

# CARACTERÍSTICAS DO DEFLÚVIO DE DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NO LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL WALTER EMMERICH, CUNHA - SP\*

Francisco Carlos Soriano ARCOVA\*\*  
Valdir de CICCIO\*\*

## RESUMO

As curvas de duração de fluxo do escoamento diário e relações entre a precipitação e o escoamento direto das microbacias hidrográficas experimentais B e D do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Walter Emmerich, foram estudadas durante um período de seis anos, entre outubro de 1986 a setembro de 1992. O deflúvio médio diário durante os períodos seco e úmido foram respectivamente - microbacia B: 3,4 mm e 4,7 mm; microbacia D: 3,8 mm e 4,8 mm. O escoamento base foi o principal componente do fluxo diário de água das microbacias, abrangendo aproximadamente 90% do tempo de descarga na curva de duração de fluxo. A contribuição do escoamento direto para o deflúvio diário foi de 10% de todo o tempo de descarga. O volume de escoamento direto da microbacia B, em geral, superou o da microbacia D. Houve uma diferença marcante entre a resposta hidrológica das microbacias em função da época do ano. No período das chuvas a proporção de escoamento direto foi superior à verificada no período mais seco. Os fatores de resposta médios, calculados pelo quociente entre o volume de escoamento direto e a precipitação, foram - microbacia B: 0,23 e microbacia D: 0,12. A resposta hidrológica às chuvas, mais intensa na primeira microbacia, decorreu principalmente, da presença de grandes extensões de solos rasos localizados em terrenos de grande inclinação, concentrados desde as partes mais elevadas até as porções inferiores de suas vertentes.

Palavras-chave: microbacias; escoamento diário; escoamento direto.

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas desempenham papel fundamental no recebimento e distribuição da água das chuvas nas bacias hidrográficas, influenciando sua liberação para a atmosfera, pelo processo de evapotranspiração e, também, para alimentação dos

## ABSTRACT

The flow duration curves of daily streamflow and the relationships between precipitation and stormflow of the B and D experimental small watersheds in the Walter Emmerich Hydrologic Laboratory were studied for six years. The mean daily flow of the watersheds during the dry and wet periods were respectively; B watershed: 3.4 mm and 4.7 mm, D watershed: 3.8 mm and 4.8 mm. The baseflow was the main component of the daily streamflow, occurring during almost 90% of the time on the flow duration curves of the catchments. The daily direct runoff contribution was 10% of the total time of the streamflow. The stormflow volume of the B watershed was generally greater than the D watershed. There was a remarkable difference between the two watersheds hydrologic responses in different seasons of the year. In the rainy period, the proportion of the stormflow was greater than in the drier period. The mean hydrologic response, estimated by the direct runoff volume divided by storm rainfall were; B watershed: 0.23 and D watershed: 0.12. The larger hydrologic response in the B watershed than D watershed was mainly due to vast area of shallow soil in sloping ground which are concentrated from the top to the bottom in B watershed hillslopes.

Key words: small watersheds; daily streamflow; direct runoff.

aquíferos e das águas superficiais, como rios, nascentes e lagos.

Os conhecimentos atuais sobre os processos hidrológicos de áreas montanhosas florestadas são o resultado de estudos conduzidos em grande parte em microbacias hidrográficas. Os mecanismos que influenciam a geração do deflúvio,

(\*) Artigo baseado na Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor em dezembro de 1996 à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-USP, Piracicaba e aceito para publicação em dezembro de 1997.

(\*\*) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

as perdas evaporativas, o suprimento de água em florestas, bem como os efeitos das intervenções do homem sobre estas, decorrentes das atividades de manejo e exploração são estudados com a utilização de microbacias experimentais em vários locais do mundo (BOSCH & HEWLETT, 1982; SHIMIZU, 1983; BRUIJNZEEL, 1990 e WHITEHEAD & ROBINSON, 1993).

Os processos hidrológicos na Serra do Mar vêm sendo pesquisados pelo Instituto Florestal de São Paulo por mais de uma década, com a criação do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Walter Emmerich. Dentre os vários objetivos dos estudos está a caracterização do deflúvio de suas microbacias experimentais, que pode gerar informações úteis ao manejo e à recuperação das microbacias da região do entorno do Laboratório, no município de Cunha.

A chamada "curva de duração de fluxo" é considerada por hidrologistas uma técnica de trabalho bastante útil para o estudo das características do deflúvio de bacias hidrográficas, SEARCY (1959) e CHANG (1982).

Esta "curva de duração de fluxo" é uma curva de frequência cumulativa que mostra o percentual de tempo no qual descargas específicas são iguais ou excedidas durante um dado período. Ela mostra os efeitos integrados dos vários fatores que afetam o deflúvio. Como a inclinação da curva é influenciada pelas características hidrológicas e geológicas da área, a curva pode ser usada tanto para a análise do deflúvio de uma bacia hidrográfica como para comparar as características de uma bacia com aquelas de outras bacias. Uma curva de duração de fluxo com uma inclinação acentuada em toda a sua extensão reflete uma contribuição bastante significativa do escoamento direto no fluxo total da bacia hidrográfica. Por outro lado, uma curva com uma inclinação suave em toda a sua extensão revela uma contribuição mais significativa do escoamento base, SEARCY (1959).

Por representar a resposta imediata da bacia hidrográfica a uma dada chuva, o conhecimento dos vários aspectos relacionados ao escoamento direto é importante para a caracterização hidrológica de microbacias.

Os "coeficientes do deflúvio" ou "fatores de resposta", tais como a razão entre o escoamento direto e a precipitação e a razão entre o escoamento direto e o deflúvio total, podem ser usados na caracterização de microbacias. Além dos fatores de resposta médios, como o quociente entre escoamento direto médio anual e precipitação média anual, a variação da resposta do deflúvio às chuvas é útil também como característica hidrológica da microbacia na definição dos eventos máximos e mínimos encontrados, SWFIT Jr. *et al.* (1988).

À luz dos conhecimentos atuais de hidrologia florestal, sabe-se que o escoamento direto em áreas florestais bem protegidas é produzido por apenas uma fração de toda a superfície ou subsuperfície da microbacia hidrográfica. Estas áreas são dinâmicas, expandindo-se com a continuidade das chuvas e retraindo-se com o fim destas. Em linhas gerais o enunciado acima explica o "conceito de área variável de afluência" (HEWLETT, 1982).

Em revisão bibliográfica sobre o assunto, LIMA (1995)\* relaciona as seguintes áreas potenciais para a geração do escoamento rápido de microbacias florestadas: 1) zonas saturadas que margeiam os cursos d'água e suas cabeceiras, as quais podem se expandir durante chuvas prolongadas, isto é, as zonas ripárias; 2) concavidades do terreno, para as quais há convergência das linhas de fluxo, como as concavidades frequentemente existentes nas cabeceiras (também parte da zona ripária); 3) áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

Ainda conforme LIMA (1995)\*, nas microbacias onde o uso da terra não tenha favorecido o surgimento de áreas compactadas ou impermeáveis, as zonas ripárias desempenham papel hidrológico fundamental na geração do escoamento direto. Salienta que implícito nesta conclusão está a convicção de que por esta razão tais áreas devem estar permanentemente protegidas pela vegetação ciliar, embora não seja fácil demonstrar a relação causa e efeito.

Este trabalho faz uma comparação do comportamento hidrológico das microbacias hidrográficas experimentais B e D. O objetivo do estudo é realizar uma análise do regime do deflúvio por meio de curvas de duração de fluxo do escoamento diário e de características do escoamento direto.

(\*) Palestra proferida durante o 2º Simpósio sobre Matas Ciliares, realizado em Ribeirão Preto-SP, em janeiro de 1995. (não publicada)

ARCOVA, F. C. S. & CICCIO, V. de. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Características do Meio Biofísico da Área de Estudo

O Laboratório de Hidrologia Florestal Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Walter Emmerich está situado no Parque Estadual da Serra do Mar, Município de Cunha, no limite entre a Serra do Mar e o Planalto Atlântico. É administrado pelo Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A área faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, que na sua parte mais elevada é formada pelas bacias hidrográficas dos rios Paraitinga e Paraibuna, totalizando 4400 km<sup>2</sup>. Está localizada a leste do Estado de São Paulo (PRANDINI *et al.*, 1982).

As microbacias B e D, com áreas de 36,68 ha e 56,04 ha respectivamente, distam aproximadamente três quilômetros entre si, sendo seus cursos d'água tributários do rio Paraibuna (FIGURA 1).

A região é montanhosa. Conforme FURIAN & PFEIFER (1986), apresenta fortes oscilações topográficas, onde predominam altitudes superiores a 1000 metros e declividades das encostas acima de 15°.

Segundo FURIAN (1987), no Núcleo Cunha as classes de níveis de altitude são distribuídas entre 1000 m e 1228 m. Esta última cota pertence ao topo mais elevado da área. A cota de 1000 m corresponde à calha do rio Bonito e a de 1053 m à do rio Paraibuna.

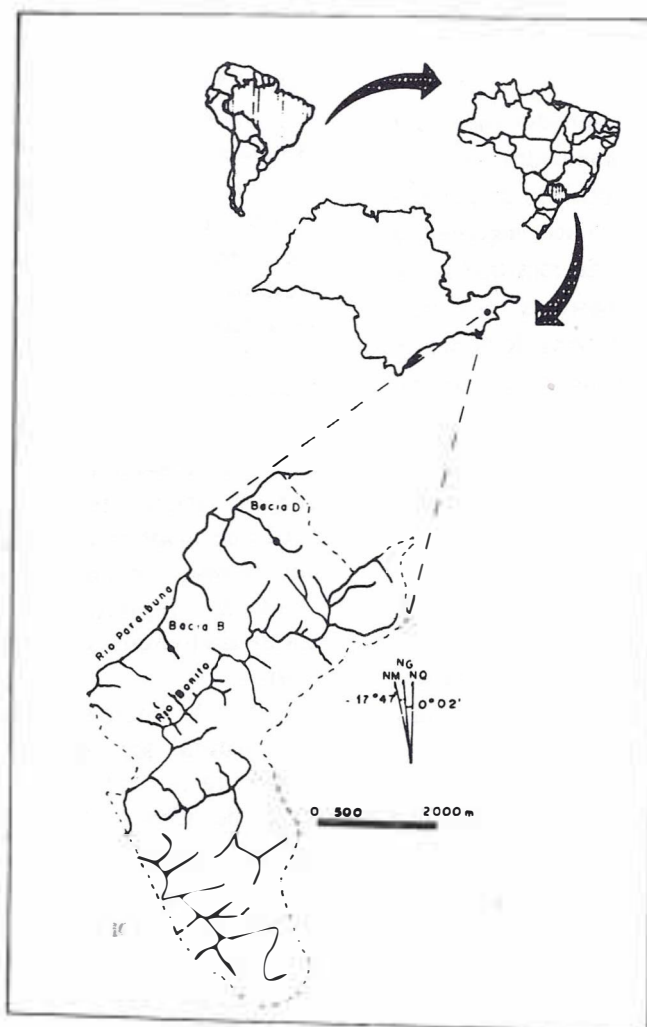


FIGURA 1 - Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Walter Emmerich e das microbacias B e D.

A microbacia B possui os divisores topográficos em cotas ligeiramente inferiores às da microbacia D. Nos topos dos morros as altitudes variam de 1130 m a 1170 m na microbacia B e 1150 m a 1228 m na microbacia D.

A microbacia B tem topos arredondados. As vertentes são íngremes, com declividades entre 58% a 97% em sua grande maioria, como mostrado pelo mapa de classes de declividades (FIGURA 2). Há exposição de rochas em alguns trechos da microbacia. Da meia vertente para baixo ocorrem terrenos com forma côncava, entrecortadas por vertentes abruptas, também com altas declividades. Tanto as formas das vertentes quanto das declividades apresentam expressivas rupturas. Tais rupturas são igualmente observadas na baixa vertente até o canal do deflúvio, cujas altitudes variam de 1130 m a menos que 1050 m.

A microbacia D é caracterizada por divisores d'água com topos abaulados, isto é, trechos com faces íngremes e exposição de paredes rochosas e trechos com faces pouco íngremes à arredondadas. Escorregamentos são registrados em setores de vertentes retilíneas íngremes, próximos aos topos. Há destaque para as formas de vertentes retilínea-côncavas. Ocorrem formas convexas em alguns segmentos próximos aos topos abaulados e nos segmentos das baixas vertentes, onde são registrados contatos abruptos com o fundo de vale, definidos preferencialmente pela existência de rochas. Os depósitos de vertente são expressivos nos médios e baixos compartimentos da microbacia. Suavizam os contatos das baixas vertentes com o fundo do vale, caracterizando as vertentes côncavas. Pontos de ressurgência de água subsuperficial são registrados, predominantemente em setores de vertente côncava, próximos aos contatos desses depósitos com a rocha alterada (DOMINGUES & FURIAN, 1995).

Os terrenos mais íngremes da microbacia D, dispersos espacialmente e predominantemente localizados próximos aos divisores d'água, apresentam declividades entre 58% a 97% (FIGURA 3).

A estrutura geológica da área faz parte do Complexo Cristalino, do Período Pré-cambriano.

Contém granitos miloníticos, gnaisses, xistos cristalinos (micaxistos, quartzoxistos), granitos e diabásios básicos de intrusão parcial na era Mesozóica (JICA, 1980).

FURIAN & PFEIFER (1986) classificam os solos do Núcleo Cunha como Latossolo Vermelho Amarelo Fase Rasa, provenientes de rochas duras, orientadas e de difícil decomposição, como gnaisses, migmatitos e granitos. São solos relativamente rasos, com textura grosseira, estrutura fraca, elevada porosidade e boa permeabilidade. São susceptíveis à erosão e também a escorregamentos quando da ocorrência de chuvas de grande frequência e intensidade.

O levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da microbacia D, realizado por CARVALHO *et al.* (1990), identificou na área o predomínio de Latossolo Vermelho Amarelo, num total de nove classes. Há ainda dois tipos de solos Gleizados e dois tipos de solos Aluviais.

Trabalhos preliminares de levantamento de solos na microbacia B, realizados por FURIAN (comunicação pessoal), indicaram a presença dos mesmos tipos de solos que os encontrados na microbacia D.

A vegetação primária da região é, conforme LEITÃO FILHO (1982), de Floresta Latifoliada Perenifolia - Mata Atlântica. A maior parte desta mata foi substituída por pastagens e culturas anuais, ou sofreu exploração para produção de madeira e carvão, permanecendo apenas uma floresta secundária em fase de recuperação. A vegetação primitiva é encontrada ainda nas encostas declivosas de difícil acesso e nos topos de morros.

As microbacias apresentam cobertura vegetal natural secundária, resultado de exploração madeireira ocorrida há aproximadamente 45 anos. Cerca de 15% a 20% da microbacia D, principalmente nas porções inferiores, teve campos de pastos até 12 anos atrás, sendo tais áreas invadidas por vegetação pioneira da região. Nas porções mais elevadas e de maior declividade, em ambas as microbacias, encontram-se árvores remanescentes da vegetação primitiva, que podem alcançar 20 metros de altura. Para o restante da vegetação das microbacias raramente as árvores ultrapassam esta altura.

ARCOVA, F. C. S. & CICCIO, V. de. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP.

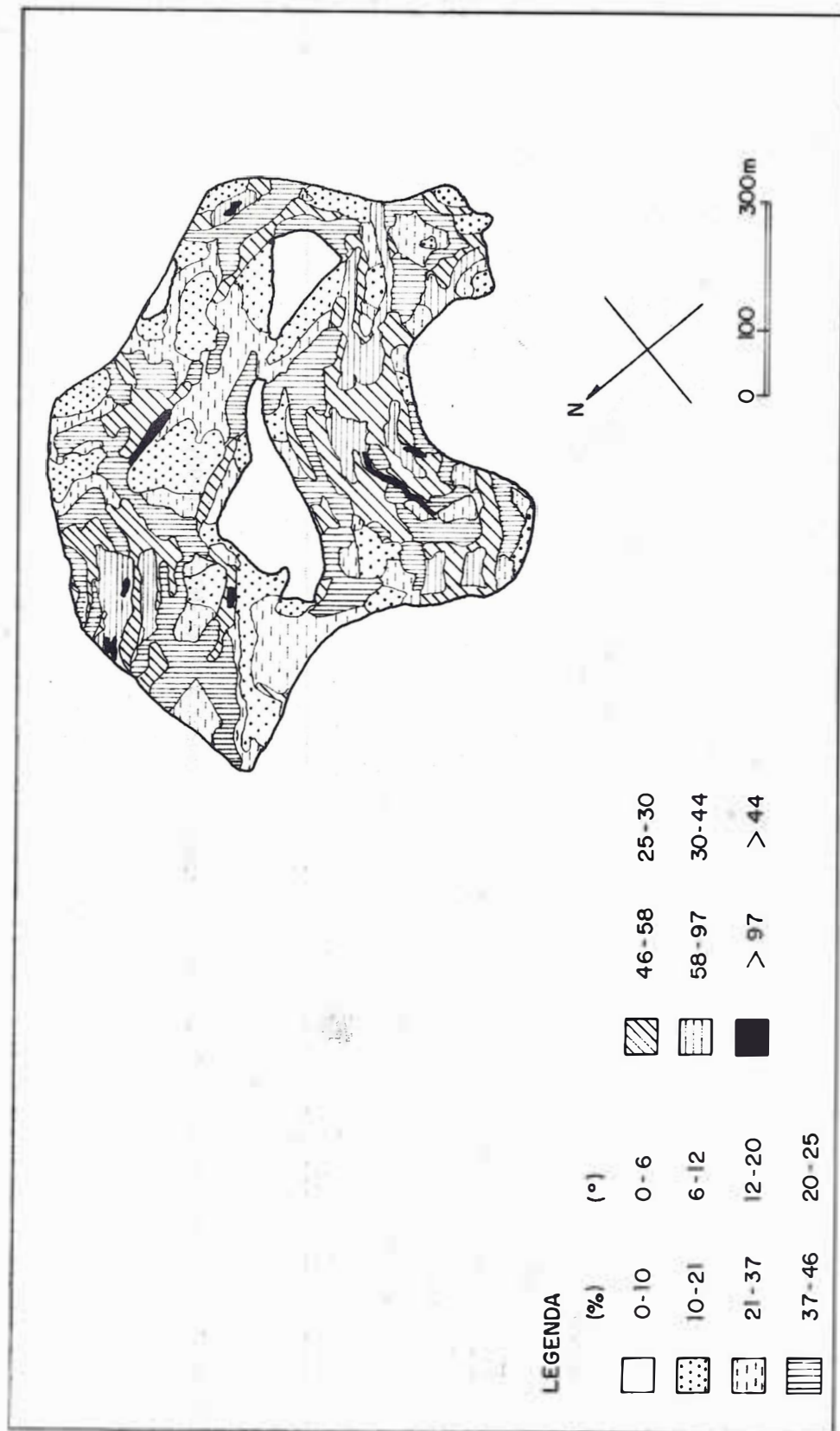


FIGURA 2 - Mapa das classes de declividade da microbacia B.

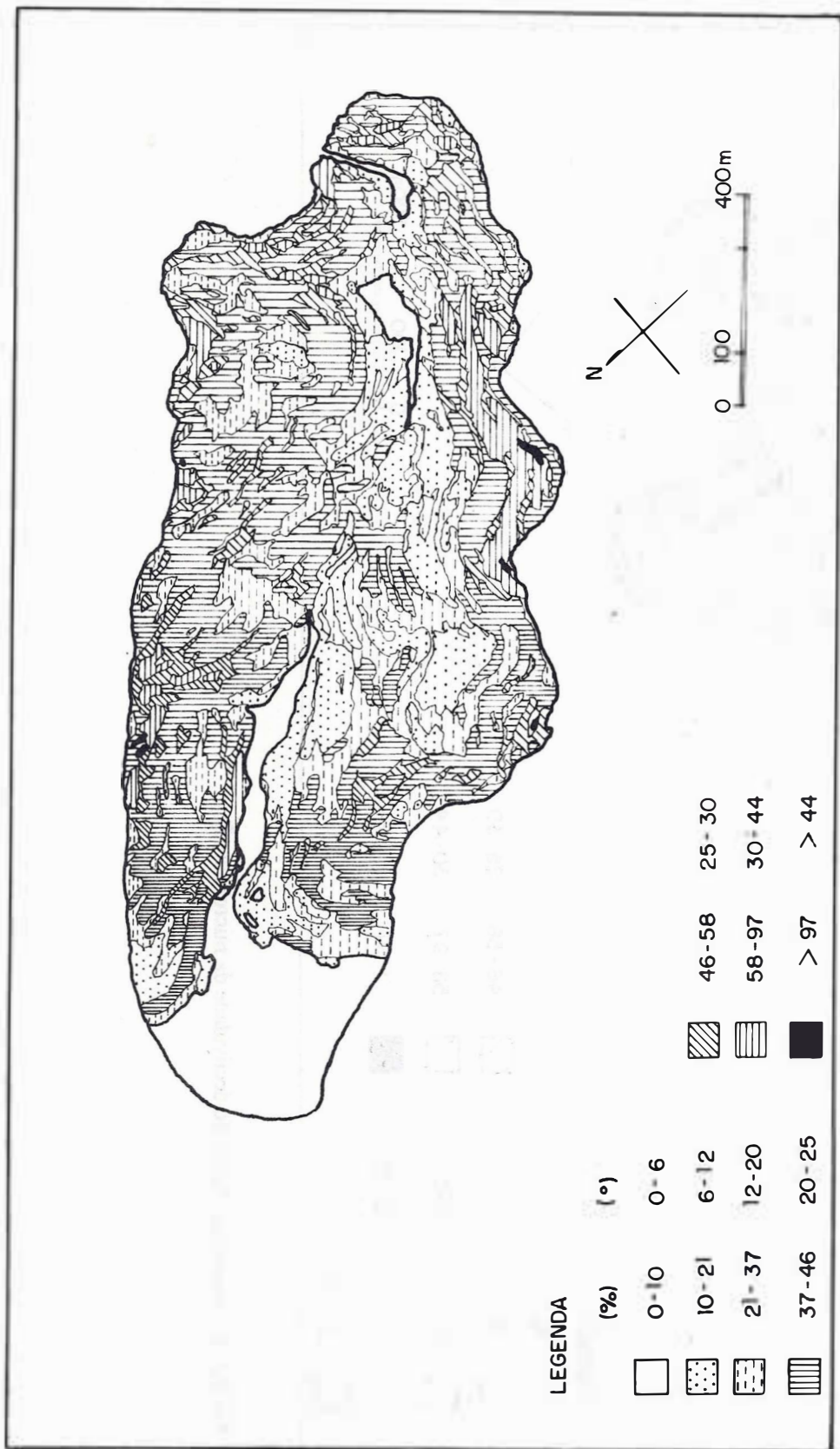


FIGURA 3 - Mapa das classes de declividade da microbacia D (Fonte: CARVALHO *et al.*, 1990)

A região tem clima úmido e sofre fortes influências da altitude e dos efeitos orográficos da Serra do Mar, apresentando regime pluviométrico elevado. A precipitação anual média de 12 anos - período entre outubro de 1982 a setembro de 1994 - é de 2241 mm, com valores extremos de 1985 mm e 3088 mm. O máximo valor anual obtido foi decorrente de uma precipitação que houve entre os dias 23 e 24 de janeiro de 1985, totalizando 430 mm em 24 horas.

O ano pode ser dividido em um período caracterizado como úmido, que se estende de outubro a março (estação chuvosa) e um período caracterizado como "seco" ou pouco úmido, compreendendo os meses de abril a setembro. Aproximadamente 65% da precipitação ocorre na estação úmida, com o restante das chuvas alcançando as bacias no período seco. No período úmido as chuvas são frequentemente fortes e estão associadas à trovoadas. No resto do ano ocorrem chuvas uniformes que podem se estender por todo o dia (JICA, 1986). O mês mais chuvoso é janeiro e os meses mais secos são junho, julho e agosto.

A temperatura média anual do ar é de 16,5 °C (média de 10 anos). As maiores temperaturas ocorrem em fevereiro, sendo julho o mês mais frio. Valores negativos podem ser registrados durante os meses de junho e julho. As temperaturas médias de inverno e de verão estão em torno de 10 °C e 22 °C, respectivamente.

## 2.2 Metodologias

### 2.2.1 Monitoramento hidrológico

Para a medição das descargas utilizou-se estações limimétricas instaladas no ponto mais a jusante do curso d'água das microbacias. A estação da microbacia B é constituída de dois tanques de sedimentação e um vertedouro triangular de ferro de 90°. A estação da microbacia D é composta de um tanque de sedimentação e um canal trapezoidal aberto regulador do fluxo d'água. Linígrafos do tipo flutuador, de precisão igual a 0,5 cm, mediram continuamente as variações da altura da lâmina de água nos vertedouros.

As precipitações foram obtidas por meio de pluviógrafos de caçamba, de precisão igual a 0,5 mm, instalados nas estações fluviométricas,

sendo os registros das chuvas feitos em carta acoplada àquela do linígrafo.

A coleta de dados abrangeu um período de seis anos, estendendo-se de outubro de 1986 a setembro de 1992.

### 2.2.2 Curvas de duração de fluxo do deflúvio diário

Os dados de descarga diária das duas microbacias, em milímetros, foram agrupados em classes de intervalos bem distribuídos, variando do menor para o maior valor. O número de vezes que as descargas diárias enquadraram-se em cada uma das classes foi computado e somado. O total de dias em cada classe foi acumulado, começando pela classe de descarga mais elevada; o valor final acumulado na menor classe igualou-se ao número total de dias do período. Dividindo-se o valor acumulado em cada classe pelo número total de dias do período, obteve-se o percentual de tempo em que a vazão diária igualou-se ou excedeu a magnitude indicada. Plotando-se em papel monolgaritmico os valores de descarga nas ordenadas, contra o valor percentual de tempo correspondente no eixo das abscissas, obteve-se as curvas de duração de fluxo das microbacias.

Determinou-se as curvas de duração de fluxo para o ano hídrico completo - setembro a outubro do ano seguinte - e também para os períodos seco e úmido, separadamente.

### 2.2.3 Escoamento direto

Correlações entre o volume de escoamento direto gerado nas microbacias e a quantidade de chuva que o originou foram analisadas graficamente, para os períodos seco e úmido.

As respostas hidrológicas das microbacias à estas chuvas foram comparadas em termos dos coeficientes do deflúvio; quociente entre o escoamento direto e o escoamento total do hidrograma; e o quociente entre o escoamento direto e a precipitação que o gerou. Para tanto, foram selecionados oitenta e oito hidrogramas produzidos por chuvas de diferentes magnitudes ocorridas no período.

A obtenção dos volumes de escoamento direto foi feita pela análise dos hidrogramas, com a separação dos componentes escoamento base e escoamento direto, conforme procedimento apresentado em JICA (1986).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Curvas de Duração de Fluxo do Deflúvio Diário

As curvas de duração de fluxo do deflúvio diário das microbacias B e D para o período de seis anos hídricos estão presentes na FIGURA 4. Para 80% do tempo o deflúvio das microbacias foi inferior a 6,0 mm. A microbacia D apresentou um ligeiro predomínio sobre a microbacia B para os fluxos com valores inferiores a 6,0 mm. Esta condição representa o deflúvio produzido principalmente pelo escoamento base das microbacias. Para fluxos superiores a 6,0 mm as curvas apresentaram uma inclinação bastante acentuada, refletindo conforme SEARCY (1959), uma contribuição significativa do escoamento direto sobre o

fluxo diário. Para 10% a 15% do tempo de fluxo, os valores máximos diários do deflúvio da microbacia B superaram os da microbacia D, indicando uma maior proporção do volume de escoamento direto na primeira microbacia.

A contribuição do escoamento de base para o deflúvio diário das duas microbacias durante o período seco (FIGURA 5) foi significativamente maior quando comparada com a contribuição do período úmido (FIGURA 6). Cerca de 92% do tempo de todo o fluxo correspondeu ao escoamento de base; apenas 8% do tempo deveu-se ao escoamento direto das microbacias. Ao contrário do período úmido, no qual a participação do escoamento direto foi superior na microbacia B, no período seco as duas áreas apresentaram uma frequência de ocorrência igual para os grandes fluxos diários.

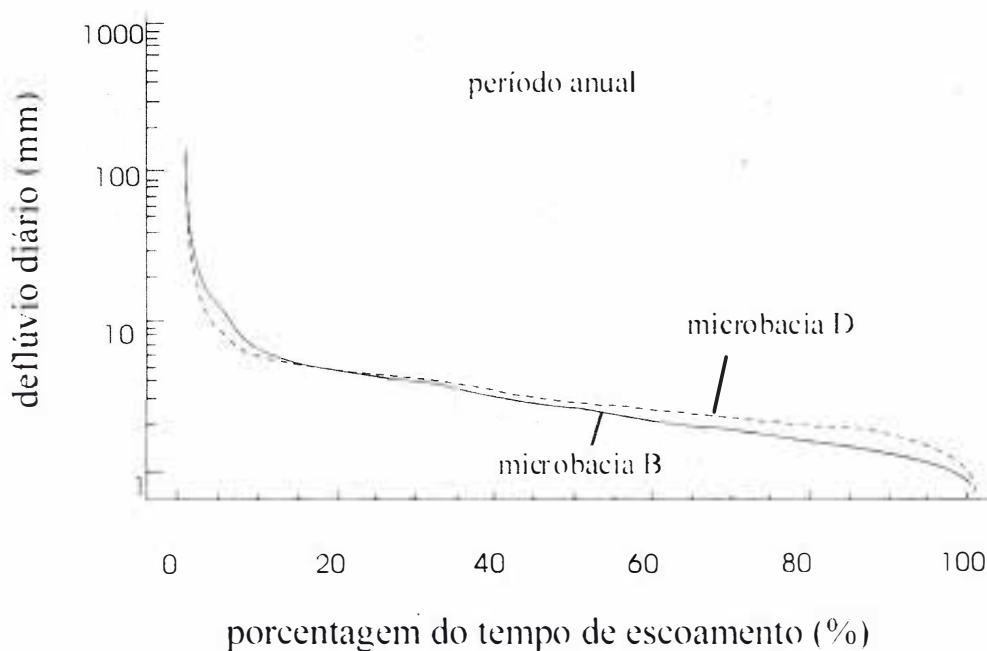


FIGURA 4 - Curvas de duração de fluxo do deflúvio diário das microbacias B e D para o período anual.



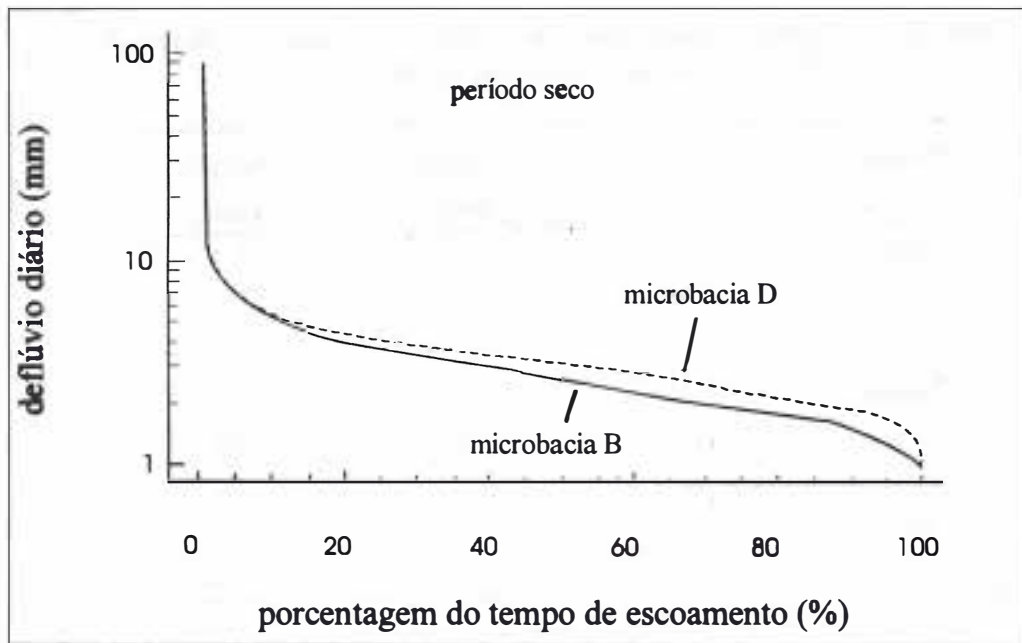


FIGURA 5 - Curvas de duração de fluxo do deflúvio diário das microbacias B e D para o período seco.

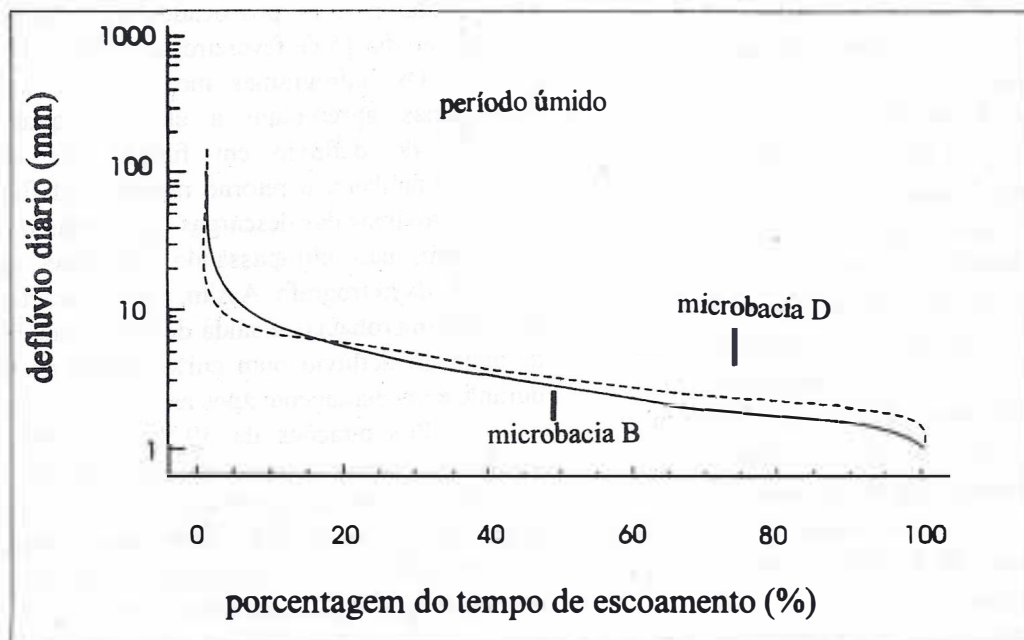


FIGURA 6 - Curvas de duração de fluxo do deflúvio diário das microbacias B e D para o período úmido.

A TABELA I resume as principais características das curvas de duração de fluxo. O deflúvio médio diário das microbacias B e D para o período seco foi 3,4 mm e 3,8 mm respectivamente, equivalendo a 32,9% e 44,5% do tempo de escoamento. Os respectivos deflúvios medianos para o

mesmo período foram 2,7 mm e 3,3 mm, correspondendo a 50% do tempo de fluxo. Para o período úmido as médias foram ligeiramente superiores, com valores iguais a 4,7 mm e 4,8 mm, isto é 42,5% e 45,7% do tempo de escoamento. As medianas foram 3,1 mm e 3,6 mm, respectivamente.

TABELA 1 - Valores característicos das curvas de duração de fluxo do deflúvio diário das microbacias B e D.

Período	Microbacia	Média (mm)	Mediana (mm)
Seco	B	3,4	2,7
	D	3,8	3,3
Úmido	B	4,7	3,1
	D	4,8	3,6
Total	B	4,0	2,9
	D	4,3	3,4

Estes valores são bastante significativos. Uma comparação com os resultados encontrados por SCARDUA (1994) na microbacia Tinga, na região de Itatinga - São Paulo, permite afirmar que as microbacias B e D apresentam elevado fluxo de escoamento diário. Enquanto o deflúvio médio diário na primeira bacia foi de apenas 1,5 mm, a microbacia D teve um fluxo 2,9 vezes superior a este, isto é, 4,3 mm. Ainda, este fluxo permaneceu bastante alto por todo o ano, com o escoamento médio diário no período seco sendo de 3,8 mm. O deflúvio mediano, que equivale a 50% do tempo na curva de duração de fluxo, correspondeu a 1,3 mm na microbacia Tinga. Já na microbacia D, o montante foi muito maior, de 3,4 mm. Também, o deflúvio mediano no caso da microbacia D foi praticamente o mesmo, seja no período seco ou no período úmido, isto é da ordem de 3,0 mm, mostrando um regime de descargas bastante regular entre as duas estações.

O elevado índice pluviométrico, com a precipitação média anual superior a 2000 mm, as chuvas bem distribuídas durante o ano, associados à reduzidas perdas evaporativas - da ordem de 30% da precipitação - conforme CICCIO *et al.* (1989) e mais a elevada permeabilidade dos solos, proporcionam às microbacias B e D elevada capacidade de armazenamento de água, com uma gradual liberação para o deflúvio por intermédio do escoamento base durante todo o ano.

### 3.2 Escoamento direto

A FIGURA 7 contém os hidrogramas das microbacias B e D provocados por precipitação ocorrida no dia 15 de fevereiro de 1988.

Os hidrogramas mostram que as duas microbacias apresentam a elevação quase que imediata do deflúvio em função das chuvas. Mostram também, o retorno rápido do deflúvio às vazões próximas das descargas registradas no início do evento, não ultrapassando 20 horas após o princípio da hidrógrafa. Assim, é uma característica das duas microbacias a saída de um grande volume de água do deflúvio num curto espaço de tempo, durante e imediatamente após as chuvas.

Precipitações de 39,5 mm e 46,5 mm geraram escoamento direto de 15,1 mm na microbacia B e 5,7 mm na microbacia D, respectivamente. Desta forma, precipitação ligeiramente inferior na microbacia B provocou escoamento direto três vezes maior que àquele verificado na microbacia D.

As razões entre o escoamento direto e o escoamento total para as microbacias foram de 0,77 para a microbacia B e de 0,60 para a D. Assim, uma elevada proporção do deflúvio total deixou as bacias como escoamento direto. O quociente entre o escoamento direto e a precipitação para a microbacia B foi 0,38 e para a microbacia D 0,12. Estes valores indicam que a microbacia B responde mais intensamente às chuvas, onde 38% da precipitação deixou a bacia na forma de escoamento direto, contra 12% para a microbacia D.

ARCOVA, F. C. S. & CICCIO, V. de. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP.

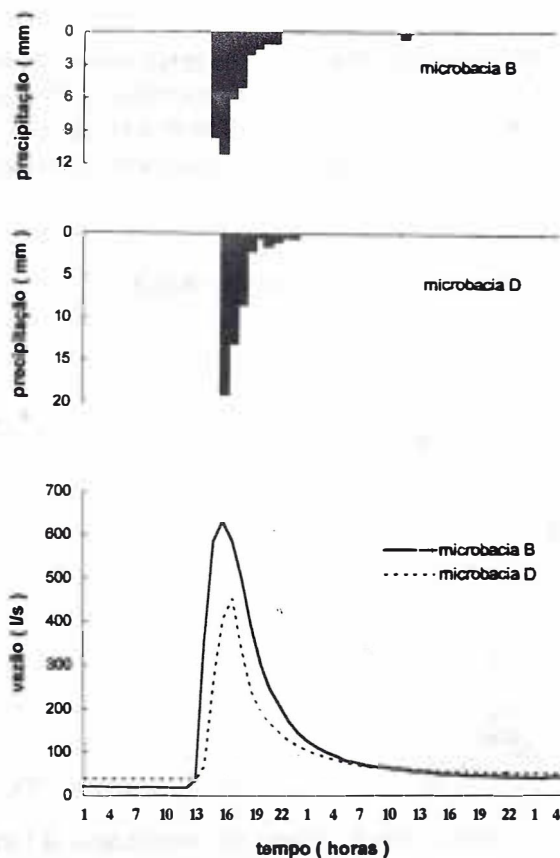


FIGURA 7 - Hidrogramas das microbacias B e D ocorridos no dia 15 de fevereiro de 1988.

As tendências acima mostradas são confirmadas para o conjunto de hidrógrafas analisado neste estudo, como é mostrado a seguir.

O gráfico da FIGURA 8 inclui os valores percentuais do escoamento direto em relação ao fluxo total do deflúvio das duas microbacias. Observa-se

que para 70% dos eventos amostrados o componente escoamento direto da microbacia B foi proporcionalmente maior que o da microbacia D, isto é, o escoamento direto contribuiu com uma parcela maior para a geração do deflúvio na microbacia B que na microbacia D.

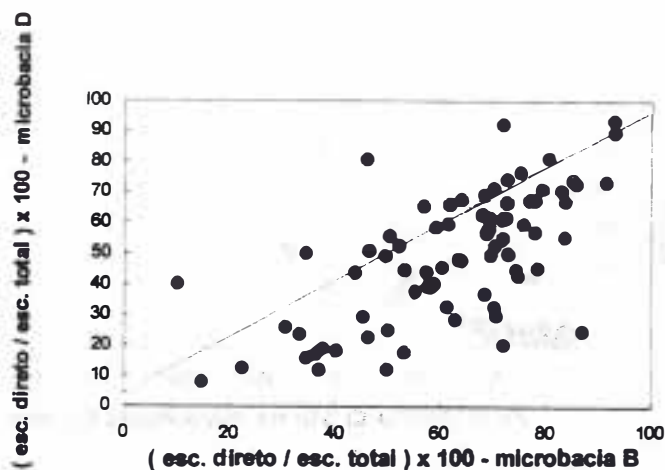


FIGURA 8 - Contribuição percentual do escoamento direto para o escoamento total das microbacias B e D.

Algumas relações entre o escoamento direto das duas microbacias estão representadas nas FIGURAS 9 e 10. Independentemente da época do ano, seca ou chuvosa, a microbacia B apresentou,

em geral, valores de escoamento direto superiores aos da microbacia D, indicando que uma maior quantidade de água do deflúvio deixa a primeira bacia pelo escoamento rápido quando da ocorrência das chuvas.

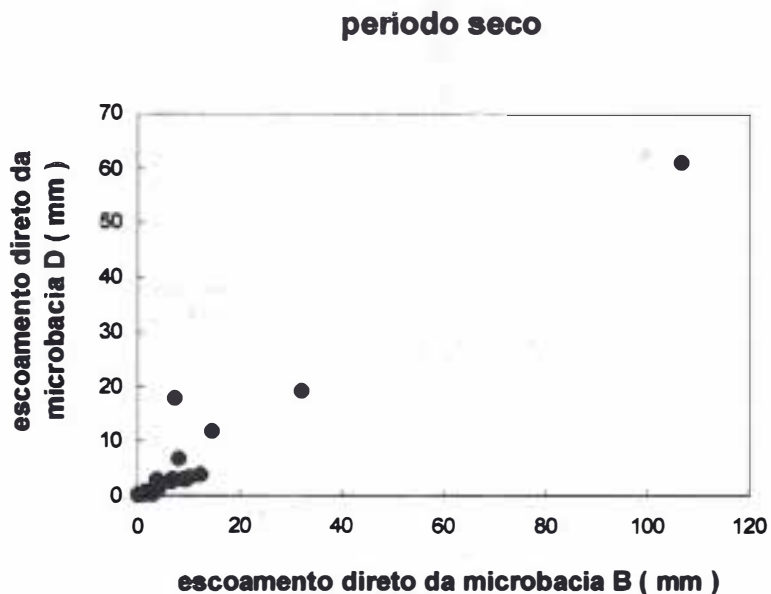


FIGURA 9 - Relação entre o escoamento direto das microbacias B e D no período seco.

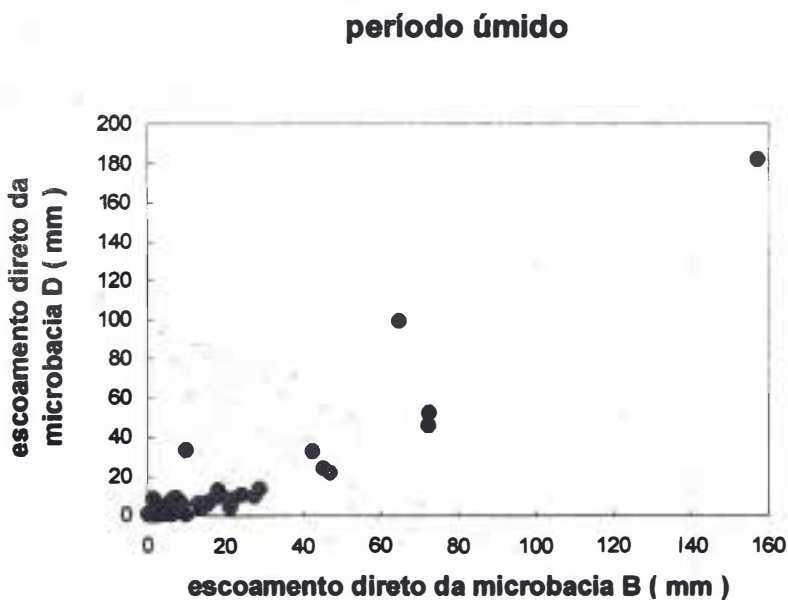


FIGURA 10 - Relação entre o escoamento direto das microbacias B e D no período úmido.

A relação percentual entre o volume do escoamento direto e a precipitação que o gerou acentua que as microbacias possuem, de fato, um comportamento bastante diferenciado quanto à resposta hidrológica. Por exemplo, chuvas de até 50 mm que ocorreram durante o período seco na microbacia B provocaram escoamento direto numa faixa de 10% a 35% da precipitação (FIGURA 11). Para a

microbacia D este percentual raramente ultrapassou o valor de 10% (FIGURA 12). Para o período úmido isto é ainda mais evidente. Enquanto a microbacia B apresentou inúmeros eventos com percentuais do escoamento direto em relação a precipitação variando entre 30% a 60% (FIGURA 13), o escoamento direto da microbacia D raramente ultrapassou o valor de 30% da precipitação (FIGURA 14).

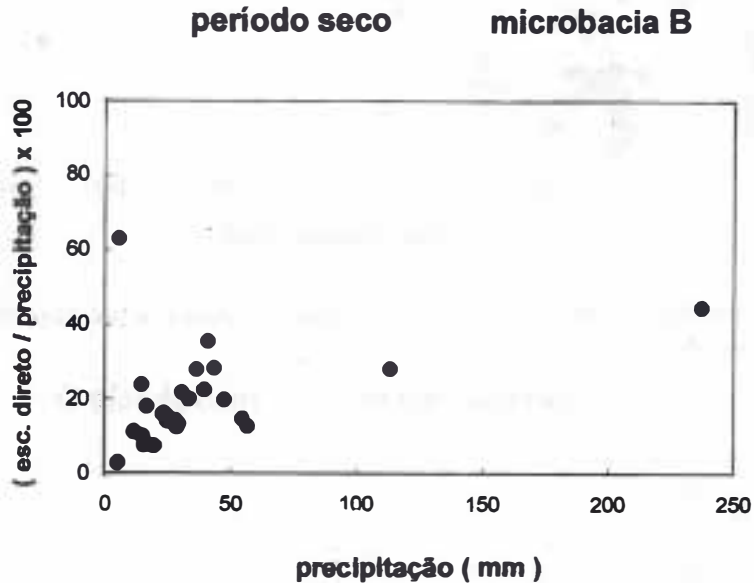


FIGURA 11 - Relação percentual entre o volume do escoamento direto e a precipitação da microbacia B no período seco.

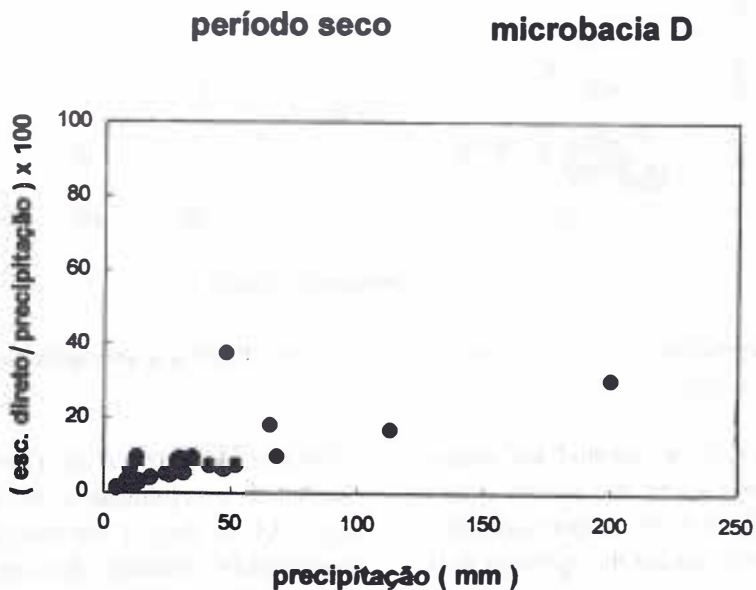


FIGURA 12 - Relação percentual entre o volume do escoamento direto e a precipitação da microbacia D no período seco.

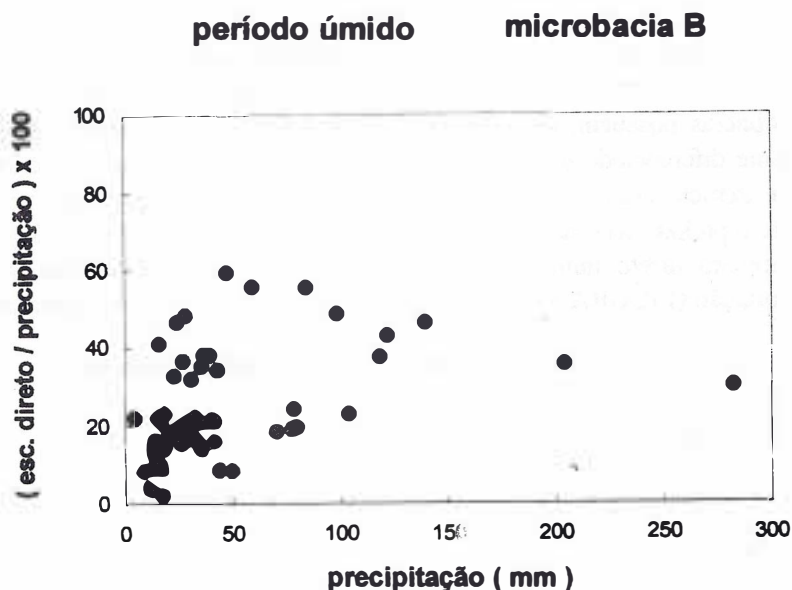


FIGURA 13 - Relação percentual entre o volume do escoamento direto e a precipitação da microbacia B no período úmido.

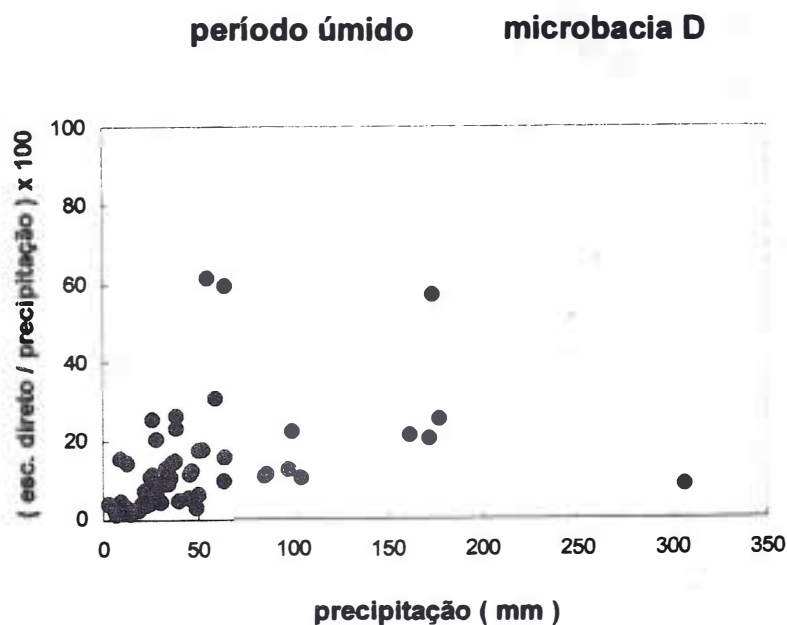


FIGURA 14 - Relação percentual entre o volume do escoamento direto e a precipitação da microbacia D no período úmido.

Os fatores de resposta médios das microbacias B e D, estimados a partir dos oitenta e oito hidrogramas, foram 0,23 e 0,12, respectivamente. Isto é, o fator de resposta médio da microbacia B foi duas vezes superior ao fator de resposta da microbacia D.

O valor ora estimado para a microbacia D é igual àquele calculado por CICCIO & FUJIEDA

(1992) e FUJIEDA *et al.* (1993), a partir de dados anuais de precipitação e de escoamento direto, ou seja, 0,115. Para a microbacia B, o fator de resposta médio estimado foi ligeiramente superior ao encontrado pelos mesmos autores, isto é, 0,180.

A partir desta observação, pode-se avaliar que, em média, um montante de 11% das precipitações que alcançam a microbacia D deixam a

mesma de forma bastante rápida, em poucas horas ou até de 2 a 3 dias. Por sua vez, entre 18% e 23% das precipitações deixam a microbacia B num intervalo de tempo bastante curto.

Os fatores de resposta médios, de forma mais moderada para a microbacia D e de forma

mais acentuada para a microbacia B, estão entre os maiores registrados em várias localidades, como mostrado pela TABELA 2.

O comportamento diferenciado da resposta hidrológica das microbacias B e D deve-se às condições fisiográficas distintas das duas áreas.

TABELA 2 - Fatores de resposta médios de diferentes microbacias florestais.

Microbacia	Fator de resposta (escoamento direto/precipitação)
Tinga, Brasil (1)	0,02*
Floresta Duce, Brasil (2)	0,03**
Coweeta 2, EUA (3)	0,04**
Coweeta 18 (3)	0,05**
Coweeta 14 (3)	0,05**
Coweeta 21 (3)	0,06**
Bent Creek 7, EUA (3)	0,06**
Coweeta 8 (3)	0,07**
Union 3, EUA (3)	0,08**
Coweeta 28 (3)	0,10**
Copper Basin 2, EUA (3)	0,10**
Leading Ridge 1, EUA (3)	0,11**
Dilldown Creek, EUA (3)	0,12**
Fernow 4, EUA (3)	0,14**
Coweeta 36 (3)	0,15**
Burlington Brook, EUA (3)	0,17**
Hubbard Brook, EUA (3)	0,18**

Adaptado de: (1) SCARDUA (1994), (2) FRANKEN & LEOPOLDO (1986/87); (3) LEE (1980); (\*) estimado a partir de 29 hidrogramas; (\*\*) fator de resposta médio anual.

Um dos aspectos que concorrem para que a microbacia B apresente maior escoamento direto relaciona-se à inclinação de suas vertentes. Analisando os mapas de declividade das duas áreas, é possível verificar que na microbacia D os terrenos de maior inclinação, com declividades superiores a 25°, estão bastante dispersos na bacia, localizados principalmente nas porções mais elevadas, próximos aos divisores topográficos. Por outro lado, os terrenos mais íngremes da microbacia B encontram-se mais concentrados, ocupando desde as porções mais elevadas da bacia até áreas do terço inferior de vertentes. Em decorrência deste fato, é possível supor que há nesta bacia grandes extensões de

terrenos contíguos com solos pouco profundos, localizados desde o topo até regiões mais próximas ao canal principal da bacia. Esta condição, sem dúvida, deve favorecer para que os fluxos de água subsuperficial e superficial contribuam mais significativamente para o escoamento direto da microbacia B. Além disto, a presença de rupturas de declividade nestas vertentes, de declividades acentuadas para declividades mais brandas e também de rupturas de forma dos terrenos, tendem a reduzir a velocidade de fluxo do escoamento subsuperficial, provocando a saturação do solo, delimitando áreas potencialmente saturadas geradoras de escoamento superficial.

Também, os trabalhos de reconhecimento de campo, efetuados na microbacia B por FURIAN (comunicação pessoal), mostraram áreas extensas com solos pouco profundos e afloramentos de rochas alteradas nas porções inferiores da bacia, com o próprio canal fluvial principal escoando em grandes extensões sobre a rocha mãe. Ao contrário da microbacia D, que possui uma ampla planície aluvial com solos hidromórficos e aluviais, não foi observada a presença deste tipo de formação na microbacia B. Assim, enquanto as áreas próximas ao canal de deflúvio da microbacia B tendem a se saturar mais rapidamente e por conseguinte contribuir para a resposta rápida a uma dada chuva, as porções inferiores da microbacia D, principalmente no terço inferior de sua calha, tendem a armazenar mais água, liberando-a de forma mais lenta.

Ainda, alguns trechos da microbacia B em grandes altitudes, possuem terrenos cujos solos pouco desenvolvidos estão freqüentemente saturados e, portando, são potencialmente geradores de escoamento superficial saturado.

Considerando que o substrato rochoso da microbacia B é semelhante ao da microbacia D, isto é, migmatito, e que os mesmos solos são encontrados nas duas bacias, todos estes fatos expostos indicam que há uma propensão para que a microbacia B tenha uma dinâmica hídrica onde o escoamento direto seja mais significativo que na microbacia D.

### 3.3 Implicações para o Manejo de Microbacias da Região

As duas microbacias experimentais, recobertas com vegetação de Mata Atlântica e sem a presença de áreas compactadas ou impermeáveis provocadas por atividades antrópicas, apresentam expressivo fator de resposta às chuvas. Isto é, mesmo em boas condições de conservação dos solos, há uma significativa produção de escoamento direto, que é uma função combinada do regime pluviométrico intenso e das características fisiográficas das microbacias.

Como o escoamento direto em microbacias mantidas em condições de solos não perturbados é gerado principalmente pela zona ripária associada à rede de drenagem, além de concavidades do terreno, regiões de solos rasos e afloramentos rochosos, estas áreas apresentam

preponderante influência na produção do escoamento direto das microbacias B e D.

Assim, tais áreas das microbacias hidrográficas localizadas na região de Cunha devem ser entendidas como críticas, devendo ser cuidadosamente manejadas, quando for o caso, para que não ocorra um incremento adicional da já significativa resposta hidrológica. A retirada da vegetação florestal, natural ou plantada, deve ser sempre evitada. Porém, quando necessária, deve ser feita de maneira extremamente criteriosa, em consonância com os princípios do "conceito de área variável de afluência". As zonas ripárias e outras regiões onde os solos são freqüentemente saturados, como as concavidades do terreno para as quais convergem as linhas de fluxo e locais de solos de pouca profundidade, devem ser mantidos intactos. As demais áreas devem ser submetidas a um manejo especial, tal que as condições naturais de infiltração da água no solo não sejam substancialmente alteradas. Deve-se evitar intervenções mais drásticas nestas áreas durante o período de chuvas mais intensas, principalmente entre os meses de janeiro a março.

Qualquer programa de recuperação dos recursos hídricos da região deve levar em conta estas áreas, identificando-as e conhecendo sua dinâmica nos períodos úmido e seco. A revegetação das zonas ciliares de riachos e ribeirões em microbacias já alteradas é uma prática que deve ser levada a efeito.

## 4 CONCLUSÕES

O escoamento base é o principal componente do fluxo diário de água dos rios para aproximadamente noventa por cento do tempo na curva de duração de fluxo das microbacias B e D; a contribuição do escoamento direto para o deflúvio diário restringe-se a cerca de dez por cento de todo o tempo do escoamento, normalmente para fluxos superiores a 6 mm/dia.

O elevado índice pluviométrico, mais a presença de solos permeáveis não muito profundos, onde pode haver transição abrupta de porosidade entre horizontes, estabelecidos sobre rochas graníticas de difícil decomposição, situados em terrenos declivosos com rupturas de inclinações e formas acentuadas, imprimem às microbacias hidrográficas uma grande capacidade de geração de escoamento direto.



O volume de escoamento direto da microbacia B, em geral, supera o da microbacia D. Há uma diferença marcante entre a resposta hidrológica das microbacias devido às precipitações, em função da época do ano. No período das chuvas a proporção de escoamento direto é superior à verificada no período mais seco.

Embora haja carência de informações detalhadas dos solos da microbacia B, há evidências de que a resposta hidrológica às chuvas mais intensa nesta bacia, decorre principalmente, da presença de grandes extensões de solos rasos localizados em terrenos de grande inclinação, concentrados desde as partes mais elevadas até às porções inferiores das vertentes da microbacia.

Os estudos referentes aos mecanismos de geração do escoamento direto nas microbacias experimentais do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Walter Emmerich devem ser prioritários, uma vez que os conhecimentos obtidos podem ser de grande utilidade para o manejo das microbacias da região, visando a produção de água com quantidade e qualidade desejáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSCH, J. M. & HEWLETT, J. D. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 55:3-23.
- BRUIJNZEEL, L. A. 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. Amsterdam, Free University Amsterdam/UNESCO, Humid Tropics Programme Publication, Free University. 224p.
- CARVALHO, W. A. *et al.* 1990. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos do Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha, SP (Bacia "D"). *Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, 2(2):127-155.
- CHANG, M. 1982. *Laboratory notes forest hydrology*. Texas, School of Forestry - Stephen F. Austin State University. 203p.
- CICCIO, V. de; ARCOVA, F. C. S. & SHIMOMICHI, P. Y. 1989. Estimativa da evapotranspiração em bacia hidrográfica com floresta natural secundária de Mata Atlântica - São Paulo. *Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, 1(2):43-54.
- CICCIO, V. de & FUJIEDA, M. 1992. Pesquisa em manejo de bacias hidrográficas em São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2, São Paulo, mar./abr. 29-3, 1992. *Anais... Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, 4:808-815. Pt. 3. (Edição Especial)
- DOMINGUES, E. N. & FURIAN, S. M. 1995. Geomorfologia/geologia. Bacia do ribeirão do Barracão - Núcleo Cunha - P.E.S.M. In: CURSO INTERNACIONAL SOBRE MANEJO FLORESTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS, 1, São Paulo, nov./dez. 8-13, 1995. São Paulo, Instituto Florestal. 5p.
- FRANKEN, W. & LEOPOLDO, P. R. 1986/87. Relações entre fluxos de água subterrânea e superficial em bacia hidrográfica caracterizada por cobertura florestal amazônica. *Acta Amazônica*, Manaus, 16/17:253-262.
- FUJIEDA, M.; KUDOH, T. & MASHIMA, Y. 1993. Hydrological processes in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. In: HYDROLOGY OF WARM HUMID REGIONS, Yokohama, July, 1993. *Proceedings...* International Association of Hydrological Sciences. p. 43-51. (Publication, 216)
- FURIAN, S. M. & PFEIFER, R. M. 1986. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. *Bol. Técn. IF*, São Paulo, 40(2):183-193.
- FURIAN, S. M. 1987. *Estudo geomorfológico do escoamento superficial em parcelas experimentais no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha / SP; um esboço metodológico*. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 187p. (Dissertação de Mestrado)
- HEWLETT, J. D. 1982. *Principles of forest hydrology*. Athens, The University of Georgia Press. 183p.
- HIBBERT, A. R. & TROENDLE, C. A. 1988. Streamflow generation by variable source area. In: SWANK, W. T. & CROSSLEY Jr., D. A. (eds.) *Forest hydrology and ecology at Coweeta*. New York, Springer-Verlag. cap. 8. p. 111-127.

- JICA - JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. 1980. *Report of implementation design survey on the japanese technical cooperation project for the forestry research in São Paulo, Brazil.* São Paulo, Japan International Cooperation Agency. 284p.
- \_\_\_\_\_. 1986. *Synthetic report of the japanese technical cooperation project for the forestry research in São Paulo, Brazil.* São Paulo, Japan International Cooperation Agency. 555p.
- LEE, R. 1980. *Forest hydrology.* New York, Columbia University Press. 349p.
- LEITÃO FILHO, H. de F. 1982. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão-SP, set. 12-18, 1982. *Anais... Silvíc. S. Paulo, São Paulo, 16A:197-206.* Pt. 1. (Edição Especial)
- PRANDINI, F. L. *et al.* O uso e ocupação do solo no Alto Paraíba (I). Contribuição ao conhecimento de sua evolução. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão-SP, set. 12-18, 1982. *Anais... Silvíc. S. Paulo, São Paulo, 16A:1929-1935.* Pt. 3. (Edição Especial)
- SCARDUA, F. P. 1994. *Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, ESALQ/USP.* Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 94p. (Dissertação de Mestrado)
- SEARCY, J. K. 1959. *Flow-duration curves.* Washington, Geological Survey Water. 33p. (Paper, 1542-A)
- SHIMIZU, T. 1983. Forest watershed experiments in Japan. *JARQ*, Tsukuba, 16(4):281-286.
- SWIFT Jr., L. W.; CUNNINGHAM, G. B. & DOUGLAS, J. E. 1988. Climatology and hydrology. In: SWANK, W. T. & CROSSLEY Jr., D. A. (eds.) *Forest hydrology and ecology at Coweeta.* New York, Springer-Verlag. cap. 3. p. 35-55.
- WHITEHEAD, P. G. & ROBINSON, M. 1993. Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impact. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 145:217-230.