas da Serra do Mar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOVA, F. C. S. & CICCIO, V. de. 1987. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar - núcleo Cunha, SP. *Boletim Técnico IF*, São Paulo, 41(1):37-58.
- BÁCCARO, C. A. D. 1982. *Os processos dos movimentos de massa e a evolução de vertentes na Serra do Mar em Cubatão (SP)*. São Paulo, USP - FFLCH - Depto. de Geografia. 165p. (Dissertação de Mestrado)
- CHORLEY, R. J. & HAGGET, P. 1975. *Modelos Físicos e de Informação em Geografia*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; São Paulo, EDUSP. 260p.
- CRUZ, O. 1975. A evolução de vertentes nas escarpas da Serra do Mar em Caraguatatuba, SP. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO QUATERNÁRIO, Curitiba. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 47:479-480. (Suplemento)
- _____. 1982. *Estudo de processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba - SP*. São Paulo, USP - FFLCH - Depto. de Geografia. 151p. (Tese de Livre Docência)
- DE PLOEY, J. & CRUZ, O. 1979. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. *Catena*, Brauns-chweig, 6(2):11-122.
- GERLACH, T. 1967. Hillslope troughs for measuring sediment movement. *Revue de Géom. dyn.*, (4):173.
- LIMA, V. P. 1986. *Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas*. Piracicaba, Depto. de Silvicultura - ESALQ. 242p.
- _____. 1988. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutrientes em microparcelsas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no Município de São Simão, SP. *IPEF*, Piracicaba, (38):5-16.
- NAKANO, H. s.d. A propriedade da floresta de conservar a água do solo e o aproveitamento desta. *JICA*. 78p.
- ROSSI, M. & PFEIFER, R. M. 1991. Pedologia 2: levantamento detalhado dos solos da Serra do Mar. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, 3(1):45-65.
- VALLEJO, M. S. & VALLEJO, L. R. 1982. Aspectos da dinâmica hidrológica em áreas florestadas e suas relações com os processos erosivos - primeiros resultados. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, IV. *Anais...* p. 365-380.