WALTER DE PAULA LIMA

**ENGENHEIRO-AGRÔNOMO
"MASTER OF SCIENCE"**

**Professor Assistente do Departamento
de Silvicultura, ESALQ-USP**

**ESTUDO DE ALGUNS ASPECTOS QUANTITATIVOS E
QUALITATIVOS DO BALANÇO HÍDRICO EM PLANTAÇÕES
DE EUCALIPTOS E DE PINOS**

Orientador : Prof. Dr. Octavio Freire

**Tese apresentada a Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universi-
dade de São Paulo para a obtenção do
título de Doutor**

**PIRACICABA - SÃO PAULO
JULHO de 1975**

ERRATA

Na capa e na contracapa, onde se lê PINOS leia-se PINUS

AOS MEUS PAIS,

A MINHA ESPOSA,

E A MINHA FILHA,

ofereço

AGRADECIMENTOS

O autor deseja manifestar seus mais sinceros agrade
cimentos as seguintes pessoas e instituições, as quais foram de inesti-
mável valor na elaboração do presente trabalho:

Ao Prof. Dr. Octavio Freire, pela orientação.

Ao Prof. Dr. Helládio do Amaral Mello, pelo constan-
te estímulo e apoio.

Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, pela colaboração, pe-
las sugestões apresentadas, e pela permissão para uso da sonda de neu-
trons.

Ao Prof. Dr. Décio Barbin, pela orientação nas aná-
lises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Jesus Marden dos Santos, pelas suges-
tões e pelo empréstimo dos interceptômetros.

Ao Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela colaboração
na análise das amostras do solo.

Ao Sr. Pedro Brancalion, pela análise textural do
solo.

À Srta. Mariluce Pitta Villar, pelo cuidado e dedi-
cação com que executou as análises de laboratório, a computação dos
dados, a confecção dos gráficos e a datilografia do manuscrito.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA),
pelo empréstimo da sonda de neutrons.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São
Paulo, pela doação do veículo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas, pelo auxílio
financeiro que possibilitou a compra dos instrumentos de laboratório
e dos reagentes necessários para parte das análises desenvolvidas.

C O N T E Ú D O

LISTA DAS TABELAS	v
LISTA DAS FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. A Área Experimental	23
4.2. Plano Experimental	25
4.3. Metodologia	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. Características Físicas do Solo	32
5.2. Interceptação	34
5.3. Regime da Água do Solo	44
5.4. Crescimento em Área Basal	68
5.5. Efeitos Sobre a Qualidade da Água	72
6. RESUMO E CONCLUSÕES	91
7. SUMMARY	95
8. LITERATURA CITADA	99

LISTA DAS TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	Características Físicas do Solo	33
2	Frequências das várias classes de tamanho de chuvas ocorridas durante o período experimental, e respectivos valores médios de PI e Et registrados nos povoamentos de Eucaliptos e de Pinus.	34
3	Equações para a Estimativa da Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco(Et) e Precipitação Efetiva (PE), a partir da medição de Precipitação Total.	39
4	Valores de Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco (Et), Precipitação Efetiva (PE) e Perda por Interceptação (I) em mm e em porcentagem sobre Precipitação Total (PT) para o povoamento de Eucalipto.	41
5	Valores de Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco (Et), Precipitação Efetiva (PE) e Perda por Interceptação (I) em mm e em porcentagem sobre Precipitação Total (PT) para o povoamento de Pinus.	42
6	Valores Máximos e Mínimos de Água do Solo Observados durante o Período Experimental.....	51
7	Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos Isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Eucalipto.	63
8	Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos Isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Pinus.	64
9	Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos Isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Vegetação Herbácea.	65

TabelaPágina

10	Consumo de Água e Taxa de Evapotranspiração por <u>Eucalyptus saligna</u> , por <u>Pinus caribaea</u> e por Vegetação Herbácea Natural, durante as estações secas de 1974 e parte das estações secas de 1973 e 1975, e Valores da Razão ET/ E_o	66
11	Valores de DAP médio e de Área Basal do povoamento de Eucalipto e de Pinus, durante o Período Experimental.	68
12	Valores de pH para Chuva, Precipitação Interna de Eucalipto (E-PI), Pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e em pinus (P-Et).	73
13	Análise da Variância para os Dados de pH.	74
14	Análise da Variância para os Dados de pH.	75
15	Valores de Turbidez para Chuva, Precipitação Interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	76
16	Análise da Variância para os dados de Turbidez.	77
17	Valores de Condutividade Específica para Chuva, Precipitação Interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI), e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	78
18	Análise da Variância para os Dados de Condutividade Específica.	79
19	Valores de Sólidos Totais Dissolvidos para Chuva, Precipitação Interna em Eucalipto (E-PI), Pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	80

TabelaPágina

20	Análise da Variância para os dados de Sólidos Totais Dissolvidos	81
21	Valores de Cor para chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI), e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	82
22	Análise da Variância para os dados de Cor.....	83
23	Análise da Variância para os dados de Cor.....	84
24	Valores de Alcalinidade para a chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI), e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	85
25	Análise da Variância para os dados de Alcalinidade.	86
26	Comparação dos aspectos qualitativos entre chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI) , pinus (P-PI), e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).	87

LISTA DAS FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Localização da Área Experimental em Relação ao Estado de São Paulo, ao Município de Piracicaba, e ao Campus da ESALQ-USP.	24
2	Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico em um povoamento florestal.	26
3	Vista interna do povoamento de eucalipto e dos dispositivos de medição da precipitação interna e do escoamento pelo tronco.	29
4	Detalhe da medição da água do solo, vendo-se a sonda de neutrons sobre o tubo de alumínio e o aparelho medidor de neutrons moderados.....	29
5	Relação entre Precipitação Interna (PI) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e Pinus.....	36
6	Relação entre Escoamento pelo tronco (Et) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e Pinus....	37
7	Relação entre Precipitação Efetiva (PE) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e Pinus.	38
8	Variação do Armazenamento de água no perfil (1,80 m).	45
9	Regime Anual da Água do Solo (1,80m). Média de dados de 2 anos.	47
10	Variação Anual da Água do Solo em Diferentes Profundidades	48
11	Valores Máximos e Mínimos de Água no Solo, nas diferentes camadas, observados em dois anos de medições.....	50
12	Distribuição da Água no Perfil do Solo.....	53
13	Distribuição da Água no Perfil do Solo	54

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
14	Distribuição da Água no Perfil do Solo	55
15	Depleção da Água do Solo.....	56
16	Recarga da Água do Solo :.....	57
17	Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 metros (S) entre Eucalipto e Vegetação Herbácea	59
18	Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 metros (S) entre Pinus e Vegetação Herbácea.....	60
19	Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 metros (S) entre Eucalipto e Pimus.	61
20	Crescimento da Área Basal Estacional dos Povoamentos de Eucaliptos e de Pinus.	69
21	Crescimento Acumulado de Área Basal, Incremento do DAP e Água Armazenada no Perfil do Solo durante o período experimental	70

1. INTRODUÇÃO

Várias espécies de eucaliptos e de pinus encontraram condições de crescimento bastante favoráveis no Brasil, e a cultura destas espécies rapidamente adquiriu elevada importância econômica. Somente com o estabelecimento dos incentivos fiscais, no Estado de São Paulo foram reflorestados, de 1967 a 1973, cerca de 380 mil hectares, correspondendo a aproximadamente 822 milhões de árvores plantadas, sendo 72,6% com espécies de eucaliptos e 21,2% com espécies de pinus. Para o país todo, no mesmo período foram reflorestados 1.206.715 hectares, correspondendo a cerca de 2,7 bilhões de árvores plantadas, sendo 70% de eucaliptos e 25% de pinus (ASSOC. PAUL. FABRIC. CELULOSE E PAPEL, 1973). No Estado de São Paulo, 85% do consumo de madeira de eucaliptos e 60% do consumo de madeira de pinus são destinados à fabricação de celulose e papel (SECRETARIA DA AGRICULTURA, 1974).

Com relação ao eucalipto, existe uma opinião popular generalizada de que esta essência florestal, além de outros efeitos, é responsável por um consumo exagerado de água, e que o reflorestamento com esta espécie poderia, portanto, ser prejudicial aos recursos hídricos. Estas especulações, correntes não apenas no Brasil (FERRI, 1957), como também em outros países (KARSCHON e HETH, 1967), (DORST, 1973), podem ser consideradas sob dois aspectos: um lado positivo, que reflete o fortalecimento de uma preocupação geral para com os chamados problemas ambientais; e um lado negativo, pois podem forçar uma mudança de política em relação ao reflorestamento com estas espécies exóticas, mesmo considerando sua atual expressão econômica.

O conhecimento das relações de água em eucaliptos e em pinus se reveste, portanto, de importância prática imediata. Primeiro, pelo fato de que tais dados experimentais são essenciais para o estabelecimento de políticas sadias de uso do solo e da água (KARSCHON e HETH, 1967). Segundo, porque são imprescindíveis para a elaboração de normas de manejo destas essências florestais exóticas compatíveis com a manutenção de condições ambientais desejadas. Isto, ao que parece, seria um dos requisitos básicos para se ajustar as atividades de exploração econômica destes recursos naturais às necessidades atuais de planejamento adequado do uso da terra, pois, como afirma VON ARX (1974):

"In recent centuries we have learned a great deal about the earth but not much about our relationship to it. It is becoming clear that we now have to learn to live with the earth and not just on it..."

Antes que se possam estabelecer normas adequadas de manejo de um recurso natural qualquer, é necessário proceder-se a um inventário deste recurso. Um inventário completo deve conter também a análise detalhada de todas as fases do ciclo hidrológico, incluindo as perdas de água por interceptação, evapotranspiração e escoamento superficial, o regime da água no solo, os efeitos sobre a qualidade da água, além de outros. A caracterização destes processos individuais é fundamental para o conhecimento do recurso em si mesmo, de seu comportamento local e de suas possíveis influências ambientais, conforme esclarece WITTICH, citado por GEIGER (1966):

"... it is only when the complicated (water) relations are broken down into individual processes, and these processes are studied in typical limited areas, that advances can be made and the tendency avoided to transfer correct results incorrectly in to other contexts."

A literatura, todavia, mostra muito pouco, ou quase nada, a respeito de estudos de balanço hídrico com estas essências florestais no Brasil. FRANCO e INFORZATO (1950) e MELLO (1960) procuraram determinar as taxas de transpiração de Eucalyptus saligna e de E. alba, respectivamente, através do método de pesagens rápidas de folhas destacadas. Esta metodologia tem sido usada para a verificação da taxa de transpiração de essências florestais, mas é passível de críticas (RUTTER 1968), (DECKER e WIEN 1960). Segundo RUTTER (1968), a taxa de transpiração pode ser alterada a partir do exato momento em que se cortou a folha para a pesagem; além disto, fica muito difícil, a partir dos dados obtidos pelo método de pesagens rápidas, estimar-se o consumo de água de um povoamento durante um período de tempo. Como lembra RUTTER ainda, ao se referir ao consumo de água em florestas, é preciso não esquecer que este inclui não apenas a transpiração, mas também a evaporação da precipitação que é interceptada pelas copas, assim como a evaporação da água do solo. Já em 1961, por ocasião da Segunda Conferência Mundial do Eucalipto, realizada em São Paulo, KAPLAN (1961), após revisar a literatura sobre estudos das relações de água em eucalipto, concluía que "os dados existentes eram limitados e insuficientes para servir de sub-

sídio ao planejamento adequado do uso da terra", e recomendava que a FAO coordenasse o desenvolvimento de pesquisas principalmente envolvendo estudos da variação anual da água do solo, da depleção da água do solo, das relações com o crescimento dos povoamentos e da evapotranspiração.

O presente trabalho compreende o estudo de vários parâmetros quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico em povoamentos de eucaliptos e de pinus. O experimento foi instalado no início de 1973 em plantações localizadas na área experimental do Departamento de Silvicultura, no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". A coleta de dados prolongou-se de junho de 1973 a junho de 1975, e incluiu medições da precipitação total, da precipitação interna nos povoamentos, do escoamento pelo tronco, das variações da água do solo, do crescimento radial das árvores, e dos seguintes aspectos qualitativos em amostras de água da chuva, da precipitação interna, e do escoamento pelo tronco: pH, turbidez, alcalinidade, condutividade específica, cor e sólidos totais dissolvidos.

A partir da análise de cada um destes componentes individualmente, e da análise conjunta dentro do contexto do balanço hídrico, é intenção do presente trabalho fornecer algum subsídio para o melhor conhecimento dos aspectos hidrológicos associados com as plantações homogêneas de eucaliptos e de pinus nas nossas condições.

2. OBJETIVOS

O presente estudo foi orientado para alcançar os seguintes objetivos gerais:

- a) caracterizar, para as condições dos povoamentos e do local, os processos de interceptação de água da chuva, incluindo a precipitação interna, o escoamento pelo tronco, e a quantificação das perdas de água por interceptação nos dois ecossistemas;
- b) medir as variações mensal, estacional e anual da água do solo nos dois povoamentos e comparar estas variações com idênticas medições realizadas em parcela revestida por vegetação herbácea natural;
- c) estimar, na medida que permite a metodologia seguida, os valores de evapotranspiração em cada um dos três tipos de cobertura vegetal estudada, ou seja, eucaliptos, pinus e vegetação herbácea natural;
- d) correlacionar as medições do crescimento radial dos povoamentos de eucaliptos e de pinus com as variações do total de água armazenada no solo;
- e) verificar os efeitos que as florestas de eucaliptos e de pinus podem causar à qualidade da água da chuva que penetra por suas copas;
- f) inferir, com base nas informações obtidas, medidas práticas de manejo destas essências florestais com vistas à conservação dos recursos hídricos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A Hidrologia Florestal, ou seja o estudo das relações de água em florestas, é um dos ramos da ciência florestal que apresenta literatura relativamente rica. O reconhecimento já antigo da íntima associação existente entre a floresta e a água na natureza, e a reconhecida dificuldade de medição precisa dos processos envolvidos são alguns dos fatores responsáveis pelo grande número de trabalhos já realizados.

De modo geral, a preocupação do homem para com o problema pode ser resumida na seguinte pergunta: como alterar favoravelmente o ciclo hidrológico através de diferentes práticas de manejo ou de uso do solo? A resposta, obviamente, necessita do conhecimento aprofundado da natureza do ciclo da água nos ecossistemas florestais, ou seja, do papel real desempenhado pelas florestas no recebimento, re distribuição, consumo e alteração qualitativa da água da chuva.

Até a pouco tempo, não se conhecia método preciso para medir o consumo de água de superfícies vegetadas. A partir da década de 60, todavia, muita informação nova tem contribuído significativamente para o aperfeiçoamento da medição do processo. WARD (1971) apresenta análise crítica dos vários métodos existentes para a medição da evapotranspiração. Segundo este autor, no caso de áreas florestadas, devido a inadequação do uso de lisímetros, o balanço hídrico do perfil do solo parece ser a mais realística tentativa de medição da evapotranspiração em florestas. Esta conclusão é também compartilhada por FEDERER (1970). Este autor afirma, ainda, que outra metodologia que pode oferecer alguma precisão consiste na medição do balanço de energia de uma dada superfície florestada, conforme mostram os trabalhos de BAUMGARTNER (1967), THOMAS et al (1972), HORNBECK (1970), McNAUGHTON e BLACK (1973), PENMAN (1967), THORNTHWAITTE e MATHER (1955). O balanço hídrico do solo pode ser representado pela seguinte equação geral (REICHARDT, 1973), (TANNER, 1968), (FEDERER, 1970), (WARD, 1971), (DREIBELBIS, 1962), (BURROUGHS, Jr. e SCHULTZ, 1964), (KITCHING, 1967), (JOHNSTON et al, 1969):

$$ET = P - R \pm G \pm S$$

onde:

ET = evapotranspiração

P = precipitação

R = escoamento superficial (runoff, enxurrada)

G = percolação profunda

S = armazenamento da água do solo.

Desta equação, os quatro termos da direita devem usualmente ser medidos, o que possibilita o cálculo da evapotranspiração. Sob determinadas condições, alguns deles podem, eventualmente, ser desprezados. Por exemplo, em condições semi-áridas, o valor de ET é simplesmente o balanço de S, ou seja, a diferença entre duas leituras consecutivas da umidade do solo (BURROUGHS e SCHULTZ, 1964). Já para regiões, ou para períodos de alta pluviosidade, o não controle de R e de G torna praticamente impossível a obtenção de estimativas razoáveis de ET através desta metodologia (TANNER, 1968).

A medição da percolação profunda (G) é, em geral, mais controvertida. Na maioria dos trabalhos de balanço hídrico, o termo G é desprezado. Mesmo em condições de solo seco, todavia, a hipótese de não ocorrência de percolação profunda pode conduzir a erros (FEDERER, 1970). Alguns autores utilizam uma estimativa de G obtida a partir de dados de tensão e condutividade do solo e pela aplicação da lei de Darcy (BURROUGHS e SCHULTZ, 1964), (KITCHING, 1967), (FERRAZ, 1972), (LIGON e WILSON, 1972). Em recente publicação, STAMMERS et al. (1973) fizeram um estudo de balanço hídrico para verificar a magnitude dos erros cometidos ao se considerar e ao se desprezar os valores de G. De acordo com os resultados obtidos, STAMMERS et al. afirmam que para a área estudada as estimativas de ET obtidas quando se levou em conta a percolação profunda não foram diferentes daquelas obtidas quando se desprezou o valor de G na equação do balanço hídrico. Afirmam ainda que mesmo em condições úmidas os erros encontrados em consequência do desprezo de G não foram maiores que os erros comumente associados com a medição da água do solo.

Já a medição da água do solo (S) é menos problemática, e o advento da técnica de moderação de neutrons facilitou sobretudo a avaliação periódica das variações do conteúdo de umidade do so-

lo, principalmente no caso de áreas florestadas. De acordo com KITCHING (1967) e TANNER (1968), a técnica de moderação de neutrons apresenta, dentre outras, as seguintes vantagens: a) perturbação mínima do solo; b) determinação direta das variações volumétricas da água do solo; c) medições repetidas podem ser feitas no mesmo local; d) amostragem de um volume relativamente grande de solo em cada ponto. HEWLETT et al. (1964), SCHULTZ (1967) e SARTZ (1972^b) discutem alguns problemas relativos ao emprego desta técnica, principalmente no que diz respeito aos possíveis erros inerentes ao método. SARTZ, por exemplo, argumenta a respeito dos erros que podem resultar quando as parcelas nas quais se efetuam as medições não são planas. Para o caso de áreas florestadas, frequentemente localizadas em terrenos declivosos, as tentativas de se evitar tais possíveis discrepâncias pela escolha judiciosa de parcelas em locais planos não parecem ser solução aceitável. Seria mais conveniente, segundo o autor, aumentar tanto quanto possível a amostragem, a fim de satisfazer o grau de variabilidade.

As medições periódicas da água do solo através da técnica de moderação de neutrons, além de fornecerem dados suficientes para a estimativa da evapotranspiração, conforme a equação do balanço hídrico já apresentada (FERRAZ, 1972), possibilitam ainda a caracterização do regime da água do solo sob diferentes condições de cobertura vegetal (DREIBELBIS, 1962). Por exemplo, BABALOLA e SAMIE (1972) estudaram o regime da água de um mesmo solo mas sob dois tipos de vegetação - vegetação natural de savana, e plantação de Eucalyptus citriodora, com 10 anos de idade - através da técnica de moderação de neutrons. Para um período seco, os autores determinaram evapotranspiração de 13,7 mm para o eucalipto, e de 17,5 mm para a vegetação natural. Verificaram ainda que durante o período experimental a amplitude máxima de variação da água do solo foi maior para a vegetação natural do que para o eucalipto. Com base nos resultados obtidos, concluíram que a substituição da savana por eucalipto seria recomendável, pois este apresentou melhor aproveitamento da água disponível concomitantemente com melhor rendimento econômico.

FLETCHER e LULL (1963) verificaram que para os 3 meses de verão de um ano relativamente seco havia cerca de 75 mm a mais de água no solo de uma parcela desprovida de vegetação do que numa parcela florestada. Já GINDEL (1964), fazendo observações da água do solo

em parcelas desprovidas de vegetação e em parcelas revestidas por espécies arbóreas xerófitas, em regiões subtropicais, semi-desérticas, e desérticas em Israel, verificou que em todas as condições havia quantidade significativamente maior de água em solos sob xerófitas do que nas parcelas sem vegetação.

SHPAK (1971), com base em inúmeros trabalhos desenvolvidos principalmente na Rússia, apresenta algumas conclusões gerais no que diz respeito às variações da água do solo sob diferentes tipos de vegetação. Afirma, por exemplo, que na estação de crescimento as camadas superficiais em áreas abertas secam mais rapidamente do que em áreas florestadas, ao passo que no outono as camadas mais profundas do solo são mais secas sob florestas do que em áreas abertas. Conclui ainda que tais variações dependem do tipo de solo; em solos arenosos, os regimes da água do solo em floresta e em área não florestada não são diferentes.

MIKHOVICH et al. (1970) mediram a água do solo sob florestas de folhosas e sob culturas agrícolas. Verificaram que no perfil de 3 m estudado havia menor conteúdo de água sob floresta do que sob culturas. Todavia, durante a primavera não houve diferença de água armazenada nos dois casos.

CERVellini et al. (1972) realizaram observações do regime da água do solo em cerrado, comparando parcelas com vegetação e parcelas cuja vegetação havia sido eliminada. Verificaram maior variação de umidade na parcela sem vegetação do que na vegetada. Durante o período experimental de um ano, verificaram ainda que sempre houve água disponível no solo nos dois casos. FERRI (1961) já observara que as plantas do cerrado transpiram o ano todo, e que a curva de transpiração destas plantas é muito parecida com a curva da evaporação de uma superfície líquida.

GIFFORD e SHAW (1973) estudaram a água do solo em parcelas com vegetação arbórea natural e em parcelas nas quais a mesma vegetação havia sido eliminada com o uso de correntão, verificando que estas últimas apresentaram maior conteúdo de água do que as primeiras. Resultados semelhantes foram obtidos por REPNEVSKAJA (1969), estudando a água do solo em parcelas com floresta de pinus e em parcelas nas quais as árvores haviam sido cortadas. Durante a estação de crescimen-

to na qual efetuou as medições, o autor verificou que o solo da parcela deflorestada apresentou, nos vários horizontes observados, maior teor de umidade do que o solo da parcela com floresta.

BALDY et al. (1970) estudaram o regime da água do solo sob plantações de pinus (P. radiata e P. pinea) e sob plantações de eucaliptos (E. camaldulensis, E. saligna, E. maidenii), com idade aproximada de 10 anos, verificando que os eucaliptos, de modo geral, apresentaram demanda maior da água do solo do que os pinus. Por outro lado, BUBLINEC (1972) estudou o regime da água do solo durante dois anos em plantações de pinus, concluindo que tais plantios homogêneos de florestas de pinus não exibem, em geral, efeitos adversos sobre a água do solo.

Estudando a umidade do solo em um povoamento de pinus antes e depois de um desbaste, ORR (1968) verificou que havia maior quantidade de água armazenada no solo no povoamento desbastado do que antes do desbaste.

TROENDLE (1970) observa que o conhecimento do comportamento da água do solo sob vários tipos de cobertura florestal é de grande valia no entendimento de como o manejo florestal pode influir sobre o rendimento hídrico, ou sobre a conservação dos recursos hídricos de um modo geral. Em um estudo conduzido em floresta de folhosas mistas da região dos Apalaches, este autor verificou que as perdas de água do solo (balanço anual entre ganho e perda) foram significativamente maiores sob floresta do que sob solo nu. Conclui ainda que para as condições do experimento a maior parte da água consumida pelas florestas é retirada dos 60 cm superficiais do perfil do solo. PATRIC et al. (1965), num estudo conduzido também na região dos Apalaches, de alta pluviosidade, concluíram que onde as condições são tais que o potencial matricial do solo é mantido baixo, a maior parte da água transpirada é retirada da camada superficial, de alta densidade de raízes.

METZ e DOUGLASS (1959) verificaram que os regimes da água do solo em povoamento misto de coníferas e folhosas e em povoamento homogêneo de coníferas foram similares, sendo que o solo no primeiro caso apresentou-se, em geral, pouco mais úmido que no segundo. HERRING (1970), por sua vez, comparou os regimes da água do solo em povoamento de Pinus ponderosa e em parcela com vegetação herbácea natu-

ral, não notando diferença marcante entre ambos. DREBELBIS (1963) observou que durante os meses de verão havia maior conteúdo de umidade em solo sob floresta do que em solo sob pastagens, sendo que o reverso se verificou nos demais meses do ano. HILL (1972) relata resultados de estudos da água do solo conduzidos em diferentes tipos de solo e sob diferentes vegetações, afirmando que o conteúdo de água no solo sob florestas foi usualmente maior que sob outros tipos de vegetação.

BYRNES (1967), comparando os regimes de água de solo nu e de solo sob vegetação herbácea natural, afirma que não houve diferença marcante entre os dois casos para os 30 cm superficiais do solo. Já para as camadas mais profundas (até 1,50 m) o solo vegetado apresentou-se significativamente mais seco do que o solo nu.

Através do método de balanço hídrico do solo, como já comentado, muitos autores têm chegado a estimativas razoáveis do consumo de água de diferentes tipos de vegetação. SHACHORI et al. (1967), comparando vegetação arbustiva natural, plantações de pinus

(Pinus halepensis), vegetação herbácea natural e área de solo nu, chegaram as seguintes estimativas anuais de ET: 452 mm, 410 mm, 327 mm e 265 mm, respectivamente.

SARTZ (1972⁸) mediu a depleção da água do solo em parcela com floresta de folhosas mistas e parcela adjacente da qual as árvores haviam sido cortadas, chegando aos seguintes resultados para uma estação de crescimento: 188 mm na parcela florestada, e 87 mm na parcela cortada.

BANERJEE (1973) estimou o consumo de água de uma plantação de Alstonia scholaris, de 20 anos de idade, através da medição periódica da água do solo, chegando aos seguintes resultados anuais de transpiração, interceptação e evaporação da água do solo: 736 mm, 345 mm e 568 mm, respectivamente.

KARSCHON e HETH (1967) estudaram o balanço hídrico de uma plantação de Eucalyptus camaldulensis, desde os nove até os 12 anos de idade, em Israel, comparando-o com o obtido em uma parcela adjacente contendo vegetação herbácea natural, através do método da equação do balanço hídrico já referida. O termo R foi computado entre cada duas leituras consecutivas da água do solo, como sendo a água em excesso à capacidade de campo do solo, alternativa esta possível de

ser usada para as condições semi-áridas da região. Os resultados médios dos quatro anos do período experimental deram valores anuais médios de evapotranspiração para eucalipto e para a vegetação herbácea de 466 mm e 322 mm, respectivamente. Por outro lado, as perdas de água por escoamento superficial foram de 237 mm a mais na parcela de vegetação herbácea do que na de eucaliptos. Os autores observam que o consumo médio anual tanto do eucalipto como da vegetação herbácea depende primariamente da recarga anual da água do solo pelas precipitações, e concluem, pelos resultados obtidos, que as plantações de eucaliptos naquela região não causam efeitos adversos sobre os recursos hídricos.

Este mesmo povoamento de eucalipto foi explorado posteriormente em corte raso, e KARSCHON (1971) relata os resultados do balanço hídrico obtidos 4 anos após o corte, obtendo, de um modo geral, as mesmas conclusões do trabalho anterior. Verificou ainda que a evapotranspiração começa a se igualar aos valores de antes do corte mais ou menos a partir do 3º ano de desenvolvimento da brotação das cepas.

Também em Israel, COHEN et al. (1966) não notaram diferenças marcantes de balanço hídrico entre uma plantação de pinus (P. halepensis e P. brutia), com cerca de 15 anos de idade, e vegetação herbácea natural.

CRUCIANI (1972) estimou, pela mesma metodologia de balanço hídrico, o consumo de água de uma cultura de cana-de-açúcar em Piracicaba, durante os 16 meses de seu ciclo, obtendo um total de 1.076 mm de evapotranspiração real durante o período.

CROFT e MONNINGER (1953) e posteriormente JOHNSTON (1970) relatam sobre um mesmo experimento de estimativa de ET em diferentes vegetações, no qual encontraram as seguintes médias anuais de evapotranspiração: 287 mm para parcelas de solo nu, 389 mm para parcelas com vegetação herbácea, e 533 mm para parcelas com cobertura florestal (Populus sp.).

COSTIN (1961) estudou, com blocos de gesso, a água do solo em diferentes comunidades vegetais na Austrália, não notando diferenças significativas de evapotranspiração entre elas. Afirma, com base nos resultados, que em condições de água à vontade no solo, ET é mais governada por fatores meteorológicos do que biológicos.

Pela análise dos dados de balanço hídrico de bacias hidrográficas pequenas, BELL e GATENBY (1969) não notaram diferenças no rendimento hídrico entre bacias reflorestadas com eucalipto e bacias reflorestadas com pinus. Observaram ainda que o consumo da água do solo (consumo entre a capacidade de campo e o PMP) foi praticamente idêntico nos dois casos.

Através da medição dos parâmetros da equação de balanço hídrico em plantações de pinus, de idade variando entre 20 a 40 anos, KITCHING (1967) determinou que a evapotranspiração média para período de 4 meses de verão era de 247 mm; calculando, ainda, a evapotranspiração potencial pela fórmula de Penman, obteve relação ET/PET de 0,69.

Na França, AUSSENAC (1972) estimou a evapotranspiração de várias parcelas com coníferas e várias com folhosas, através da medição da precipitação, da infiltração, do escoamento superficial e da flutuação do lençol freático, concluindo que, para as condições do experimento, e sob mesmas condições de solo, diferentes espécies, mas com idade e estrutura idênticas, apresentam idênticas taxas de evapotranspiração.

Analizando dados de lisímetros e de bacias hidrográficas pequenas, em Coshocton, Ohio, DREIBELBIS e AMERMAN (1964) observaram que cultura de milho e pastagem apresentaram taxa de evapotranspiração maior que floresta nos primeiros 40 cm do solo; abaixo dos 60 cm do perfil, todavia, ET foi maior em floresta, depois em milho, depois em pastagem, o que reflete, segundo os autores, diferenças de penetração dos sistemas radiculares.

Outro componente importante do ciclo da água em um ecossistema florestal é o processo de interceptação da água da chuva. De fato, dentro do contexto do balanço hídrico, durante períodos secos a transpiração e a evaporação da água do solo compõem o consumo de água de uma superfície vegetada. Durante períodos chuvosos, todavia, a interceptação também passa a fazer parte das perdas de água pelo ecossistema (RUTTER, 1968).

Pela interceptação, a cobertura florestal causa uma diminuição no total de chuva que atinge o solo. Conforme o tipo de floresta, esta redução pode atingir cerca de 25% da precipitação anual

(LINSLEY et al., 1949). Em regiões úmidas dos Estados Unidos, por exemplo, as perdas por interceptação chegam a alcançar 254 mm por ano (HELVEY e PATRIC, 1965^b). Os aspectos físicos do processo de interceptação podem ser encontrados com detalhes em várias publicações, como por exemplo em LINSLEY et al. (1949), LEONARD (1967), e em CZARNOWSKI e OLSZEWSKI (1968).

A interceptação vem sendo estudada desde a muito tempo em diversos países. Há quase meio século atrás, ZON (1927) apresentava uma revisão sobre alguns trabalhos que já haviam sido realizados sobre interceptação da chuva pelas florestas na Europa. De acordo com HELVEY e PATRIC (1965^a), o primeiro trabalho de interceptação nos Estados Unidos foi desenvolvido em 1919.

A fim de tornar mais fácil o entendimento dos aspectos relacionados com a interceptação, principalmente para aqueles ainda não familiarizados com esta fase do ciclo hidrológico, será útil rever alguns conceitos e definições mais comumente usados em estudos de interceptação. De acordo com HELVEY e PATRIC (1965^b) tem-se:

INTERCEPTAÇÃO: é o processo pelo qual a água da chuva é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo subsequentemente redistribuída em: a) água que respinga ao solo; b) água que escoa pelo tronco; c) água que volta à atmosfera por evaporação.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (PT): quantidade total de chuva que é medida em terreno aberto, ou acima das copas das árvores.

PRECIPITAÇÃO INTERNA (PI): chuva que atinge o piso florestal, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas e gotas que respingam das copas.

ESCOAMENTO PELO TRONCO (Et): água da chuva que, após retida pelas copas, atinge o solo escoando pelos troncos das árvores.

PRECIPITAÇÃO EFETIVA (PE): chuva que efetivamente chega ao solo florestal: $PE = PI + Et$.

PERDA POR INTERCEPTAÇÃO (I): parte da água interceptada que evapora diretamente das copas, não atingindo, portanto, o solo. Este componente, como pode ser deduzido, não é medido diretamente, mas sim calculado por diferença, conforme a equação:

$$I = PT - (PI + Et)$$

O trabalho de HELVEY e PATRIC (1965^b) se constitui, ainda, em excelente tratado sobre a metodologia de medição da interceptação em povoamentos florestais. Segundo estes autores, o coeficiente de variação associado com as medições dos parâmetros da equação acima é, em geral, pequeno quando o total de água medida aumenta, mantendo-se praticamente constante (10 - 15%) para medições maiores que 10 mm. A medição de PT em postos meteorológicos convencionais apresenta, em geral, coeficiente de variação de 5%. Para estudos de interceptação, tem sido verificado que PT pode ser medida com precisão adequada usando-se de 2 a 4 pluviômetros instalados próximo ao local do experimento.

A medição de PI apresenta, geralmente, maior variabilidade, e maior número de pluviômetros é necessário para sua medição. De acordo com HELVEY e PATRIC, o uso de 18 pluviômetros pequenos, com diâmetro ao redor de 12,7 cm, também referidos como interceptômetros, são suficientes para igualar em precisão com a medição de PT por 2 pluviômetros convencionais, desde que sejam periodicamente relocados dentro do povoamento florestal.

No que diz respeito ao escoamento pelo tronco, o método mais usado para sua medição tem sido o uso de dispositivos coletores cuidadosamente colocados ao redor do tronco de árvores selecionadas ao acaso. HELVEY e PATRIC, todavia, argumentam que este não seria o método mais preciso, afirmando que o uso de parcelas, das quais se mediria o Et de todas as árvores, daria menor coeficiente de variação.

Os problemas relativos aos métodos experimentais em estudos de interceptação são discutidos também em vários outros trabalhos, como os de REYNOLDS e LEYTON (1963), LEONARD (1961) e ZINKE (1967). Este último autor apresenta análise geral com base na revisão de cerca de 80 trabalhos sobre interceptação em diferentes tipos de florestas.

KITTREDGE et al. (1941) mediram, durante 6 anos, a interceptação em uma plantação de pinus (P. canariensis), de idade aproximada de 28 anos, determinando que as perdas por interceptação do povoamento estudado variaram de 17 a 28%. Verificaram ainda que a proporção do componente Et foi de apenas 1% da precipitação medida no aberto.

VOIGT (1960) realizou observações durante 2 anos

numa área florestada em Connecticut, Estados Unidos, encontrando valores de interceptação de 19% em pinus e 25% em floresta de espécie folhosa (Fagus grandifolia).

Na Inglaterra, RUTTER (1963) mediu a interceptação em uma plantação de Pinus sylvestris, de 19 anos de idade, encontrando valor de 32% de perda por interceptação nas condições do estudo. Verificou ainda que existe correlação positiva entre o componente escoamento pelo tronco (Et) e o DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) das árvores. DEWALLE e PAUSELL (1969), medindo a interceptação em floresta natural de folhosas mistas, não encontraram correlação entre Et e DAP, sendo que o valor da interceptação determinada foi de 12%.

De modo geral, sempre existe uma defasagem entre o início da chuva e o início dos componentes precipitação interna e escoamento pelo tronco. Numa floresta de folhosas na Nova Zelândia, por exemplo, ALDRIDGE e JACKSON (1973) verificaram que PI inicia-se após a precipitação total ultrapassar 0,5 mm, ao passo que Et inicia-se após 1,3 mm de precipitação total. A quantidade de água que fica retida nas copas até o início de PI e Et é referida como "capacidade de retenção" (LEONARD, 1967).

Para alguns tipos de florestas, a interceptação pode ser determinada apenas pela medição do componente PI, uma vez que Et não se verifica, ou ocorre em proporções desprezíveis (ROTHACHER, 1963), (SKAU, 1964).

De modo geral, de acordo com os resultados de inúmeros trabalhos já realizados, pode-se afirmar que as florestas de coníferas interceptam mais do que as florestas de folhosas (RAPP e ROMANE, 1968), (FRECHETTE, 1969), (DELFS, 1967), (SWANK et al., 1972), (ROGERSON e BYRNES, 1968), (NIHLGARD, 1969), (SMITH, 1973), (MOLCHANOV, 1963). Tem sido verificado, também, que as perdas por interceptação tendem a aumentar com a idade do povoamento florestal (HELVEY, 1967), (DELFS, 1967).

Através da interceptação, as florestas diminuem a quantidade da chuva que chega ao solo, mas TRIMBLE e WEITZMAN (1954) verificaram que também a intensidade das chuvas que penetram pelas copas das árvores é diminuída, numa proporção máxima de até 20% de redução.

Alguns autores têm tentado relacionar as diferenças de comportamento no que diz respeito ao processo de escoamento pelo tronco com a distribuição e o conteúdo da água do solo ao redor das árvores (ESCHNER, 1967), (BROWN e BOURN, 1973), (WEIHE, 1973). Este último autor, por exemplo, estudando a interceptação em povoamentos de folhosa (Fagus sp.) e de coníferas (Picea sp.) verificou que Et atingiu cerca de 20% da precipitação total no primeiro caso, mas permaneceu zero no povoamento de conífera. Com base nestas observações, sugeriu que a alta taxa de interceptação seria um dos fatores responsáveis pelo pobre crescimento da conífera (Picea sp.) em locais de baixa precipitação e em terreno relativamente plano.

A perda por interceptação de uma cobertura florestal pode ser separada em dois componentes: evaporação das copas e evaporação do piso ("litter", serapilheira). Este último componente, bem menor, geralmente não é considerado nos estudos. HELVEY (1964) mostrou que em florestas naturais de folhosas a interceptação pelo piso pode atingir cerca de 50 mm anuais. Outros trabalhos relativos a interceptação do piso e também por vegetação de gramíneas são, por exemplo, os de KERENSKI (1970), BURG Y e POMEROY (1958), CROUSE et al. (1966).

Dentre as características da vegetação, a densidade do povoamento é um dos fatores que afetam a interceptação. ROGERSON (1967) analisou os dados de um estudo aplicando regressão múltipla para a determinação de uma equação de regressão para a estimativa de PI a partir de 9 variáveis. Considerando apenas uma variável por vez, a única que deu correlação significativa foi a quantidade (mm) de PT, cuja equação respondia por 98,6% da variação de PI. Com o acréscimo de outras variáveis, a equação que deu melhor resultado (99,3% da variação) foi a que incluía, além de PT, o valor da área basal do povoamento. ROGERSON (1968) afirma que a redução de $4,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ de área basal do povoamento pode aumentar a precipitação interna de cerca de 2,0%. THORUD (1963), por outro lado, verificou que a desrama artificial não causou variação significativa nas proporções de PI e de Et, em um povoamento de Pinus resinosa de 31 anos de idade. THOMPSON (1970), trabalhando com folhosas (carvalho), observou que a interceptação foi maior quando as árvores se encontravam com as folhas do que quando haviam sido desfolhadas por produtos químicos.

Muito pouco tem sido feito a respeito da medição da interceptação em florestas tropicais. JACKSON (1971) estimou que se ria necessário um número muito grande de interceptômetros a fim de que se pudesse medir a precipitação interna com precisão razoável. LOW (1972) sugere que as perdas por interceptação são responsáveis pela re dução de 50% na precipitação total em florestas da Malásia. De fato, SIM (1972) observou que nesta mesma região as perdas por interceptação variaram de 25 a 80%. No Brasil, a única referência encontrada foi a de um trabalho realizado em 1936, em condições de floresta subtropical, citado por GEIGER (1966). Segundo esta citação, considerando $PT = 100\%$, as medições de PI , Et e I deram, respectivamente, os seguintes valores: 34%, 28% e 38%.

Em Israel, KARSCHON e HETH (1967) mediram a interceptação em plantações homogêneas de eucalipto (E. camaldulensis), obtendo as seguintes equações de regressão, de acordo com as diferentes idades do povoamento:

aos 7 anos : $PE = 0,857 (PT) - 0,04$

aos 8 anos : $PE = 0,851 (PT) - 0,03$

aos 9 anos : $PE = 0,889 (PT) - 0,33$

aos 10 anos: $PE = 0,904 (PT) - 0,75$

Em termos médios, as proporções de PI , Et e I deram os seguintes resultados: 80,8%, 4,5% e 14,6%, respectivamente.

Para as florestas de folhosas mistas de toda a região leste dos Estados Unidos, HELVEY e PATRIC (1965^a) afirmam que as equações

$$PI = 0,901 (PT) - 0,031$$

$$Et = 0,041 (PT) - 0,005$$

podem ser usadas para as estimativas de PI e de Et a partir da medição da precipitação em área aberta.

Para completar esta revisão sobre a interceptação, será interessante discutir um aspecto ainda controvertido na literatura, qual seja o de se saber se o processo representa ou não uma perda real de água para o ecossistema (GOODEL, 1963), (LEYTON et al., 1967). Pelo fato de que a evaporação é um processo que depende do fornecimento de energia, e considerando que a quantidade de energia disponível para a evaporação em um dado ambiente é uma quantia limitada, alguns

autores têm sugerido que a energia utilizada para a evaporação da água interceptada deve necessariamente ser parte do total que seria utilizada para a evapotranspiração. A partir desta idéia básica, duas linhas de pensamento se desenvolveram no que diz respeito ao papel da interceptação no ciclo hidrológico. Uma delas sugere que se a energia utilizada para a evaporação da água interceptada é "retirada" do total que seria disponível para a transpiração, então a perda por interceptação é compensada pela concomitante diminuição da transpiração (THORNTHWAITE e MATHER, 1955), (RAKHMANOV, 1958), (NICOLSON et al., 1968). Em outras palavras, a interceptação não deveria ser considerada como perda no balanço hídrico de um sistema. Por outro lado, alguns resultados experimentais não pareciam muito coerentes com este raciocínio. De fato, tem sido observado que a evaporação de florestas cujas copas se encontram molhadas é maior do que a que ocorre em condições secas, em idênticas condições ambientais (PENMAN, 1967), (RUTTER, 1968), (McNAUGHTON e BLACK, 1973). Devido a estas evidências experimentais, a segunda linha de pensamento sugere que a interceptação realmente se constitui em perda. Em recente publicação, MURPHY e KNOERR (1975) realizaram significativa contribuição para o esclarecimento deste aspecto, através do estudo de um modelo simulado de interceptação e dos processos físicos que interagem no fornecimento de energia necessária à evaporação da água interceptada. Pela segunda linha de raciocínio discutida, depreende-se que a energia disponível para a evaporação não se mantém fixa para um determinado ambiente, mas é maior quando as folhas se encontram molhadas do que quando secas. MURPHY e KNOERR concluíram que esta fonte extra de energia para a evaporação da água interceptada resulta de um acréscimo de radiação líquida que é causado pela diminuição da emissão de radiação de onda longa pelas superfícies molhadas, e também por uma diminuição no fluxo de calor sensível, modificações estas provocadas pelo fato das copas se encontrarem molhadas.

Um outro aspecto do estudo das relações de água em florestas diz respeito às interações entre o crescimento radial do povoamento e as quantidades de água disponível no solo. De modo geral, tanto o crescimento em diâmetro, como em altura, e o crescimento das raízes são todos mais ou menos sensíveis às deficiências hídricas. Pesquisas realizadas nas últimas décadas têm revelado que o crescimento estacional e mesmo diário das árvores está mais diretamente correlacionado com as flutuações da água do solo do que com qualquer outro fator

do meio (ZAHNER, 1968^a). A medida que o solo se torna mais seco, a absorção de nutrientes é reduzida, surgem déficits hídricos nas folhas, o processo de fotossíntese e os processos circulatórios são diminuídos, e o crescimento dos meristemas, em consequência, fica prejudicado.

TRIMBLE (1969) afirma que para povoamentos homogêneos e uniformes, o DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) é o melhor indicador potencial de crescimento.

VALENZIANO e SCARAMUZZI (1967) acompanharam o crescimento de plantações de eucaliptos (E. camaldulensis e E. viminalis), através da medição periódica do DAP das árvores. Verificaram, entre outras conclusões, que as duas espécies apresentaram padrão similar de crescimento, e que durante o período estudado (18 meses) ambas mostraram crescimento contínuo, ou seja, não apresentaram qualquer período de dormência.

McCLURKIN (1958) estudou as relações entre umidade do solo e o crescimento radial em plantações de Pinus echinata, de 19 anos de idade, determinando a existência de correlação significativa entre crescimento radial e água disponível no perfil de 1,20 m de solo. MOEHRING e RALSTON (1967) realizaram estudo semelhante em plantações de Pinus taeda, também concluindo que existe correlação significativa entre o crescimento em área basal e a umidade do solo. ZAHNER (1968^b) cita trabalho realizado por BOGGES (1953 e 1956), que mediu semanalmente a água do solo e a área basal em Pinus echinata e em Quercus alba durante 4 anos, chegando à conclusão de que a área basal acumulada, em ambas as espécies, diminuía quando cerca da metade da água disponível no primeiro metro de solo era consumida. No povoamento de Q. alba, o autor verificou ainda que num ano mais úmido o crescimento em área basal foi quase o dobro daquele ocorrido em ano seco.

Finalmente, um último aspecto do balanço hídrico em floresta é o relacionado com a interação da vegetação com a água da chuva que por ela passa, ou, em outras palavras, os efeitos das diferentes espécies florestais sobre a qualidade da água da chuva. McKEE e WOLF (1963) citam referências pelas quais certas espécies florestais (Alnus spp.; Acer spp.) não são recomendadas para plantio ao redor de reservatórios pois suas folhas podem descolorir a água e, na decomposição, causar odores desagradáveis. Citam também trabalhos realizados na Holanda, segundo os quais a água proveniente de áreas plantadas com

pinus ou com carvalho apresentavam maior cor, maior demanda de oxigênio, maior concentração de bicarbonatos, maior dureza e maior concentração de cloretos do que a água proveniente de áreas revestidas com vegetação herbácea natural.

Segundo PIERCE (1965), as coníferas têm sido preferidas para o reflorestamento de áreas ao redor de reservatórios, mas, conclui o autor, estudos têm mostrado que cada espécie em particular causa diferentes alterações na composição da água da chuva.

Mas não é apenas pela possível deterioração de reservatórios de água que este aspecto é importante (KUNKLE, 1974). Ao interagir com a vegetação, a água da chuva arrasta quantidades apreciáveis de nutrientes, fenômeno esse referido como lavagem (CAMARGO, 1968). Este processo desempenha papel significativo na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (JORDAN e KLINE, 1972), (ATTIWILL, 1966).

Após muitos anos de medições, TOLLENAAR e RYCKBORS (1975) apresentam os resultados de um estudo, no qual se analisou a água de drenagem de lisímetros sob duas condições: um contendo apenas solo nu, e o segundo plantado com coníferas (Pinus sp.). Foi verificado, além de outros, que as coníferas interceptam cerca de 24% a mais de Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ e K^+ da água da chuva do que o solo nu, e que as coníferas causam, também, redução do pH.

Pela análise das adições (precipitação) e das perdas (defluvio) em bacias hidrográficas experimentais é possível conseguir-se informação mais geral sobre a ciclagem de nutrientes em relação a diferentes ecossistemas, como mostram os trabalhos de TAYLOR et al. (1971), LIKENS et al. (1967), JOHNSON e SWANK (1973), HART et al. (1973), FISHER et al. (1968), IWATSUBO e TSUTSUMI (1968). Através do processo de lavagem, as diferentes condições de cobertura vegetal causam diferentes alterações na composição química da água da chuva, contribuindo, desta forma, de maneira distinta com a ciclagem de nutrientes. Assim, conforme esclarece WELLS et al. (1972), a compilação deste ciclo em florestas deve incluir também a medição da qualidade da água da precipitação interna e da água que escoar pelo tronco.

KIMMINS (1973) analisa o aspecto de amostragem de PI e de Et, a fim de que se possam obter dados com a necessária precisão.

LIKENS e EATON (1970) citam trabalhos nos quais foi mostrado que o escoamento pelo tronco contribui com cerca de 3 a 6% do total (precipitação + "litter") de K, Ca, Mg, e Na que chega ao solo florestal. Pela análise do pH do solo ao redor de caules de Pinus pinaster e em vários pontos cada vez mais distantes destes, verificou-se que o pH nestes vários pontos variou bastante, provavelmente pelo efeito da água que escoia pelo tronco das árvores, que é extremamente ácida (pH 3,9-4,4) (ANÔNIMO, 1969).

AUSSENAC et al. (1972) concluíram que apenas o K se apresentava em quantidades mensuráveis em amostras de água de PI e de Et em povoamentos de coníferas, na França. Também na Nova Zelândia, WILL (1955) já observara, em plantações de coníferas, que o K e o Na são devolvidos ao solo em maiores proporções através da água da chuva.

WELLS et al. (1972) e KAUL e BILLINGS (1965), estudando o ciclo de nutrientes em florestas de folhosas e de coníferas, observaram que a lavagem foi, em geral, maior nas primeiras do que nas segundas. Ou seja, a taxa de ciclagem foi maior para as folhosas do que para as coníferas.

SOERIANEGARA (1970) verificou que as concentrações de K e Ca foram maiores em amostras da água da precipitação interna em florestas de folhosas mistas do que em amostras de água da chuva. Verificou também que o K é, em geral, mais lavável do que o Ca.

TARRANT (1968) estudou a qualidade de PI e de Et em três sistemas diferentes, floresta de folhosas, floresta de coníferas e floresta mista de folhosa e conífera, observando diferenças nas taxas de ciclagens. Verificou também que o valor de Sólidos Totais Dissolvidos foi maior para Et do que para PI, e que o pH de PI foi similar ao pH da chuva, o que também foi observado por MAHENDRAPPA (1974).

NISHIMURA (1973), estudando o ciclo de nutrientes em uma floresta de conífera, concluiu que do total anual de nutrientes contidos no "litter", mais água de PI, mais água de Et, cerca de 90% de Na, 76% de K e 63% de Mg chegam ao solo via PI e Et. Tais resultados estão de acordo com as conclusões de EATON et al. (1973), pelas quais "os nutrientes reconhecidamente associados com moléculas orgânicas (P e N) têm, em geral, maior mobilidade via "litter". Já os nutrientes mais comumente encontrados na forma iônica movem-se mais rapida-

mente via precipitação interna e escoamento pelo tronco".

McCOLL (1970) estudou as alterações de qualidade da água da chuva em floresta tropical na Costa Rica. O pH da água da chuva e da precipitação interna foi, praticamente, neutro, mas apresentou-se bem mais ácido na água de escoamento pelo tronco. A condutividade dobrou de valor da água da chuva para a da precipitação interna, sendo bem maior ainda para a água do escoamento pelo tronco, o que levou o autor a concluir que o Et, embora de pequenas proporções, parece desempenhar papel importante no regime químico e biológico do solo imediatamente ao redor do tronco. Esta conclusão já havia sido sugerida antes por POZDNYAKOV (1956). Também MINA (1967) concluiu que a água de Et mostrou ter efeito sobre o solo através do aumento da acidez ativa (tanto trocável como hidrolítica) e também pelo aumento do conteúdo de Al e Fe móveis. Concluiu ainda que este efeito é localizado e se restringe a cerca de 30-50 cm de raio a partir do caule e numa profundidade de 1 m aproximadamente, e que das espécies estudadas o pinus foi a que apresentou maior efeito sobre o solo. BRUCKERT e TOUTAIN (1971) observaram que a água de PI em plantações de Fagus sylvatica e Pinus sylvestris continha compostos orgânicos simples e polimerizados, concluindo que o processo de humificação na realidade inicia-se ainda na água da chuva, após interação desta com a vegetação. GESPER e HOLOWAYCHUK (1971), analisando amostras da água do escoamento pelo tronco e correlacionando estes resultados com a análise de propriedades químicas do solo, concluíram que o Et apresentou efeito considerável sobre o solo ao redor do tronco; na conclusão do trabalho, estes autores afirmam que "reconhecem este efeito como sendo definitivo fator de formação do solo, ao qual deram o nome de "fator biohidrológico", definido como a interação da precipitação com as plantas, particularmente árvores".

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área Experimental

A área experimental acha-se localizada no campus da E.S.A. "Luiz de Queiroz", no município de Piracicaba, entre as coordenadas geográficas de 22°42'30" de latitude sul e 47°38'00" de longitude a oeste de Greenwich, numa altitude de 540 m. Os povoamentos florestais onde foram coletados os dados situam-se à margem esquerda do Córrego Monte Olimpo, no extremo leste do campus da ESALQ, numa área com declividade aproximada de 4,5% (Figura 1).

O povoamento de eucalipto tem área aproximada de 1 hectare, e foi desenvolvido a partir de sementes da espécie E. saligna Smith, provenientes da Austrália. O plantio foi realizado em dezembro de 1969, em espaçamento de 3 x 2 m. Por ocasião do início do presente estudo, o povoamento apresentava área basal de 15,4 m²/ha e altura média de 13,4 metros.

O povoamento de pinus foi plantado na mesma época e em área e espaçamento iguais ao anterior. Foi desenvolvido a partir de sementes da espécie P. caribaea Morelet var. caribaea provenientes de Cuba, e por ocasião do início do experimento apresentava área basal de 13,5 m²/ha e altura média de 6 metros.

Figura 1: Localização da Área Experimental em Relação ao Estado de São Paulo, ao Município de Piracicaba e ao Campus da ESALQ-USP.

4.2. Plano Experimental

Para o alcance dos objetivos propostos, o experimento foi orientado para a determinação do balanço hídrico dos três sistemas estudados a partir da medição dos vários componentes do ciclo da água em cada caso, de acordo com a seguinte equação simplificada do balanço hídrico:

$$P = ET + I + R + G + \Delta S$$

onde:

P = precipitação

ET = evapotranspiração

I = interceptação

R = escoamento superficial (runoff)

G = percolação profunda

ΔS = variação do armazenamento da água do solo.

A Figura 2 ilustra as relações entre estes vários componentes do ciclo da água em um povoamento florestal.

Durante o período experimental foram medidos os termos PT, PI, Et, S e Eo. Foram medidos também os seguintes aspectos qualitativos em amostras de água de PT, PI e Et: pH, turbidez, alcalinidade, condutividade específica, sólidos totais dissolvidos e cor. Os valores de PE e de I são calculados, conforme já abordado na revisão de literatura, de acordo com:

$$PE = PI + Et$$

$$I = PT - PE$$

A fim de que os resultados obtidos pudessem permitir análises comparativas dos vários aspectos estudados entre as três diferentes coberturas vegetais, principalmente no que diz respeito à evapotranspiração, procurou-se estabelecer as parcelas de tal forma a eliminar, ou tornar desprezíveis, os efeitos de outros fatores do meio, especialmente as diferenças de solo, geologia, clima, declividade. A existência de um povoamento de eucalipto adjacente a um de pinus, e ambos adjacentes a uma área aberta, pareceu atender a estas restrições preliminares.

Figura2: Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico em um povoamento florestal:

- PT = precipitação total (precipitação medida em área aberta)
 PI = precipitação total interna
 Et = escoamento pelo tronco
 PE = precipitação efetiva (PI + Et)
 I = perda por interceptação
 T = transpiração
 Es = Evaporação da água do Solo
 ET = evapotranspiração
 f = infiltração
 R = escoamento superficial (runoff, enxurrada)
 G = percolação profunda
 Eo = evaporação de tanque Classe A.

Conforme pode ser observado no esquema da Figura 2, o termo G, que inclui a água que drena além do limite inferior do perfil de solo considerado, é de difícil medição. De acordo com o discutido na revisão da literatura, existem métodos para se obter uma estimativa de G. No presente trabalho, todavia, nenhuma tentativa foi feita para se estimar o valor da percolação profunda.

Com relação ao termo R pode-se afirmar que a sua medição é, no geral, mais fácil do que a de G. Uma das maneiras de medição de R seria através do uso de parcelas dotadas de sistemas coletores do escoamento superficial, semelhantes, por exemplo, aos descritos em CROFT e MONNINGER (1953). Tampouco este termo pôde, todavia, ser medido no presente estudo, principalmente pelo volume considerável de inversões exigido para a construção de tais dispositivos.

Os aspectos discutidos nos três últimos parágrafos definem, de certa forma, as limitações do plano experimental:

- a) os resultados obtidos são válidos para a área experimental e para regiões em condições de solo, geologia, clima e vegetação similares;
- b) a estimativa do termo evapotranspiração (ET) através da equação simplificada do balanço hídrico, em virtude da não medição dos termos R e G, fica restrita apenas para períodos secos do ano, conforme já discutido na revisão da literatura.

4.3. Metodologia

A precipitação total (PT) foi medida na parcela aberta (contendo vegetação herbácea), por meio de um pluviógrafo tipo Hellman e de pluviômetro comum com área de captação de 311 cm^2 . O gráfico do pluviógrafo era trocado semanalmente, e a leitura do pluviômetro era feita imediatamente após cada chuva, para fins de cálculo da interceptação, conforme será explicado posteriormente. Os gráficos do pluviógrafo eram, depois, tabulados em chuvas isoladas e em totais diário e mensal de precipitação.

Os dados de evaporação (Eo) foram obtidos em tanque Classe A instalado também na parcela aberta, mas tais medições só puderam ser iniciadas em novembro de 1973. A evaporação foi medida pela quantidade de água que era adicionada ou retirada ao tanque a cada período de uma semana, até atingir um nível de referência.

A precipitação interna (PI) foi medida por meio de pluviômetros pequenos (interceptômetros), com área de captação de 127 cm^2 . Foram utilizados 12 pluviômetros no povoamento de eucaliptos e 12 no de pinus. Conforme mostra a Figura 3, os pluviômetros foram instalados sobre estacas e fixados a um suporte munido de parafusos, os quais permitiam o nivelamento do instrumento. Durante o período experimental, estes pluviômetros foram relocados 4 vezes dentro dos povoamentos. As leituras foram feitas após cada chuva, sendo que, na medida do possível, procurou-se efetuar as medições depois de mais ou menos 2 horas após o término das chuvas (GEIGER, 1966). Os valores volumétricos medidos eram, posteriormente, tabulados em milímetro de altura de água, a partir da área de captação dos pluviômetros.

Com relação ao escoamento pelo tronco, este foi medido em dispositivos coletores conforme mostra a Figura 3. Cada dispositivo constava de um segmento de borracha (borracha de revestimento de porta de automóvel) que era fixado ao redor do tronco da árvore por meio de percevejos de metal e de cola araldite. As duas extremidades da borracha conduziam a água a um funil que, por sua vez, estava ligado a um recipiente de plástico com capacidade de 20 litros. Foram utilizados 10 dispositivos em cada povoamento, que eram afixados em árvores selecionadas de tal forma a incluir a variação de DAP do povoamento. Verificou-se que os anéis de borracha duravam, de modo geral, cerca de 2-3 meses, ao fim dos quais havia necessidade de se colocar nova borracha. A cada vez que esta operação era necessária, o novo dispositivo era afixado em árvores diferentes. A transformação dos valores de volume de água para milímetro foi feita de acordo com o seguinte procedimento, baseado em informações da literatura, assim como em experiência adquirida em trabalhos semelhantes já realizados em outras regiões (KARSCHON, 1973): através de cuidadosa verificação no local, verificou-se que para o povoamento de eucalipto havia, em média, 1.320 árvores por hectare, e não 1.667, que é o total que deveria haver considerando o espaçamento de 3 x 2 m. Desta forma, a projeção da copa de cada árvo

Figura 3: Vista interna do povoamento de eucalipto e dos dispositivos de medição da precipitação interna e do escoamento pelo tronco.

Figura 4: Detalhe da medição da água do solo, vendo-se a sonda de neutrons sobre o tubo de alumínio e o aparelho medidor de neutrons moderados.

re corresponde, em teoria, a $7,6 \text{ m}^2$, que foi o fator de conversão utilizado para o caso do eucalipto. Por procedimento semelhante, o fator de conversão para o povoamento de pinus foi de 6,9.

As relações entre precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco, precipitação efetiva e interceptação foram, em cada caso, analisadas por regressão linear simples.

A medição da água do solo foi realizada através do método de moderação de neutrons, utilizando-se sonda do tipo "BASC Depth Moisture/Density Probe" fabricada pela NEA - Nordisk Elektrisk Apparatfabrik, da Dinamarca, cuja fonte de neutrons é constituída por $^{241}\text{Am-Be}$, com radioatividade nominal de 30mCi. Em cada povoamento florestal, assim como na parcela de vegetação herbácea, foram introduzidos verticalmente no solo 3 tubos de alumínio com comprimento aproximado de 2,20 m, que ficaram situados a uma distância aproximada de 15 metros um do outro. Estes tubos serviam de acesso para a sonda de neutrons, conforme ilustrado na Figura 4. As leituras, obtidas por contagem durante 1 minuto, foram feitas, em cada tubo, a partir dos 30 cm de profundidade, repetindo-se a intervalos de 30 cm até a profundidade de 1,80 m. A determinação da umidade do solo na camada superficial de 0-30 cm foi feita por gravimetria (REYNOLDS, 1970). Durante o período experimental, as medições da água do solo foram realizadas em intervalo mínimo de 1 mês. Em algumas ocasiões foram feitas leituras quinzenais. A calibragem da sonda de neutrons foi desenvolvida no campo, através da comparação da porcentagem de umidade determinada gravimetricamente com os valores da contagem por minuto obtidos no mesmo instante em que as amostras iam sendo coletadas. A curva de calibragem assim obtida coincidiu com a curva de calibragem de fábrica do aparelho, e a transformação dos valores de contagem por minuto em porcentagem de umidade com base em volume foi, após esta verificação, desenvolvida através da própria curva de calibragem da fábrica. Finalmente, o cálculo da quantidade de água armazenada no perfil do solo (S) foi feito pela integração das áreas compreendidas entre leituras consecutivas de umidade pela sonda de neutrons.

Para a verificação do desenvolvimento, ou do crescimento radial dos povoamentos durante o período, procedeu-se a medição estacional do DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) das árvores. A primeira medição foi realizada por ocasião do início do experimento, e as

seguintes se repetiram a cada 3 meses, num total de 8 medições. A média do DAP em cada data foi obtida pela medição do DAP de 132 árvores devidamente identificadas em cada povoamento, utilizando-se trena dendrométrica.

Por fim, os aspectos qualitativos estudados foram medidos em amostras coletadas após cada chuva no pluviômetro, nos interceptômetros e nos recipientes plásticos utilizados para a medição da interceptação, recipientes estes que foram frequentemente lavados durante todo o período experimental. As amostras foram coletadas em garrafinhas de polietileno de 250 ml. Após cada chuva eram coletadas 2 garrafinhas da água coletada no pluviômetro, 4 garrafinhas da água de interceptômetros escolhidos ao acaso, e 4 garrafinhas dos recipientes plásticos de medição do escoamento pelo tronco, também escolhidos, em cada vez, ao acaso, tanto para o povoamento de eucalipto como no de pinus. As análises eram realizadas imediatamente após a chegada das amostras no laboratório. O pH foi medido em potenciômetro modelo 2075 fabricado pela HACH Chemical Company. A medição da turbidez foi feita em turbidímetro modelo 2100A, também fabricado pela HACH. Para a medição da condutância utilizou-se de um condutivímetro modelo 2511, também da HACH. Os valores dos Sólidos Totais Dissolvidos foram obtidos a partir dos resultados de condutância específica, conforme escala de conversão da HACH CHEMICAL COMPANY (1973^a). A cor foi determinada colorimetricamente, em colorímetro modelo DR, da HACH, conforme método descrito em HACH CHEMICAL COMPANY (1973^b). A alcalinidade foi determinada por titulometria, conforme método descrito em AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1949). Os dados de laboratório foram, a seguir, comparados por análise da variância, a fim de determinar os possíveis efeitos das duas espécies florestais estudadas, assim como diferenças significativas entre as espécies.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características Físicas do Solo

Através da abertura de uma trincheira entre os povoamentos florestais estudados, procedeu-se a análise morfológica do solo, bem como coletaram-se amostras dos vários horizontes para a determinação de suas características físicas. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Pelas características morfológicas do perfil, assim como pelos resultados das análises físicas, verifica-se que se trata de um solo podzólico. Pela sua situação geográfica, verifica-se ainda que este solo se encontra em posição de transição entre os solos da Série "Luiz de Queiroz" e os da Série "Sertãozinho", cujas descrições podem ser encontradas em RANZANI et al. (1966). Do ponto de vista geológico, é bem possível que a formação deste solo tenha sofrido influência tanto do conjunto de sedimentos da Formação Itapetininga, quanto do derrame de diabásio da Série São Bento, conforme pode ser depreendido do mapa geológico contido em RANZANI (1956).

Tabela 1: Características Físicas do Solo

Hor.	Espessura (cm)	Análise Textural				Densidade Apar. (g/cm ³)	Retenção de Umidade	
		Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)	Classe Textural		1/3 Atm (% vol.)	15 Atm (% vol.)
A _p	0 - 15	73,9	12,8	13,4	ba	1,5	23,3	11,0
A ₃	15 - 38	68,5	12,7	18,8	ba	1,6	24,3	11,9
B ₁	38 - 75	61,0	11,4	27,6	bra	1,4	24,1	15,3
B ₂	75 - 102	55,2	11,7	33,1	bra	1,5	28,1	14,5
B ₃	102 - 144	57,9	11,5	30,6	bra	1,4	30,3	15,1
C	144 >	56,1	12,7	31,2	bra	1,3	29,3	15,4

5.2. Interceptação

Ao todo foram medidas, durante o período experimental, 64 chuvas isoladas para a determinação da interceptação nos povoamentos de eucaliptos e de pinus, chuvas estas que variaram de um valor mínimo de 0,8 mm até um máximo de 65 mm. A Tabela 2 contém a distribuição e a frequência das várias classes de tamanho das chuvas observadas durante o período, assim como os valores médios de precipitação interna e de escoamento pelo tronco em eucalipto e em pinus.

Tabela 2: Frequências das várias classes de tamanho de chuvas ocorridas durante o período experimental, e respectivos valores médios de PI e Et registrados nos povoamentos de Eucaliptos e de Pinus.

Classes de tamanho de chuva (mm)	Frequência	Eucalipto		Pinus	
		PI (mm)	Et (mm)	PI (mm)	Et (mm)
0 - 2,5	7	1,1	0,0	1,3	0,0
2,5 - 5,0	3	3,3	0,2	3,8	0,1
5,0 - 10,0	11	5,8	0,2	6,3	0,2
10,0 - 20,0	16	13,6	0,7	14,2	0,6
20,0 - 30,0	10	20,5	1,8	21,8	1,0
30,0 - 40,0	8	29,2	1,9	29,8	0,8
40,0 - 50,0	5	39,3	2,2	42,2	1,6
50,0 - 60,0	3	49,6	2,8	52,4	1,2
60,0 - 70,0	1	56,8	2,9	61,1	1,2

Verifica-se, pela observação da Tabela 2, que os valores médios de PI aumentam proporcionalmente com o aumento da quantidade da precipitação total, sendo que os valores médios de PI em pinus são ligeiramente maiores que os de eucaliptos. Verifica-se, por outro lado, que os valores médios de Et são maiores em eucalipto do que em pinus; resultados estes de acordo com o esperado, devido, principalmente, a maior rugosidade das cascas das árvores de pinus em compara-

ção com as de eucaliptos. Observa-se ainda que o Et começou a ser medido somente a partir de certos valores de precipitação total. Por exemplo, para chuvas de até 2,5 mm, não houve formação de Et nem em eucalipto, nem em pinus. Essa quantidade mínima de chuva acima do qual começa a haver escoamento pelo tronco foi um pouco maior para o caso de pinus do que para o eucalipto. Foi observado, por exemplo, que mesmo para uma chuva de 4 mm não houve formação de Et em pinus (Tabela 5). Já a precipitação interna ocorreu desde valores baixos de precipitação total, sendo inclusive, cerca de 80% para os valores mínimos de PT observados (Tabelas 4 e 5). Isto pode ser explicado pelas condições de estrutura atual dos povoamentos, no que diz respeito à densidade e ao fechamento das copas. É de se esperar que a medida que o fechamento das copas se complete, também a precipitação interna só começará a se verificar a partir de um certo valor mínimo de chuva.

Estas relações entre precipitação total, precipitação interna, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva são ilustradas através das Figuras 5, 6 e 7, que contêm as curvas de regressão entre precipitação total e precipitação interna, precipitação total e escoamento pelo tronco, e precipitação total e precipitação efetiva, respectivamente, de forma comparativa entre eucaliptos e pinus.

Na Figura 5, por exemplo, observa-se, como já afirmado anteriormente, que para uma mesma chuva, houve um volume ligeiramente maior de precipitação interna em pinus do que em eucalipto.

Mas o escoamento pelo tronco foi bem maior em eucalipto do que em pinus, conforme ilustram as curvas de regressão da Figura 6.

A Figura 7 mostra a relação entre a precipitação efetiva, isto é, a soma $PI + Et$, e a precipitação total. Conforme pode ser observado pela análise desta figura, para as condições dos povoamentos estudados, o solo sob pinus recebeu, em média, quantidade de água aproximadamente 6% maior do que o solo sob o povoamento de eucaliptos.

As equações de regressão que permitem a estimativa da precipitação interna (PI), do escoamento pelo tronco (Et) e da precipitação efetiva (PE) a partir dos dados da precipitação total, ou seja, da precipitação medida em área aberta, são dadas na Tabela 3.

Figura 5: Relação entre Precipitação Interna (PI) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e Pinus.

Figura 6: Relação entre Escoamento pelo tronco (Et) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e em Pinus.

Figura 7: Relação entre Precipitação Efetiva (PE) e Precipitação Total (PT) em Eucalipto e Pinus.

Tabela 3: Equações para a Estimativa da Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco (Et) e Precipitação Efetiva (PE), a partir da medição de Precipitação Total.

Variável Dependente	Tipo de Floresta	Idade (anos)	Regressão	r
PI	<u>Eucalyptus saligna</u>	6	$PI = 0,890(PT) - 0,530$	0,99
	<u>Pinus caribaea</u>	6	$PI = 0,938(PT) - 0,570$	0,99
Et	<u>Eucalyptus saligna</u>	6	$Et = 0,053(PT) - 0,060$	0,89
	<u>Pinus caribaea</u>	6	$Et = 0,025(PT) + 0,139$	0,61
PE	<u>Eucalyptus saligna</u>	6	$PE = 0,939(PT) - 0,629$	0,99
	<u>Pinus caribaea</u>	6	$PE = 0,978(PT) - 0,596$	0,99

Para a precipitação interna e a precipitação efetiva, as equações da Tabela 3 são bastante significativas, mostrando que a variável "quantidade de chuva em milímetros" é responsável por cerca de 98% da variação de PI e de PE, em cada caso. Já as equações para a estimativa do escoamento pelo tronco parecem indicar que existem outros fatores que podem alterar os valores de Et, além da quantidade de chuva. No caso de pinus, por exemplo, a equação determinada responde apenas por aproximadamente 37% da variação de Et. Este caráter errático do processo de escoamento pelo tronco é discutido em HELVEY e PATRIC (1965^a). Segundo a completa revisão feita por estes autores, o escoamento pelo tronco é muito variável não apenas de chuva para chuva, mas também de árvore para árvore. Há trabalhos que mostram que a adição de uma segunda variável (ex. DAP das árvores) melhora um pouco a precisão da equação de regressão (LEONARD, 1961), (RUTTER, 1963). Por outro lado, DEWALLE e PAULSELL (1969) não encontraram correlação entre escoamento pelo tronco e DAP das árvores.

As equações da Tabela 3 podem ser usadas para a estimativa da precipitação interna, do escoamento pelo tronco, e da precipitação efetiva e, conseqüentemente, das perdas por interceptação em povoamentos de eucaliptos e de pinus em condições similares às da área experimental e são, evidentemente, válidas para o intervalo de varia-

ção da precipitação total observado durante o período de estudo, ou seja, de 0,8 a 65 mm.

As Tabelas 4 e 5 contém os dados de precipitação total, precipitação interna e escoamento pelo tronco medidos durante o experimento, assim como os valores calculados de precipitação efetiva e da resultante perda por interceptação (I), tanto em milímetros como em valores percentuais, para os povoamentos de eucaliptos e de pinus, respectivamente. Nas Tabelas 4 e 5 pode-se verificar que as perdas por interceptação (I) em eucaliptos variaram, em porcentagem sobre a precipitação total, de 0% até 45%, resultando num valor médio de I de 12,4%. Para o povoamento de pinus, a variação verificada foi de 0% até 38%, dando um valor médio de I de 7,2%.

Na revisão da literatura foi afirmado que as coníferas causam, em geral, maior interceptação do que as folhosas, e os resultados acima apresentados não vieram, aparentemente, de encontro a esta expectativa geral. A explicação pode ser dada com base nas condições atuais do povoamento de pinus estudado, bastante jovem ainda, e em estágio de desenvolvimento tal que as copas mal começam a se tocar, o que pode ser observado pelo valor médio de precipitação interna maior em pinus do que em eucalipto (90,4% contra 83,6%), de acordo com as Tabelas 4 e 5. É de se esperar que a medida que o povoamento de pinus se desenvolva, também as perdas por interceptação se tornem gradativamente maiores. Já o povoamento de eucaliptos estudado pode ser considerado como representativo de uma plantação em escala industrial próxima a época do primeiro corte.

Com base nos valores médios das Tabelas 4 e 5, portanto, pode-se concluir que para a média anual de 1.400 mm de precipitação total medidos durante o período experimental, as perdas por interceptação foram de 174 mm anuais para o povoamento de eucalipto e 101 mm anuais para o de pinus. Isto significa que o solo sob o povoamento de pinus recebeu, em média, aproximadamente 73 mm a mais de água das chuvas do que o solo sob eucaliptos.

Estes resultados permitem, de certa forma, visualizar a importância do conhecimento destas fases do ciclo hidrológico no que diz respeito a elaboração de normas de manejo adequadas para estas essências florestais e também de políticas sadias de uso do solo e da água. Sem entrar no mérito da diferença de desenvolvimento, ou seja

Tabela 4: Valores de Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco (Et), Precipitação Efetiva (PE) e Perda por Interceptação (I) em mm e em porcentagem sobre Precipitação Total (PT) para o povoamento de Eucalipto. 41.

PT (mm)	PI (mm)	PI (% de PT)	Et (mm)	Et (% de PT)	PE (mm)	PE (% de PT)	I (mm)	I (% de PT)
6,7	5,4	80,6	0,49	7,4	5,9	88,0	0,81	12,0
1,5	1,2	80,0	0,03	2,0	1,2	82,0	0,27	18,0
4,3	3,2	74,4	0,27	6,3	3,5	80,1	0,83	19,3
4,5	3,8	84,4	0,27	6,0	4,1	90,4	0,43	9,6
1,0	1,0	100,0	0,01	1,1	1,0	101,1	0,00	0,0
44,9	35,7	79,5	2,27	5,1	38,0	84,6	6,93	15,4
0,8	0,6	75,0	0,01	0,9	0,6	75,9	0,19	24,1
25,1	21,8	86,9	1,56	6,2	23,4	93,1	1,74	6,9
24,1	21,6	89,6	0,96	4,0	22,6	93,6	1,54	6,4
0,8	0,6	75,0	0,00	0,0	0,6	75,0	0,20	25,0
42,1	33,2	78,9	1,76	4,2	35,0	83,0	7,14	17,0
0,9	0,8	88,9	0,00	0,0	0,8	88,9	0,10	11,1
16,4	16,1	98,2	0,29	1,8	16,4	100,0	0,01	0,1
51,2	50,4	98,4	1,69	3,3	52,1	101,7	0,00	0,0
2,2	2,0	90,9	0,13	5,9	2,1	96,8	0,07	3,2
15,1	13,2	87,4	0,79	5,2	14,0	92,6	1,11	7,4
23,7	20,9	88,2	0,81	3,4	21,7	91,6	1,99	8,4
9,3	7,9	84,9	0,27	2,9	8,2	87,9	1,13	12,1
6,4	5,1	79,7	0,02	0,3	5,1	80,0	1,28	20,0
11,4	10,3	90,4	0,58	5,1	10,9	95,4	0,52	4,6
15,4	14,2	92,2	0,51	3,3	14,7	95,5	0,69	4,5
6,0	4,3	71,7	0,09	1,4	4,4	73,1	1,61	26,9
12,9	9,7	75,2	0,24	1,8	9,9	77,0	2,96	23,0
7,6	6,3	83,0	0,18	2,3	6,5	85,2	1,12	14,8
34,7	30,0	86,5	1,76	5,1	31,8	91,5	2,94	8,5
15,1	15,1	100,0	0,58	3,8	15,8	103,8	0,00	0,0
21,0	15,9	75,7	0,67	3,2	16,6	78,9	4,43	21,1
8,7	7,8	89,7	0,20	2,3	8,0	92,0	0,70	8,0
30,8	30,8	100,0	1,53	5,0	33,3	105,0	0,00	0,0
21,9	20,5	93,6	0,81	3,7	21,3	97,3	0,59	2,7
46,4	40,4	87,1	1,75	3,8	42,1	90,8	4,25	9,2
6,1	4,3	70,5	0,07	1,1	4,4	71,6	1,74	28,4
8,6	6,7	77,9	0,05	0,6	6,8	78,5	1,85	21,5
57,6	53,2	92,4	2,38	4,1	55,6	96,5	2,02	3,5
18,0	15,5	86,1	0,55	3,1	16,1	89,2	1,95	10,8
65,0	56,8	87,4	2,86	4,4	59,7	91,8	5,35	8,2
17,3	14,8	85,5	0,52	3,0	15,3	88,6	1,98	11,4
27,7	22,8	82,3	2,08	7,5	24,9	89,8	2,82	10,2
24,1	20,6	85,5	1,71	7,1	22,3	92,6	1,80	7,4
33,1	26,2	79,2	1,29	3,9	27,5	83,1	5,61	16,9
46,6	41,5	89,1	2,01	4,3	43,5	93,4	3,10	6,6
7,5	5,7	76,0	0,38	5,0	6,1	81,0	1,42	19,0
30,2	25,8	85,4	9,93	6,4	27,7	91,8	2,47	8,2
28,9	24,3	84,1	1,89	6,5	26,2	90,6	2,71	9,4
33,4	30,4	91,0	2,33	7,0	32,7	98,0	0,67	2,0
2,4	1,3	54,2	0,00	0,0	1,3	54,2	1,10	45,8
21,6	16,0	74,1	1,57	7,3	17,6	81,3	4,03	18,7
17,4	16,0	92,0	1,23	7,1	17,2	99,0	0,17	1,0
35,6	30,3	85,1	2,34	6,6	32,6	91,7	2,96	8,3
30,2	27,5	91,1	2,34	7,7	29,9	98,8	0,36	1,2
53,4	45,2	84,6	4,39	8,2	49,6	92,9	3,81	7,1
27,6	20,8	75,4	2,50	9,0	23,3	84,4	4,30	15,6
4,0	3,0	75,0	0,12	3,0	3,1	78,0	0,88	22,0
14,8	11,6	78,4	0,74	5,0	12,3	83,4	2,46	16,6
7,7	5,2	67,5	0,30	3,9	5,5	71,4	2,20	28,6
11,5	7,8	67,8	0,34	2,9	8,1	70,8	3,36	29,2
16,1	12,7	78,9	1,38	8,6	14,1	87,4	2,02	12,6
MÉDIA :		83,6%		4,2%		87,8%		12,4%

Tabela 5: Valores de Precipitação Interna (PI), Escoamento pelo tronco (Et), Precipitação Efetiva (PE) e Perda por Interceptação (I) em mm e em porcentagem sobre Precipitação Total (PT) para o povoamento de Pinus. 42.

PT (mm)	PI (mm)	PI (% de PT)	Et (mm)	Et (% de PT)	PE (mm)	PE (% de PT)	I (mm)	I (% de PT)
6,7	5,5	82,1	0,31	4,7	5,8	86,7	0,89	13,3
1,5	1,3	86,7	0,01	0,3	1,3	86,9	0,20	13,1
4,3	4,2	97,7	0,15	3,5	4,3	101,1	0,00	0,0
4,5	3,1	68,9	0,13	2,8	3,2	71,7	1,27	28,3
16,1	15,3	95,0	0,56	3,5	15,9	98,5	0,24	1,5
1,0	1,0	100,0	0,01	0,7	1,0	100,7	0,00	0,0
44,9	39,0	86,9	1,96	4,4	41,0	91,2	3,94	8,8
0,8	0,8	100,0	0,01	0,3	0,8	100,3	0,00	0,0
25,1	19,0	75,7	2,35	9,4	21,3	85,0	3,75	14,9
24,1	23,2	96,3	2,09	8,7	25,3	104,9	0,00	0,0
0,8	0,8	100,0	0,00	0,0	0,8	100,0	0,00	0,0
42,1	34,8	82,7	2,45	5,8	37,2	88,5	4,85	11,5
0,9	0,9	100,0	0,00	0,0	0,9	100,0	0,00	0,0
16,4	15,9	97,0	1,01	6,2	16,9	103,1	0,00	0,0
2,2	2,0	90,9	0,02	1,0	2,0	92,0	0,18	8,0
15,1	12,1	80,1	1,63	10,8	13,7	90,9	1,37	9,1
23,7	23,0	97,0	1,97	8,3	25,0	105,4	0,00	0,0
9,3	7,0	75,3	0,74	8,0	7,7	83,2	1,56	16,8
6,4	5,9	92,2	0,27	4,2	6,2	96,4	0,23	3,6
11,4	9,6	84,2	1,07	9,4	10,7	93,6	0,73	6,4
15,4	13,2	85,7	1,01	6,6	14,2	92,3	1,19	7,7
6,0	3,9	65,0	0,18	3,0	4,1	68,0	1,92	32,0
12,9	10,5	81,4	0,67	5,2	11,2	86,5	1,74	13,5
7,6	6,5	85,5	0,28	3,7	6,8	89,2	0,82	10,8
15,1	15,0	99,3	1,46	9,7	16,5	109,0	0,00	0,0
21,0	19,0	90,5	0,45	2,2	19,5	92,6	1,55	7,4
8,7	8,7	100,0	0,11	1,2	8,8	101,2	0,00	0,0
30,8	30,8	100,0	0,94	3,1	31,7	103,1	0,00	0,0
21,9	21,9	100,0	0,40	1,8	22,3	101,8	0,00	0,0
46,4	44,8	96,6	0,98	2,1	45,8	98,7	0,62	1,3
6,1	3,7	60,6	0,06	1,0	3,8	61,6	2,34	38,4
8,6	8,3	96,5	0,07	0,8	8,4	97,3	0,23	2,7
57,6	55,2	95,8	1,37	2,4	56,6	98,2	1,04	1,8
18,0	18,0	100,0	0,21	1,2	18,2	101,2	0,00	0,0
65,0	61,1	94,0	1,24	1,9	62,3	95,9	2,66	4,1
17,3	15,7	90,8	0,22	1,3	15,9	92,0	1,38	8,0
27,7	23,3	84,1	0,50	1,8	23,8	85,9	3,90	14,1
24,1	22,6	93,8	0,57	2,4	23,2	96,1	0,93	3,9
33,1	29,9	90,3	0,50	1,5	30,4	91,8	2,70	8,2
46,6	46,6	100,0	0,99	2,1	47,6	102,1	0,00	0,0
7,5	6,0	80,0	0,06	0,8	6,1	80,8	1,44	19,2
30,2	29,1	96,4	0,69	2,3	29,8	98,6	0,42	1,4
28,9	26,6	92,0	0,72	2,5	27,3	94,5	1,58	5,5
33,4	31,7	94,9	0,83	2,5	32,5	97,4	0,87	2,6
2,4	2,3	95,8	0,00	0,0	2,3	95,8	0,10	4,2
21,6	15,5	71,8	0,39	1,8	15,9	73,6	5,71	26,4
17,4	15,5	89,1	0,61	3,5	16,1	92,6	1,29	7,4
35,6	35,5	99,7	0,59	1,7	36,1	101,4	0,00	0,0
30,2	28,9	95,7	0,65	2,1	29,5	97,8	0,65	2,2
53,4	53,2	99,6	1,02	1,9	54,2	101,5	0,00	0,0
27,6	23,4	84,8	0,27	1,0	23,7	85,8	3,93	14,2
4,0	4,0	100,0	0,00	0,0	4,0	100,0	0,00	0,0
14,8	13,4	90,5	0,11	0,7	13,5	91,3	1,29	8,7
7,7	7,6	98,7	0,04	0,5	7,6	99,2	0,06	0,3
11,5	10,0	87,0	0,07	0,6	10,1	87,5	1,43	12,5
16,1	14,3	88,8	0,23	1,5	14,5	90,3	1,57	9,7
MÉDIA:		90,4%		3,0%		93,4%		7,2%

comparando-se os dois povoamentos florestais estudados de modo como eles se encontram agora, os resultados, no conjunto, permitem algumas considerações interessantes. Por exemplo, pode-se deduzir que tanto o rendimento hídrico (produção de água na forma de deflúvio superficial) quanto o suprimento de água para o lençol subterrâneo seriam ligeiramente maiores em áreas com cobertura de pinus do que em áreas com eucaliptos, como consequência da maior quantidade de água que chega ao solo sob pinus. Supondo-se ainda que se tratasse de 2 bacias hidrográficas de 40 hectares cada, uma contendo floresta de eucalipto e outra contendo pinus, em tudo similar às condições do presente estudo, pode-se, por cálculos simples, deduzir que apenas como consequência das perdas por interceptação o deflúvio anual médio da primeira bacia seria reduzido de cerca de 69,6 milhões de litros de água, e o da segunda seria reduzido de aproximadamente 40,4 milhões de litros de água, reduções que, sem dúvida, merecem consideração.

Evidentemente, não se deve tomar tais estimativas como base para a conclusão de que o reflorestamento com eucaliptos ou com pinus podem causar efeitos adversos sobre os recursos hídricos. Uma cobertura de floresta subtropical natural, de acordo com GEIGER (1966), pode apresentar perdas por interceptação da ordem de 38%, ou seja, cerca de 3 vezes mais que a média obtida para eucalipto. Estes resultados, ao contrário, devem se constituir em informação útil para o administrador de recursos naturais, isto é, para aquele que tem a seu cargo as decisões sobre o uso do solo em geral; este deve reconhecer que em áreas onde o recurso água é mais importante as práticas silviculturais que resultem numa diminuição da interceptação podem apresentar consequências desejáveis.

5.3. Regime da Água do Solo

A Figura 8 mostra as variações mensais do total de água armazenada no perfil todo do solo (S), com a indicação dos respectivos desvios padrões em alguns dos períodos, bem como os valores médios de retenção de umidade às pressões de $1/3$ de atmosfera e de 15 atmosferas, e a distribuição mensal da precipitação durante os 24 meses compreendidos pelo período experimental.

De modo geral, pode-se verificar que sempre houve água disponível no solo sob os três tipos de cobertura vegetal estudada, a não ser nos meses de setembro e outubro de 1974, quando o conteúdo de água nos três casos foi inferior ao valor médio de retenção de água a 15 atmosferas. No período agosto-setembro de 1973, apenas o solo sob eucalipto apresentou valores de água armazenada inferiores ao valor médio correspondente a 15 atmosferas. Apesar de pequenas diferenças de S observadas em alguns dos meses, pode-se afirmar também que o regime da água do solo foi praticamente o mesmo para os três sistemas estudados. Comparando o povoamento de eucalipto com o de pinus, por exemplo, nota-se que os valores mensais de S deste último foram ligeiramente superiores aos do primeiro. Comparando a vegetação herbácea com ambos os povoamentos florestais, por outro lado, pode ser observado uma aparente tendência de S ser ligeiramente maior na vegetação herbácea do que nos povoamentos florestais durante o período de verão, ao passo que o reverso se verificaria durante o período seco do ano. Esta conclusão, todavia, carece ser reforçada por um período maior de observação.

É interessante observar na Figura 8 ainda, as relações entre as variações da água no solo e a distribuição da precipitação. O verão 1973-1974, por exemplo, apresentou o mês de fevereiro relativamente seco, com pouco mais de 70 mm de chuva; já o mês de março apresentou queda pluviométrica comparativamente maior que a normal; abril e março foram também mais secos que o normal e junho apresentou alta precipitação. Estas variações de distribuição da precipitação são, de certa forma, refletidas nas curvas da marcha anual da água do solo. Nos meses de dezembro de 1973 e janeiro e fevereiro de 1974, por exemplo, pode ser notado que o conteúdo de água no solo sob eucalipto desceu a níveis bem mais baixos do que os outros dois sistemas.

Figura 8: Variação do Armazenamento de água no perfil (1,80 m).

Na Figura 9 é mostrado o regime anual da água do solo nos três tipos de vegetação estudados, regime este baseado na média dos 2 anos de medições. A disposição dos meses nesta figura é de acordo com o ano hidrológico para as condições climáticas da área de estudo, notando-se o período de recarga da água do solo (setembro a fevereiro) e o período de depleção da água do solo (fevereiro a agosto). Em termos dos valores médios utilizados na Figura 9, pode-se observar, como já afirmado, um valor ligeiramente maior de S para pinus do que para eucalipto, sendo que a diferença maior predomina nos meses de verão, dando alguma indicação de um maior consumo de água por eucalipto neste período do ano. É interessante observar que esta aparente indicação está mais ou menos coerente com os resultados obtidos por MELLO (1960), que encontrou valores máximos de transpiração pela espécie E. alba justamente nos meses de verão, em comparação com as demais estações do ano. Comparando o regime anual da água do solo entre vegetação herbácea e as duas espécies florestais, nota-se aqui também a tendência de haver, de modo geral, mais água na vegetação herbácea durante o período de recarga da água do solo, situação esta que se reverte no período de menor conteúdo de umidade no solo.

A Figura 10 ilustra a marcha anual das variações da água no solo nas diferentes camadas estudadas. Primeiramente cabe ressaltar nesta figura as diferenças de variações mensais e estacionais do armazenamento de água entre as camadas, notando-se as camadas superficiais (0 a 90 cm) são as que apresentam maiores flutuações de umidade, em decorrência da recarga de água pelas precipitações e da retirada de água por evaporação. Estas seriam, no dizer de SHPAK (1971), as camadas ativas de trocas de umidade, ou as camadas hidrologicamente mais ativas. Cabe observar, também, o fato de que a partir de 1,20 m para baixo o conteúdo de água do solo nos três tipos de vegetação estudadas se encontrou, na maior parte do período experimental, muito próximo do conteúdo de água correspondente a 15 atmosferas de pressão, a não ser nos meses de verão de 1974-1975. No que diz respeito às diferenças de comportamento entre as espécies em cada camada, pode-se verificar que o regime da água do solo nas duas primeiras camadas foi praticamente idêntico em todos os casos, ou seja, não sobressaem diferenças marcantes entre as vegetações estudadas. Nas camadas de 60-90 e 90-120 nota-se que os valores mensais de S no povoamento de pinus foram ligeiramente menores do que os de eucalipto e os de vegetação her-

Figura 9: Regime Anual da Água do Solo
 (1,80 m). Média de dados de
 2 anos.

Figura 10: Variação Anual da Água do Solo em Diferentes Profundidades.

bácea durante todo o período; este fato pode ser interpretado como indicador de uma maior concentração de raízes dos pinus nestas profundidades do perfil. Nas camadas mais inferiores, principalmente na última, observa-se que os valores de S em eucaliptos foram, na maior parte do período, ligeiramente inferiores aos demais.

A Figura 11 contém os gráficos construídos a partir dos valores máximos e mínimos de água no solo observados durante os 2 anos de medições. Não são os valores observados em uma dada medição apenas, mas sim valores selecionados em cada camada e em cada parcela dentre as 28 determinações de umidade do solo realizadas durante o estudo. A Figura 11 mostra, desta forma, a amplitude máxima de variação da água do solo, em cada camada e em cada parcela observada durante o período. A zona de concentração de raízes do pinus na camada de 60-120 cm é outra vez evidenciada nesta figura, pelos valores mais baixos de conteúdo de umidade em comparação com as mesmas camadas do eucalipto e da vegetação herbácea. Nas camadas mais profundas o solo sob eucaliptos se apresentou comparativamente mais seco que os demais. Nos três casos, todavia, o conteúdo de umidade nas camadas inferiores a 60 cm de profundidade sempre esteve menor que o correspondente a $1/3$ de atmosfera.

Esta mesma distribuição dos valores máximos e mínimos de água no solo para as três diferentes coberturas vegetais pode ser quantitativamente analisada através da Tabela 6. Esta tabela mostra a amplitude máxima de variação da água do solo resultante dos 2.712 mm de chuva registrados durante o período, e pode ser interpretada como indicadora da quantidade máxima de água do solo que foi disponível para a vegetação nas diferentes parcelas durante o período. Verifica-se, por exemplo, que os valores mínimos das camadas de 1,30 m para baixo foram menores em eucalipto do que nos demais casos. Enquanto o conteúdo de umidade equivalente aos valores mínimos observados para todo o perfil diferiu de aproximadamente 6 mm entre o eucalipto e a vegetação herbácea, de 12 mm entre pinus e vegetação herbácea, e de cerca de 6 mm entre eucalipto e pinus, a recarga da água do solo devido às chuvas foi cerca de 40 mm maior na vegetação herbácea do que em eucalipto, e de aproximadamente 23 mm maior na vegetação herbácea do que em pinus. Estas diferenças, embora não podendo ser totalmente atribuídas às diferenças de recarga da água do solo, mas também à diferen-

Figura 11: Valores Máximos e Mínimos de Água no Solo, nas diferentes camadas, observados em dois anos de medições.

Tabela 6: Valores Máximos e Mínimos de Água do Solo Observados durante o Período Experimental.

Prof. (cm)	Espessura (cm)	E U C A L I P T O			
		Max. (% vol.)	Min. (% vol.)	Diferença	
				(% vol.)	(mm)
0-10	10	27,8	7,9	19,9	19,9
10-40	30	21,7	10,6	11,1	33,3
40-70	30	24,8	16,1	8,7	26,1
70-100	30	23,0	15,7	7,3	21,9
100-130	30	17,3	12,2	5,1	15,3
130-160	30	16,2	10,6	5,6	16,8
160-190	30	15,5	10,3	5,2	15,6
Amplitude máxima de variação:					148,9
		P I N U S			
0-10	10	26,4	9,3	17,1	17,1
10-40	30	24,4	14,0	10,4	31,2
40-70	30	23,0	14,0	9,0	27,0
70-100	30	19,3	12,0	7,3	21,9
100-130	30	17,5	10,9	6,6	19,8
130-160	30	20,2	12,5	7,7	23,1
160-190	30	20,4	13,8	6,6	19,8
Amplitude máxima de variação:					159,9
		V E G E T A Ç Ã O H E R B Á C E A			
0-10	10	25,7	5,0	20,7	20,7
10-40	30	24,2	12,4	11,8	35,4
40-70	30	24,7	15,2	9,5	28,5
70-100	30	21,4	13,2	8,2	24,6
100-130	30	19,2	11,6	7,6	22,8
130-160	30	19,0	11,0	8,0	24,0
160-190	30	20,0	11,1	8,9	26,7
Amplitude máxima de variação:					182,7

ças inerentes aos próprios perfis estudados, devem ser comparadas com as taxas de interceptação da água da chuva pelos povoamentos florestais. De fato, na vegetação herbácea, onde não houve interceptação, maior quantidade de água das chuvas chegou ao solo. Para o eucalipto e para o pinus, as taxas médias de perda por interceptação determinadas são proporcionais a estas diferenças de recarga da água do solo.

Na Figura 12 são apresentados os conteúdos médios de umidade nas diferentes camadas do solo para as estações secas e chuvosas do ano. Sob outro ângulo, esta figura ilustra alguns dos aspectos já discutidos, como por exemplo os valores comparativamente mais secos de umidade na camada de 90-120 cm do solo sob pinus, e o solo da vegetação herbácea ligeiramente mais úmido na estação chuvosa.

A Figura 13 ilustra os resultados de duas determinações individuais realizadas durante o período. A de 16/10/74 foi a determinação que apresentou os valores mais baixos de água no solo, e a de 13/01/75 foi a que apresentou os valores máximos, notando-se também, os respectivos desvios padrões em cada camada. Em comparação com os valores médios apresentados na figura anterior, a Figura 13 ilustra entre outras coisas, o processo de redistribuição e percolação da água através do perfil. Supondo, por exemplo, que em virtude da percolação as camadas mais profundas (1,20-1,80 m) atingissem conteúdo de umidade idêntico nos três casos, pode-se inferir que o eucalipto causa depleção mais rápida da água do solo nestas profundidades. Mas a Figura 14, por outro lado, permite observar que a depleção da água do solo nestas camadas mais profundas foi praticamente semelhante, tanto em eucalipto como na vegetação herbácea.

Os processos de depleção e de recarga da água do solo nos três casos podem ser melhor analisados através dos gráficos apresentados nas Figuras 15 e 16. Estes gráficos foram construídos a partir de leituras cuidadosamente selecionadas, conforme é explicado nos títulos das respectivas figuras. De modo geral, observa-se semelhança no processo geral de depleção da água do solo para as três situações de vegetação (Figura 15). As diferenças que se podem observar são aquelas já apontadas anteriormente. O povoamento de pinus, por exemplo, causa depleção maior na camada de 90-120 cm; o eucalipto e a vegetação herbácea causam depleção também das camadas mais profundas (de 120 cm para baixo); sendo esta ligeiramente mais acentuada para o

Figura 12: Distribuição da Água no Perfil do Solo.

Legenda: — Eucalipto
 ---- Pinus
 Vegetação Herbácea

Figura 13: Distribuição da Água no Perfil do Solo.

Períodos: 13/01/75 - leitura máxima observada.
 16/10/74 - leitura mínima observada.

Figura 14: Distribuição da Água no Perfil do Solo.
 Valores obtidos 3 dias após chuva de 28 mm (08/04/74).
 Valores obtidos 16 dias após a leitura anterior (24/04/74), sendo que não foi registrada nenhuma chuva no intervalo.

Figura 15: Depleção da Água do Solo. Período: 18/06/74 até 19/09/74.

Leitura : (1) 18/06/74: 4 dias após chuva de 70 mm.
 (2) 29/07/74: 50 mm de chuva na semana seguinte a 18/06, mas depois nenhuma chuva até esta data.
 (3) 14/08/74: nenhuma chuva desde a última data.
 (4) 03/09/74: Praticamente sem chuva desde a última data.
 (5) 19/09/74: Nenhuma chuva desde a última data.

Figura 16: Recarga da Água do Solo.

- (1) leitura de 16/10/74 (início da estação chuvosa)
- (2) leitura de 20/11/74
- (3) leitura de 12/12/74
- (4) leitura de 13/01/75

povoamento florestal do que para a vegetação herbácea. Na Figura 15 nota-se ainda que em algumas camadas, por exemplo a 120 cm de profundidade, houve ganho de umidade quando o normal seria ter havido depleção. Uma explicação que poderia ser dada a este fenômeno seria a ocorrência, nestas situações, de escoamento subsuperficial de água, pois, conforme já esclarecido, as parcelas estudadas apresentam declividade ao redor de 5%.

Na Figura 16, que ilustra o processo de recarga da água do solo, pode ser observado que a recarga das camadas superficiais se processa mais ou menos semelhante nos três casos. Já para as camadas inferiores, verifica-se que a recarga é maior em vegetação herbácea e em pinus do que em eucalipto.

As Figuras 17, 18 e 19 foram construídas com o objetivo de evidenciar as possíveis diferenças de comportamento entre os três sistemas estudados no que diz respeito ao regime de água do solo. Pela Figura 17, por exemplo, observa-se que em períodos de alta umidade no solo, havia, em geral, maior conteúdo de água no solo sob vegetação herbácea do que sob eucalipto; em períodos de baixa umidade do solo, todavia, a diferença entre os dois casos tende a desaparecer.

A Figura 18 mostra que o solo sob pinus esteve, de modo geral, ligeiramente mais úmido do que o solo sob vegetação herbácea. E a Figura 19, finalmente, permite verificar que o solo sob eucaliptos esteve, em geral, ligeiramente mais seco do que o solo sob pinus.

De acordo com um dos objetivos deste trabalho, e levando em conta os aspectos discutidos na revisão da literatura, procurou-se, utilizando os dados obtidos pelas medições da água do solo, estimar o consumo de água em cada um dos tipos de vegetação estudadas. Foi discutido na revisão da literatura que para condições semi-áridas o consumo de água do solo é simplesmente o balanço de S , ou seja, do total de água armazenada no perfil. Foi discutido, também, que para regiões de alta pluviosidade os termos R (runoff) e G (percolação profunda) da equação do balanço hídrico devem ser necessariamente conhecidos se se quizer obter estimativas razoáveis da evapotranspiração.

Por estas razões, as estimativas do consumo de água foram, neste trabalho, calculadas apenas para as estações secas compreendidas pelo período experimental, através da equação simplificada

Legenda: ----- Linha de Valores Iguais

———— $SVH = 1,053 SE - 9,589$

Figura 17: Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 m (S) entre Eucalipto e Vegetação Herbácea.

Legenda: ----- Linha de Valores Iguais.

———— $S_{VH} = 1,011 S_P - 8,473$

Figura 18: Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 m (S) entre Pinus e Vegetação Herbácea.

Legenda:----- Linha de Valores Iguais.

———— $S_p = 0,981 S_E + 16,288$

Figura 19: Comparação do Total de Água Armazenada no Perfil de 1,80 m (S) entre Eucalipto e Pinus.

da:

$$ET = P + \text{Depleção da água do solo}$$

Para este período seco do ano, a análise das Figuras 8, 10, 12 e 15 permite concluir que a percolação profunda (água gravitacional que dre na além do limite inferior do perfil do solo) pode ser desprezada. Com relação ao fator R (escoamento superficial), este também foi considerado desprezível com base no seguinte: em primeiro lugar, as parcelas continham cobertura vegetal, além da camada de detritos orgânicos que revestiam a superfície das parcelas florestadas, condições estas que favorecem melhor infiltração da água e diminuem a formação de enxurradas; em segundo, durante este período seco as condições de recebimento, ou a oportunidade de recebimento de água pelo solo é, em geral, maior. Em outras palavras, a possibilidade de ocorrência de enxurrada é, normalmente, maior quando o solo se encontra úmido do que quando seco. Em terceiro lugar, foi feita uma análise cuidadosa de todas as chuvas ocorridas durante os períodos secos considerados, verificando-se que quase todas foram chuvas relativamente pequenas e de baixa intensidade, conforme pode ser observado nas Tabelas 7, 8 e 9. Nestas, os valores da 6ª coluna referem-se ao total de chuvas ocorridas no período. Destas, por exemplo, o total de 71,2 mm verificados no primeiro período foi, na realidade, a soma de 10 chuvas pequenas; o total de 82,6 mm da 7ª linha foi, também, a soma de 10 chuvas menores, o mesmo tendo sido verificado para todos os valores maiores que 50 mm que aparecem na coluna de precipitação destas tabelas. Desta forma, a julgar pelas condições não favoráveis à formação de enxurrada do solo e em virtude das chuvas relativamente pequenas e de baixa intensidade ocorridas, considerou-se desprezível, para efeitos de estimativa da evapotranspiração, também o fator escoamento superficial.

Os resultados das estimativas do consumo de água pelas três coberturas vegetais em parte da estação seca de 1973, na estação seca de 1974, e em parte da estação seca de 1975, são apresentados na Tabela 10, onde são dadas, também, as taxas da evapotranspiração em mm/dia, além dos valores da relação ET/E_0 (Evapotranspiração/evaporação medida em tanque Classe A).

Para efeito de comparação do total consumido em toda a estação seca de 1 ano, a última linha da Tabela 10 contém os valores totais de ET apenas para o período seco de 1974, podendo-se conclu

Tabela 7: Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Eucalipto.

Período	Nº dias	ΣS_o (mm)	ΣS_f (mm)	Depleção (mm)	Precipitação no período (mm)	E_o mm/dia
<u>1973</u>						
1/6 - 5/7	35	260,5	278,4	-17,9	71,2	-
5/7 - 27/7	23	278,4	246,5	31,9	14,1	-
27/7 - 24/8	29	246,5	243,4	3,1	17,7	-
24/8 - 14/9	22	243,4	248,8	-5,4	52,3	-
<u>1974</u>						
24/4 - 10/5	17	296,0	270,4	25,6	12,5	3,0
10/5 - 29/5	20	270,4	254,6	15,8	5,7	2,9
29/5 - 18/6	21	254,6	322,5	-67,9	82,6	2,1
18/6 - 29/7	42	322,5	270,5	52,0	51,9	2,5
29/7 - 14/8	17	270,5	256,3	14,2	0,6	4,0
14/8 - 3/9	21	256,3	250,7	5,6	4,5	5,0
3/9 - 19/9	17	250,7	247,5	3,2	0,0	6,3
<u>1975</u>						
9/4 - 8/5	30	280,4	291,3	-10,9	80,8	3,5

Tabela 8: Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Pinus.

Período	Nº dias	$\sum S_o$ (mm)	$\sum S_f$ (mm)	Depleção (mm)	Precipitação no período (mm)	E_o mm/dia
<u>1973</u>						
1/6 - 5/7	35	295,9	305,6	-9,7	71,2	-
5/7 - 27/7	23	305,6	267,6	38,0	14,1	-
27/7 - 24/8	29	267,6	257,0	10,6	17,7	-
24/8 - 14/9	22	257,0	261,9	-4,9	52,3	-
<u>1974</u>						
24/4 - 10/5	17	298,5	283,3	15,2	12,5	3,0
10/5 - 29/5	20	283,3	263,8	19,5	5,7	2,9
29/5 - 18/6	21	263,8	306,8	-43,0	82,6	2,1
18/6 - 29/7	42	306,8	275,2	31,6	51,9	2,5
29/7 - 14/8	17	275,2	262,7	12,5	0,6	4,0
14/8 - 3/9	21	262,7	252,6	10,1	4,5	5,0
3/9 - 19/9	17	252,6	244,8	7,8	0,0	6,3
<u>1975</u>						
9/4 - 8/5	30	291,6	295,0	-3,4	80,8	3,5

Tabela 9: Depleção da Água do Solo, Precipitação e Evaporação de Tanque Classe A medidas em Períodos isolados da Estação Seca de 1973, 1974 e 1975. Vegetação Herbácea.

Período	Nº dias	ΣS_o (mm)	ΣS_f (mm)	Depleção (mm)	Precipitação no período (mm)	E_o mm/dia
<u>1973</u>						
1/6 - 5/7	35	233,2	319,0	-35,8	71,2	-
5/7 - 27/7	23	319,0	275,9	43,1	14,1	-
27/7 - 24/8	29	275,9	265,7	10,2	17,7	-
24/8 - 14/9	22	265,7	278,2	-12,5	52,3	-
<u>1974</u>						
24/4 - 10/5	17	270,9	249,0	21,9	12,5	3,0
10/5 - 29/5	20	249,0	237,2	11,8	5,7	2,9
29/5 - 18/6	21	237,2	316,7	-79,5	82,6	2,1
18/6 - 29/7	42	316,7	271,2	45,5	51,9	2,5
29/7 - 14/8	17	271,2	257,4	13,8	0,6	4,0
14/8 - 3/9	21	257,4	239,4	18,0	4,5	5,0
3/9 - 19/9	17	239,4	232,8	6,6	0,0	6,3
<u>1975</u>						
9/4 - 8/5	30	254,6	281,0	-26,4	80,8	3,5

Tabela 10: Consumo de Água e Taxa de Evapotranspiração por Eucalyptus saligna, por Pinus caribaea e por Vegetação Herbácea Natural, durante as estações secas de 1974 e parte das estações secas de 1973 e 1975, e Valores da Razão ET/E_0 .

Período	Eucalipto			Pinus			Veg. Herbácea		
	ET	ET	$\frac{ET}{E_0}$	ET	ET	$\frac{ET}{E_0}$	ET	ET	$\frac{ET}{E_0}$
1973	(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)	
1/6 - 5/7	53,0	1,5	-	61,5	1,8	-	35,4	1,0	-
5/7 - 27/7	46,0	2,0	-	52,1	2,3	-	57,2	2,5	-
27/7 - 24/8	66,8	2,3	-	28,3	0,9	-	27,9	1,0	-
24/8 - 14/9	46,9	2,1	-	47,4	2,1	-	39,8	1,8	-
<u>1974</u>									
24/4 - 10/5	38,1	2,2	0,73	27,7	1,6	0,53	34,4	2,0	0,66
10/5 - 29/5	21,5	1,1	0,38	25,2	1,3	0,45	17,5	0,9	0,31
29/5 - 18/6	14,7	0,7	0,33	39,6	1,9	0,90	3,1	0,2	0,09
18/6 - 29/7	103,9	2,5	1,00	83,5	1,9	0,76	97,4	2,3	0,92
29/7 - 14/8	14,8	0,9	0,23	13,1	0,8	0,20	14,4	0,8	0,20
14/8 - 3/9	10,1	0,5	0,10	14,6	0,7	0,14	22,5	1,1	0,22
3/9 - 19/9	3,2	0,2	0,03	7,8	0,4	0,06	6,6	0,4	0,06
<u>1975</u>									
9/4 - 8/5	69,9	2,3	0,66	77,4	2,5	0,71	54,4	1,8	0,51
TOTAL	488,9			478,2			410,6		
MÉDIA		1,5	0,43		1,5	0,43		1,3	0,37
$\overline{ET}^{(*)}$	:206,3			211,5			195,9		

(*) Valor de ET apenas para a estação seca de 1974

ir pela comparação destes valores que praticamente não houve diferença entre os consumos de água de eucalipto, pinus e vegetação herbácea natural naquele período.

Estes resultados coletivamente permitem verificar que os povoamentos de eucaliptos e de pinus não foram, durante o período de estudo, responsáveis por nenhum efeito adverso sobre o regime da água do solo, em comparação com aquele observado em solo revestido por vegetação herbácea natural. Nos períodos secos do ano não foi notada, além disto, diferença marcante entre o consumo de água pelos três tipos de vegetação estudadas.

5.4. Crescimento em Área Basal

A Tabela 11 contém os valores de DAP médio e de área basal para os povoamentos florestais estudados, obtidos em 8 medições trimestrais realizadas durante o período experimental:

Tabela 11: Valores de DAP médio e de Área Basal do Povoamento de Eucalipto e de Pinus, durante o período experimental.

Data	Eucalipto		Pinus	
	DAP(cm)	AB(m ² /ha)	DAP(cm)	AB(m ² /ha)
02/07/73	11,53	15,37	10,93	13,46
21/09/73	11,96	16,49	11,75	15,51
23/12/73	12,17	17,10	13,03	19,02
08/04/74	12,42	17,93	13,76	21,17
01/07/74	12,72	18,90	14,34	23,04
25/09/74	12,89	19,52	14,64	24,01
21/12/74	13,10	20,17	15,37	26,48
26/03/75	13,22	20,56	15,97	28,61

A comparação entre as duas espécies no que diz respeito ao crescimento em área basal pode ser melhor visualizada através da Figura 20. De modo geral, verifica-se que o P. caribaea var. caribaea apresentou, durante os dois anos observados, taxa de crescimento em área basal maior do que a do E. saligna. Nota-se ainda que em ambos os casos o crescimento foi contínuo durante todo o período.

O objetivo principal destas medições de diâmetro das árvores, todavia, não era o de permitir análise aprofundada do crescimento e do comportamento dos povoamentos, mas sim o de se poder obter valores comparativos entre taxa de crescimento e água disponível no solo. Estas comparações podem ser observadas na Figura 21, que apresenta os valores mensais do total de água armazenada no perfil de 1,80 m do solo (S), os valores do incremento trimestral de área basal e de DAP médio para os povoamentos de eucaliptos e de pinus. Pode-se notar que existe uma aparente relação entre a curva de incremento estacional de DAP do povoamento de pinus e a marcha anual da água no solo sob este

Figura 20: Crescimento da Área Basal Estacional dos Povoamentos de Eucaliptos e de Pinus.

Figura 21: Crescimento Acumulado de Área Basal, Incremento de DAP e Água Armazenada no Perfil do Solo durante o período experimental.

povoamento, ou seja notam-se incrementos crescentes coincidentes com os períodos de recarga da água do solo (primavera), e incrementos decrescentes durante o período de depleção da água do solo (verão e outono).

No caso do eucalipto estas relações não são tão aparentes, a não ser no período de junho de 1974 a março de 1975. Neste mesmo período pode-se, também, observar alguma semelhança no padrão de crescimento entre as duas espécies. Comparando-se os dois períodos de verão (1973-1974 e 1974-1975), observa-se que o mês de fevereiro de 1974 foi relativamente seco. Este período anormalmente seco refletiu-se no regime de água do solo sob o povoamento de eucalipto, conforme já discutido, observando-se que durante os meses de janeiro e fevereiro de 1974 o solo sob eucaliptos se encontrava comparativamente mais seco do que o solo sob pinus. Isto, de certa forma, pode explicar o incremento decrescente de diâmetro do povoamento de eucalipto observado durante o trimestre setembro-dezembro de 1973. Nota-se que a água do solo sob eucalipto reagiu marcadamente às chuvas pesadas ocorridas em março e em junho de 1974, refletindo num incremento crescente do DAP desde dezembro de 1973 até junho de 1974.

De modo geral, observa-se diminuição, mas não cessação, do crescimento durante o período seco do ano. Aparentemente, ambas as espécies estudadas reassumem o estágio de crescimento mais acelerado a partir do início da primavera, atingindo um máximo por ocasião do início ou meados do verão, decrescendo desta data até fins do inverno.

5.5. Efeitos Sobre a Qualidade da Água

Devido a atraso na aquisição dos instrumentos necessários, os aspectos relativos à qualidade da água só puderam ser estudados a partir de outubro de 1974. Os resultados aqui apresentados, portanto, referem-se à média de 18 chuvas medidas no verão 1974-1975.

As tabelas 12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24 e 25 contêm os dados de pH, turbidez, condutividade, sólidos totais dissolvidos, cor e alcalinidade dos 5 tratamentos estudados, quais sejam, água da chuva, água da precipitação interna em eucaliptos e em pinus, e água do escoamento pelo tronco, também de eucalipto e de pinus, assim como as análises da variância respectivas.

A fim de detectar possíveis diferenças entre as duas espécies no que diz respeito a alteração da qualidade da água da chuva, bem como testar se esta alteração seria diferente entre os processos "precipitação interna" e "escoamento pelo tronco", inicialmente analisou-se os dados através do esquema fatorial 2×2 . Para as análises de variância com a interação "espécies x processos" significativa, procedeu-se ao desdobramento dos graus de liberdade respectivos.

Para facilitar a comparação entre as médias dos vários tratamentos relativos aos seis aspectos qualitativos estudados, foi elaborada a Tabela 26. Nesta tabela as médias significativamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade encontram-se unidas por um segmento de reta.

O pH da água da chuva gira, em condições normais, ao redor de 5,6 (HEM, 1970). Para a maioria das águas naturais (um rio não poluído, por exemplo) o valor do pH varia de 6,0 - 8,5 (HEM, 1970). Pela análise das Tabelas 12,13,14 e 26, verifica-se que tanto o povoamento de eucalipto como o de pinus causaram alteração significativa no pH da água da chuva que passou por suas copas. Observa-se também que a alteração foi diferente entre o escoamento pelo tronco de eucalipto e o escoamento pelo tronco de pinus, mas não houve diferença entre os valores médio de pH da precipitação interna nas duas espécies. Para cada espécie houve diferença significativa entre o pH dos processos escoamento pelo tronco e precipitação interna.

A turbidez é uma medida óptica das partículas em

Tabela 12: Valores de pH para chuva, precipitação interna de Eucalipto (E-PI), Pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(*)	E-Et(**)	P-Et(**)	E-PI(**)	P-PI(**)
1974:	16/10	5,5	5,2	5,3	6,0	6,0
	29/10	5,6	5,5	5,4	6,1	5,8
	13/11	5,1	5,0	5,2	6,4	6,1
	21/11	5,0	5,0	5,2	5,8	5,8
	28/11	5,4	5,6	5,4	5,9	6,0
	11/12	5,5	5,3	5,0	6,1	5,9
	16/12	6,2	5,4	5,4	6,2	6,1
	20/12	5,3	5,2	5,1	6,2	6,1
1975:	06/01	5,9	6,5	5,3	7,3	7,0
	10/01	6,4	6,4	5,3	6,8	6,9
	13/01	5,6	6,6	5,8	6,7	6,9
	03/02	4,5	5,1	4,8	6,2	6,0
	06/02	5,1	6,3	5,7	6,9	6,7
	19/02	4,5	5,1	4,3	6,0	6,2
	24/02	4,9	5,4	4,6	5,6	5,9
	26/02	4,9	5,8	5,0	6,5	6,1
	03/03	4,6	5,3	4,5	6,4	5,9
	08/03	3,9	4,9	3,8	5,5	5,2
$\bar{x}$		5,2	5,5	5,1	6,3	6,1
s		0,62	0,56	0,50	0,46	0,46
Max.		6,4	6,6	5,8	7,3	7,0
Min.		3,9	4,9	3,8	5,5	5,2

(*) médias de 2 amostras

(**) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 0,4

Tabela 13: Análise da Variância para os dados de pH.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies dentro de Et	1	2,0070	2,0070	21,5113 某某
Espécies dentro de PI	1	0,1111	0,1111	1,1908 N.S.
Processos	1	14,6701	14,6701	157,2358 某某
(Fatorial)	(3)	16,7882	5,5961	—
Testemunha x Fatorial	1	4,0747	4,0747	43,6731 某某
Tratamentos	(4)	20,8629	5,2157	55,9025 某某
Blocos	17	17,0716	1,0042	10,7631 某某
Resíduo	68	6,3451	0,0933	—
Total	89	44,2796	—	—

Tabela 14: Análise da Variância para os dados de pH.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Processos dentro de E.	1	4,6944	4,6944	50,3151 **
Processos dentro de P.	1	10,5625	10,5625	113,2101 **
Espécies	1	1,5313	1,5313	16,4126 **
(Fatorial)	(3)	16,7882	5,5961	-
Testemunha x Fatorial	1	4,0747	4,0747	43,6731 **
Tratamentos	(4)	20,8629	5,2157	55,9025 **
Blocos	17	17,0716	1,0042	10,7631 **
Resíduo	68	6,3451	0,0933	-
Total	89	44,2796	-	-

Tabela 15: Valores de turbidez para chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(*)	E-Et(**)	P-Et(**)	E-PI(**)	P-PI(**)
Unidade de turbidez - FTU						
1974:	16/10	10,0	24,8	11,7	17,0	11,6
	29/10	0,7	4,6	3,1	2,9	3,5
	13/11	1,8	3,1	3,0	6,0	3,3
	21/11	3,6	5,4	5,7	6,0	7,8
	28/11	3,6	3,3	2,5	2,5	1,9
	11/12	5,6	6,7	5,9	6,6	6,6
	16/12	1,3	3,1	1,8	4,1	3,2
	20/12	0,26	2,0	3,9	2,3	3,5
1975:	06/01	0,35	0,6	1,6	3,8	2,1
	10/01	0,53	2,6	3,2	7,3	5,0
	13/01	0,42	1,3	1,8	1,6	3,1
	03/02	0,84	2,9	1,9	3,4	2,9
	06/02	0,34	2,9	1,9	2,7	2,2
	19/02	0,9	3,4	4,2	3,5	2,2
	24/02	0,61	1,2	2,0	1,9	1,1
	26/02	0,57	2,2	4,3	2,2	2,1
	03/03	0,98	4,9	14,4	3,0	2,8
	08/03	2,2	3,6	3,2	4,8	3,7
$\bar{x}$		1,9	4,4	4,2	4,5	3,8
s		2,5	5,3	3,5	3,5	2,6
Max.		10,0	24,8	14,4	17,0	11,6
Min.		0,26	0,6	1,6	1,6	1,1

(*) médias de 2 amostras

(**) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 2,5

Tabela 16: Análise da Variância para os dados de Turbidez.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies	1	3,3368	3,3368	0,7937 NS
Processos	1	0,2813	0,2813	0,0669 NS
Int. E x P	1	1,5313	1,5313	0,3642 NS
(Fatorial)	(3)	5,1494	1,7165	-
Testemunha x Fatorial	1	77,0063	77,0063	18,3170 555
Tratamentos	(4)	82,1556	20,5389	4,8854 555
Blocos	17	831,7214	48,9248	11,6374 555
Resíduo	68	285,8796	4,2041	-
Total	89	1.199,7566	-	-

Tabela 17: Valores de Condutividade Específica para Chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI), e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(※)	E-Et(※※)	P-Et(※※)	E-PI(※※)	P-PI(※※)
		Junho				
1974:	16/10	24,0	362,5	76,0	61,3	30,3
	29/10	11,2	228,0	54,8	30,0	17,8
	13/11	36,0	206,3	85,0	72,7	35,0
	21/11	12,4	59,3	20,9	27,3	17,1
	28/11	12,5	21,8	22,8	18,5	11,6
	11/12	25,0	27,8	28,7	29,3	20,8
	16/12	14,5	28,5	17,8	21,5	13,0
	20/12	17,●	56,3	42,8	22,0	13,0
1975:	06/01	11,3	25,5	17,6	13,1	8,2
	10/01	15,5	34,8	25,2	19,0	11,1
	13/01	11,2	23,7	15,8	12,6	12,3
	03/02	14,0	22,0	18,6	21,1	13,4
	06/02	13,6	15,1	15,4	16,0	9,6
	19/02	17,1	44,8	36,3	38,3	16,9
	24/02	12,6	22,2	20,2	18,5	9,7
	26/02	19,0	47,5	33,3	25,3	16,1
	03/03	26,0	80,5	55,5	39,0	22,3
	08/03	25,0	57,8	41,3	38,8	29,3
$\bar{x}$		17,7	75,8	34,9	29,1	17,1
s		6,9	93,6	20,9	16,1	7,7
Max.		36,0	362,5	85,0	72,7	35,0
Min.		11,2	15,1	15,4	12,6	8,2

(※) médias de 2 amostras

(※※) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 46,4

Tabela 18: Análise da Variância para os dados de Condutividade Específica.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies	1	12.619,3089	12.619,3089	8,5725 **
Processos	1	18.708,2272	18.708,2272	12,7088 **
Int. B x P	1	3.749,7800	3.749,7800	2,5473 NS
(Fatorial)	(3)	35.077,3161	11.692,4387	-
Testemunha x Fatorial	1	6.696,0188	6.696,0188	4,5487 *
Tratamentos	(4)	41.773,3349	10.443,3337	7,0944 **
Blocos	17	62.556,8726	3.679,8160	2,4998 **
Resíduo	68	100.100,2891	1.472,0631	-
Total	89	204.430,4966	-	-

Tabela 19: Valores de Sólidos Totais Dissolvidos para chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(☿)	E-Et(☿☿)	P-Et(☿☿)	E-PI(☿☿)	P-PI(☿☿)
		mg/l de CaCO_3				
1974:	16/10	9,5	147,5	30,3	24,6	12,3
	29/10	4,5	89,8	21,9	12,3	7,1
	13/11	14,0	83,7	34,2	29,0	13,8
	21/11	4,9	23,8	8,3	12,9	6,8
	28/11	5,0	8,7	9,0	7,4	4,7
	11/12	10,0	13,1	11,4	11,6	8,3
	16/12	5,7	11,3	7,1	8,6	5,2
	20/12	6,8	22,4	17,1	8,8	5,2
1975:	06/01	6,2	13,9	9,9	7,5	4,4
	10/01	4,5	10,2	7,0	5,2	3,3
	13/01	4,2	9,4	6,3	5,0	4,9
	03/02	5,6	8,8	7,3	8,4	5,3
	06/02	5,4	6,0	5,9	6,5	4,1
	19/02	6,8	17,8	14,4	15,3	6,8
	24/02	5,0	8,8	8,1	7,6	3,9
	26/02	7,6	19,5	13,6	10,0	6,4
	03/03	10,3	32,3	22,0	15,5	8,9
	08/03	10,0	23,2	16,4	15,5	11,7
$\bar{x}$		7,0	30,6	13,9	11,8	6,8
s		2,7	37,8	8,4	5,3	3,1
Max.		14,0	147,5	34,2	29,0	13,8
Min.		4,2	6,0	5,9	5,0	3,3

(☿) médias de 2 amostras

(☿☿) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 18,7

Tabela 20: Análise da Variância para os dados de Sólidos Totais Dissolvidos.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.N.	F
Espécies	1	2.097,36	2.097,36	8,72 **
Processos	1	3.010,88	3.010,88	12,52 **
Int. E x P	1	620,69	620,69	2,58 NS
(Fatorial)	(3)	5,728,93	1.909,64	-
Testemunha x Fatorial	1	1.106,70	1.106,70	4,60 **
Tratamentos	(4)	6.835,64	1.708,91	7,11 *
Blocos	12	10.155,70	597,39	2,48 **
Resíduo	68	16.347,82	240,41	-
Total	89	33.339,16	-	-

Tabela 21: Valores de Cor para chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(*)	E-Et(**)	P-Et(**)	E-PI(**)	P-PI(**)
Unidade Platino-cobalto de cor						
1974:	16/10	50,0	2.173,8	136,3	171,3	75,0
	29/10	0	623,8	62,5	62,5	25,0
	13/11	5,0	849,2	118,3	158,3	40,0
	21/11	35,0	631,3	71,3	116,3	65,0
	28/11	20,0	118,8	32,5	57,5	17,5
	11/12	60,0	121,3	66,7	101,3	80,0
	16/12	10,0	310,0	51,3	82,5	53,8
	20/12	0	227,5	40,0	60,0	28,8
1975:	06/01	5,0	181,3	45,0	130,0	31,3
	10/01	15,0	191,3	33,8	58,8	37,5
	13/01	15,0	265,0	11,3	23,8	27,5
	03/02	10,0	80,0	32,5	76,3	42,5
	06/02	5,0	76,3	31,3	77,5	48,8
	19/02	●	216,3	51,3	77,5	13,8
	24/02	5,0	71,3	40,0	38,8	15,0
	26/02	20,0	110,0	87,5	51,3	37,5
	03/03	10,0	253,8	180,0	52,5	38,8
	08/03	5,0	206,9	30,0	51,3	20,0
$\bar{x}$		15,0	372,7	62,3	80,4	38,8
s		17,1	499,1	43,3	40,4	19,6
Max.		60,0	2.173,8	180,0	171,3	80,0
Min.		0	71,3	11,3	23,8	13,8

(*) médias de 2 amostras

(**) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 262,1

Tabela 22: Análise da Variância para os dados de Cor.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies dentro de Et	1	866.854,1025	866.854,1025	18,4383 **
Espécies dentro de PI	1	15.612,5025	15.612,5025	0,3321 NS
Processos	1	448.751,8005	448.751,8005	9,5451 **
(Fatorial)	(3)	1.331.218,4050	443.739,4683	-
Testemunha x Fatorial	1	219.770,7420	219.770,7420	4,6746 *
Tratamentos	(4)	1.550.989,1480	387.747,2870	8,2475 **
Blocos	17	1.108.376,9180	65.198,6422	1,3868 NS
Resíduo	68	3.196.929,4080	47.013,6673	-
Total	89	5.856.295,4740	-	-

Tabela 23: Análise da Variância para os dados de Cor.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Processos dentro de E.	1	768.661,3378	768.661,3378	16,3497 **
Processos dentro de P.	1	4.989,0678	4.989,0678	0,1061 NS
Espécies	1	557,5680	557,5680	11,8600 **
(Fatorial)	(3)	1.331.218,4050	443.739,4683	-
Testemunha x Fatorial	1	219.770,7420	219.770,7420	4,6746 *
Tratamentos	(4)	1.550.989,1480	387.747,2870	8,2475 **
Blocos	17	1.108.376,9180	65.198,6422	1,3868 NS
Resíduo	68	3.196.929.4080	47.013,6678	-
Total	89	5.856.295,4740	-	-

Tabela 24: Valores de Alcalinidade para a chuva, precipitação interna em eucalipto (E-PI), pinus (P-PI) e escoamento pelo tronco em eucalipto (E-Et) e pinus (P-Et).

Data da amostra		Chuva(×)	E-Et(××)	P-Et(××)	E-PI(××)	P-PI(××)
		mg/l de CaCO ₃				
1975:	06/01	34,0	114,5	47,3	126,5	68,8
	10/01	41,5	127,0	38,4	59,9	55,6
	13/01	53,0	114,0	42,3	69,8	66,5
	03/02	43,0	58,9	30,9	72,3	62,5
	06/02	54,0	59,0	23,0	65,5	52,5
	19/02	25,0	37,0	12,0	76,0	50,3
	24/02	32,0	35,3	13,0	51,5	31,3
	26/02	31,5	66,1	24,6	62,8	47,1
	03/03	27,0	114,3	37,5	77,5	58,1
	08/03	19,5	87,3	18,8	66,6	57,3
x̄		36,1	81,3	28,8	72,8	55,0
s		11,6	34,5	12,4	20,4	10,8
Max.		54,0	127,0	47,3	126,5	68,8
Min.		19,5	35,3	12,0	51,5	31,3

(×) médias de 2 amostras

(××) médias de 4 amostras

d.m.s. a 5% entre datas: 26,2

Tabela 25: Análise da Variância para os dados de Alcalinidade.

Causa de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	
Espécie dentro de Et	1	13.786,50	13.786,50	52,83	***
Espécie dentro de P	1	1.591,32	1.591,32	6,10	*
Processos	1	780,57	780,57	2,99	N.S.
(Fatorial)	(3)	16.158,39	5.386,13	-	
Testemunha x Fatorial	1	4.400,16	4.400,16	16,86	***
Tratamentos	(4)	20.558,56	5.139,64	19,69	***
Blocos	9	8.682,57	964,73	3,70	***
Resíduo	36	9.395,13	260,98	-	
Total	49	38.636,26	-	-	

Tabela 26: Comparação dos Aspectos Qualitativos entre Chuva, Precipitação Interna em Eucalipto (E-PI), Pinus (P-PI), e Escoamento pelo Tronco em Eucalipto (E-Et) e Pinus (P-Et). As médias significativamente diferentes ao nível de 5% de probabilidade são unidas por uma linha.

Aspectos Tratamento	pH(≡)	Turbidez (FTU)	Condutiv- idade Espe- cífica (μmho)	Sólidos Totais Dis- solvidos (mg/l CaCO ₃)	Cor (UPC)	Alcali- nidade (≡≡) (mg/l CaCO ₃)
Chuva	5,2	1,9	17,7	7,0	15,0	36,1
E-Et	5,5	4,4	75,8	30,6	372,7	81,3
P-Et	5,1	4,2	34,9	13,9	62,3	28,8
E-PI	6,3	4,5	29,1	11,8	80,4	72,8
P-PI	6,1	3,8	17,1	6,8	38,8	55,0

(≡) Valores representam médias de 4 repetições e de 18 medições realizadas durante o verão 1974-1975.

(≡≡) Média de 4 repetições, mas apenas de 10 medições.

suspensão na água, ou seja é uma medida da redução de transparência causada pela presença de materiais em suspensão, incluindo partículas orgânicas, inorgânicas e mesmo organismos vivos. Para a água potável o limite máximo de turbidez permitido é 5 (U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE, 1962). De acordo com as Tabelas 15, 16 e 26, observa-se que também para este fator houve influência significativa causada pelas duas espécies florestais, ou seja tanto o eucalipto como o pinus alteraram significativamente a turbidez da água da chuva. No caso do povoamento de pinus, apenas a água do escoamento pelo tronco apresentou maior turbidez do que a água da chuva, sendo que não houve diferença significativa entre a chuva e a precipitação interna. Os processos (PI e Et) não diferiram entre si dentro de uma mesma espécie, e as espécies também não se mostraram diferentes em cada processo individualmente. Na Tabela 15 pode-se observar que as primeiras chuvas da estação chuvosa, ou ainda as chuvas que ocorrem após prolongados períodos secos apresentam, em geral, maior quantidade de partículas em suspensão após penetrar pela vegetação.

No que diz respeito a condutividade específica, pode-se entender este fator como sendo a capacidade que uma solução apresenta de conduzir a corrente elétrica. Quanto mais concentrada a solução, isto é, quanto maior a quantidade de íons presentes, maior é a condutividade. Esta, portanto, representa uma medida da concentração iônica da solução. Em teoria, a água pura apresentaria condutividade da ordem de alguns centésimos de μmho . A água da chuva, por conter naturalmente muitos gases e partículas dissolvidas, apresenta condutividade maior que a água destilada. A condutividade da água do mar está ao redor de 50.000 μmho . De modo geral as águas naturais apresentam valores de condutividade específica variando de 10-1000 μmho (HEM, 1970). De acordo com os resultados das Tabelas 17, 18 e 26, verifica-se que apenas o eucalipto, particularmente o escoamento pelo tronco nesta espécie, apresentou condutividade média significativamente maior do que a água da chuva. A condutividade da precipitação interna em eucalipto foi significativamente menor do que a condutividade do escoamento pelo tronco. No caso dos pinus não houve diferença significativa entre a condutividade média de PI e de Et. Pelos resultados contidos na Tabela 17, verifica-se ainda que a lavagem (solubilização de íons) é significativamente maior pelas primeiras chuvas de outubro, ou seja pelas chuvas ocorridas após prolongado período seco.

A expressão Sólidos Totais Dissolvidos (STD) refere-se à soma de todos os compostos em solução na água. De acordo com os critérios da U.S.PUBLIC HEALTH SERVICE (1962), o máximo valor de STD permitido em água potável é de 500 mg/l. Pelo fato de o STD neste estudo ter sido obtido a partir dos dados de condutividade (esta dá apenas uma indicação de STD, (HEM, 1970)), era de se esperar que os resultados fossem similares, conforme pode ser observado nas Tabelas 19, 20 e 26. As mesmas considerações apresentadas para a discussão dos resultados de condutividade valem, conseqüentemente, também para os resultados de sólidos totais dissolvidos.

Com relação à cor, este parâmetro qualitativo serve apenas como indicador da presença em solução de compostos principalmente orgânicos que podem produzir coloração. Os critérios de potabilidade da U.S.PUBLIC HEALTH SERVICE (1962) permitem um máximo de 15 unidades de cor na água. Os resultados das Tabelas 21, 22, 23 e 26 permitem concluir que apenas a espécie eucalipto, particularmente através do processo de escoamento pelo tronco, apresentou valor médio de cor significativamente maior que a água da chuva. A cor média da água de escoamento pelo tronco em eucalipto foi também significativamente maior do que a cor da água da precipitação interna nesta espécie, e ainda significativamente maior que a cor do escoamento pelo tronco e da precipitação interna registradas para a espécie pinus. Os valores de cor do escoamento pelo tronco e da precipitação interna em pinus não foram diferentes entre si, nem tampouco diferentes daquele verificado para a chuva. Merece destaque neste particular os valores altos de cor registrados para o processo de escoamento pelo tronco em eucalipto (Tabela 21), indicando que este processo nesta espécie parece estar associado à lavagem acentuada de componentes orgânicos responsáveis pela coloração forte da água.

A alcalinidade, do ponto de vista químico, diz respeito à capacidade que a solução apresenta de neutralizar ácidos. Muitos compostos podem contribuir para a alcalinidade da água. Em condições naturais, a maior parte da alcalinidade resulta do equilíbrio com o CO₂ atmosférico. Em condições particulares, após a interação com a vegetação, por exemplo, pode haver também contribuição de ácidos orgânicos e vários tipos de materiais dissolvidos ou em suspensão. Pelo exame das Tabelas 24, 25 e 26, verifica-se que apenas a espécie euca-

lipto apresentou, tanto a precipitação interna como escoamento pelo tronco, valores de alcalinidade significativamente maiores que a alcalinidade média da água da chuva. Não houve diferença significativa entre os processos na espécie eucalipto. Para o caso dos pinus, a alcalinidade média da precipitação interna foi significativamente maior que a do escoamento pelo tronco, mas ambas não diferiram da alcalinidade média da chuva.

Estes resultados, coletivamente, permitem afirmar que o povoamento de eucaliptos causou, de modo geral, alteração qualitativa da água da chuva ligeiramente maior do que o povoamento de pinus, no que diz respeito aos parâmetros estudados. Esta alteração foi mais acentuada para o processo escoamento pelo tronco do que para a precipitação interna. O pH do escoamento pelo tronco em pinus foi ligeiramente, mas não significativamente menor do que o pH da água da chuva. Os resultados, ainda, confirmam as referências na literatura de que as coníferas, em geral, são melhores recomendadas para plantio em locais onde a vegetação pode contribuir para a deterioração estética de superfícies líquidas (na orla de reservatórios, por exemplo).

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho se refere ao estudo de alguns aspectos do balanço hídrico realizado em três tipos de cobertura vegetal: uma plantação de Eucalyptus saligna, Smith de 5-6 anos de idade, uma plantação de Pinus caribaea, Morelet var. caribaea, também com idade de 5-6 anos, e uma parcela contendo vegetação herbácea natural, todas situadas no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, São Paulo.

Nestes três diferentes ecossistemas, os seguintes componentes do ciclo da água foram medidos durante 2 anos consecutivos, de junho de 1973 a maio de 1975: a) precipitação; b) evaporação em tanque Classe A; c) precipitação interna; d) escoamento pelo tronco; e) água do solo; f) DAP estacional das árvores. Estes parâmetros quantitativos permitiram o cálculo das perdas por interceptação nas florestas de eucaliptos e de pinus, do consumo de água pelas três diferentes vegetações durante a estação seca do ano, a determinação do regime anual da água do solo nos três sistemas, e a verificação das relações entre o crescimento radial e os povoamentos florestais e a quantidade de água disponível no solo. Além disto, em amostras de água da chuva, da água da precipitação interna nos povoamentos florestais, e em água resultante do processo de escoamento pelo tronco, foram, também, realizadas análises dos seguintes parâmetros de qualidade da água: pH, turbidez, condutividade, cor, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade.

A precipitação foi medida em um pluviógrafo e um pluviômetro instalados na parcela com vegetação herbácea. Também nesta parcela foi instalado o tanque Classe A para a medição da evaporação. A precipitação interna foi medida utilizando-se interceptômetros com área de captação de 127 cm^2 . O escoamento pelo tronco foi medido por meio de dispositivos colocados ao redor do tronco das árvores. A água do solo foi medida através do método de moderação de neutrons, em três tubos de alumínio em cada tipo de vegetação, até a profundidade de 2 metros. Os parâmetros qualitativos foram determinados em laboratório, de acordo com os procedimentos padronizados da AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1949). A estimativa do consumo de água foi restrita apenas aos períodos secos do ano, e foi baseada na equação: Evapotranspi-

ração = Precipitação + variação do armazenamento da água do solo ($ET = P + \Delta S$).

De acordo com os resultados obtidos, e considerando as condições de clima e de solo da área experimental, bem como as condições dos povoamentos florestais e da vegetação herbácea estudados, as seguintes conclusões podem ser estabelecidas:

1. A interceptação média da água da chuva causada pelo povoamento de eucaliptos foi de 12,4%, enquanto que o povoamento de pinus apresentou interceptação média de 7,2%.
2. O escoamento pelo tronco foi quantitativamente maior no eucalipto do que no pinus (4,2% e 3,0% respectivamente).
3. A precipitação interna, por outro lado, foi maior no povoamento de pinus (90,4%), do que no povoamento de eucalipto (83,6%).
4. As equações de regressão que permitem a estimativa da precipitação interna (PI), do escoamento pelo tronco (Et) e da precipitação efetiva (PE) a partir da medição da precipitação no aberto (PT), para eucalipto (E) e para pinus (P) são as seguintes:

$$PI_E = 0,890(PT) - 0,530$$

$$PI_P = 0,938(PT) - 0,570$$

$$Et_E = 0,053(PT) - 0,060$$

$$Et_P = 0,025(PT) + 0,139$$

$$PE_E = 0,939(PT) - 0,629$$

$$PE_P = 0,978(PT) - 0,596$$

5. Considerando a precipitação média anual verificada no período experimental, os valores de interceptação média determinados para os povoamentos florestais correspondem a uma perda média anual de 174 mm de água pelo eucalipto, e 101 mm pelo povoamento de pinus.
6. De modo geral, sempre houve água disponível no solo nas três condições de vegetação estudadas, a não ser nos meses de agosto e setembro, quando o conteúdo de umidade esteve próximo ou abaixo do conteúdo correspondente a 15 atmosferas de pressão.
7. A análise do regime anual, ou da marcha anual da água do solo sob eucalipto, sob pinus e sob vegetação herbácea natural mostrou que

praticamente não houve diferenças marcantes no regime da água do solo entre estas três coberturas vegetais.

8. Em termos médios, o solo sob eucalipto apresentou-se ligeiramente mais seco do que o solo sob vegetação herbácea natural durante as épocas de alta umidade no solo, ao passo que para os períodos nos quais o solo apresentou-se mais seco, o reverso foi verificado.
9. Já o solo sob o povoamento de pinus apresentou-se, em geral, ligeiramente mais úmido do que o solo sob vegetação herbácea, e também ligeiramente mais úmido do que o solo sob eucalipto.
10. Comparando o regime anual médio da água do solo, notou-se que o solo sob vegetação herbácea apresentou-se mais úmido do que os outros dois durante o período de recarga da água do solo (setembro-fevereiro); durante o período de depleção da água do solo (março-agosto) o reverso parece ser verdadeiro.
11. A maior diferença verificada entre os conteúdos médios de água no solo nos três sistemas estudados ocorreu nos meses de verão, quando o solo sob eucalipto se apresentou bem mais seco do que os demais.
12. A comparação dos regimes anuais nas diferentes camadas do solo mostrou que as camadas superficiais (0-90 cm) foram as que apresentaram maior flutuação mensal de conteúdo de umidade. Nas camadas mais profundas (90 até 180 cm) estas flutuações foram significativamente menos acentuadas.
13. O povoamento de pinus causou, em geral, maior depleção da água do solo apenas nas camadas de 90-120 cm, dando alguma indicação de uma maior concentração de raízes nesta profundidade. Já o povoamento de eucalipto e a vegetação herbácea natural causaram maior depleção nas camadas mais profundas, depleção esta ligeiramente maior para o eucalipto.
14. Pela análise da amplitude máxima de variação da água do solo nas três parcelas estudadas, verificou-se que a recarga da água do solo foi maior na vegetação herbácea, depois em pinus, depois em eucalipto. Estas diferenças de recarga da água do solo foram proporcionais às diferentes perdas médias por interceptação nos povoamentos florestais.
15. As estimativas do consumo de água dos dois povoamentos florestais,

assim como da vegetação herbácea natural deram como resultados para a estação seca (maio a setembro) de 1974 os seguintes valores: eucalipto: 206,3 mm; pinus: 211,5 mm; vegetação herbácea: 195,9 mm. Os valores da taxa de evapotranspiração em mm/dia foram, respectivamente: 1,5, 1,5 e 1,3. E os valores da relação ET/E_0 foram, respectivamente: 0,43, 0,43 e 0,37.

16. Os resultados, coletivamente, permitem afirmar que não houve efeito adverso sobre o regime da água do solo como decorrência do plantio de eucalipto ou de pinus, em comparação com o regime observado em solo revestido por vegetação herbácea natural.
17. Durante o período experimental, a área basal do povoamento de eucaliptos passou de 15,37 m²/ha, no início do experimento, para 20,56 m²/ha ao fim do período. Para o povoamento de pinus, o crescimento observado foi de 13,46 m²/ha para 28,61 m²/ha. Pode ser notada uma aparente correspondência entre os acréscimos estacionais do DAP médio dos povoamentos e as variações da água disponível no solo, notando-se incrementos crescentes durante o período de recarga da água do solo, e incrementos decrescentes durante o período de depleção, principalmente para o caso dos pinos.
18. A análise estatística dos parâmetros de qualidade da água estudados, revelou, de modo geral, que o povoamento de eucalipto foi responsável por uma alteração maior da qualidade da água da chuva do que o de pinus. Esta alteração foi principalmente devida a interação da água da chuva com a vegetação através do processo de escoamento pelo tronco.
19. Tanto o pH da precipitação interna como o do escoamento pelo tronco em eucalipto foram maiores que o pH da água da chuva. No caso do pinus, o pH do escoamento pelo tronco foi significativamente menor do que o pH da água da chuva, mas o pH da precipitação interna foi significativamente maior.
20. Quanto aos parâmetros turbidez, condutividade, cor, sólidos totais dissolvidos e alcalinidade, apenas os valores medidos no povoamento de eucalipto foram significativamente maiores que aqueles medidos na água da chuva. Os valores destes parâmetros no povoamento de pinus não diferiram estatisticamente daqueles observados na água da chuva.

7. SUMMARY

This thesis is related to a water balance study carried out in three different vegetations: a plantation of Eucalyptus saligna, Smith, a plantation of Pinus caribaea Morclet var. caribaea, both 5-6-year old, and a plot with natural herbaceous vegetation, all located on the campus of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, state of São Paulo.

In these ecosystems the following components of the water cycle have been measured during two consecutive years, from June 1973 to May 1975: a) gross precipitation; b) Class A pan evaporation; c) throughfall; d) stemflow; e) soil water; f) seasonal variation of trees d.b.h. These measurements were used for the calculation of the interception loss by the forest stands, and the water consumption by each of the three vegetation covers during the dry season; they also served to examine the relationships between the stands radial growth and the water available in the soil, and to determine the annual range of soil moisture as related to the three different vegetations. Besides these quantitative measurements, samples of water of gross precipitation, throughfall and stemflow were taken after each rain and analysed for pH, turbidity, conductivity, color, total dissolved solids, and alkalinity.

Gross precipitation was sampled in a recording rain gauge and a standard, non-recording rain gauge, both installed in the open (at the natural herbaceous vegetation plot). Also in this plot was placed the Class A pan evaporimeter. Throughfall was measured in each stand by randomly locating twelve 127 cm² gages. These gages were relocated periodically during the study period. Stemflow was measured by sealing narrow rubber collars to tree trunks, which caught down-flowing water and conducted it to storage, plastic containers. Soil water was measured monthly using the neutron scattering technique, to a depth of 1.80 meters. The water quality parameters were analysed according to standard methods (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1949). The water consumption was estimated only during the dry season, according to the simplified equation $\text{Evapotranspiration} = \text{Precipitation} + \text{soil water depletion}$ ($ET = P + \Delta S$).

The results obtained were as follows:

1. Interception loss in the eucalyptus stand amounted to 12,4%, as an average value for the period studied. For the pine stand interception loss was 7,2%.
2. Stemflow was quantitatively higher in the eucalyptus stand than in the pine (4,2% against 3,0%, respectively).
3. Throughfall, on the other hand, was higher in pine than in eucalyptus (90,4% and 83,6%, respectively).
4. Regression equations relating gross precipitation (PG) with throughfall (T) stemflow (S) and net precipitation (PN) for both eucalyptus (E) and pine (Pi) stands are:

$$T_E = 0,890(PG) - 0,530$$

$$T_{Pi} = 0,938(PG) - 0,570$$

$$S_E = 0,053(PG) - 0,060$$

$$S_{Pi} = 0,025(PG) + 0,139$$

$$PN_E = 0,939(PG) - 0,629$$

$$PN_{Pi} = 0,978(PG) - 0,596$$

5. Taking into account the amount of the average annual precipitation measured during the study period, interception loss in eucalyptus was equivalent to a loss of 174 mm of water, and in pine, to a loss of 101 mm of water.
6. In general there was water available in the soil over the entire period in all three vegetation conditions; only during the months of august and september did the water in the soil reach tension below 15 atm.
7. The analysis of the annual range of soil water in eucalyptus, pine, and in natural herbaceous vegetation did not show any significant difference in the soil water regime among the vegetation covers studied.
8. On the average the soil under eucalyptus was slightly drier than the soil under herbaceous vegetation during the periods of normally high water content; on the contrary, during those parts of the year when the soil is normally dry, the opposite was true.
9. The soil under pines was, in general, more unid than those under eucalyptus, and under herbaceous vegetation.

10. The analyses of the data about the average soil water regime for the year showed that the soil under herbaceous vegetation was, in general, more unid than the soils under eucalyptus and pine during the period of soil water recharge (september through february); during the period of soil water depletion, the opposite was true.
11. The greater difference in soil moisture content among the three cover conditions occurred during the summer months, when the soil under eucalyptus was drier than the others.
12. Considering the moisture regime in each of the soil layers studied, higher fluctuations of moisture occurred mainly in the upper soil layers (0-90 cm).
13. The pine stands caused considerably higher depletion of moisture in the layers of 90-120 cm, indicating an apparent root concentration in this depth. The eucalyptus stand and also the herbaceous vegetation caused greater depletion of moisture in deeper layers, this depletion being higher for the forest stand.
14. Soil water recharge in herbaceous vegetation was higher than in pine, and both were higher than in eucalyptus. These differences in soil water recharge were proportionate to the interception losses in the forest stands.
15. For the dry period of may through september, 1974, the estimated values of evapotranspiration were as follows: eucalyptus: 206,3 mm; pine: 211,5 mm; herbaceous vegetation: 195,9 mm. The values of evapotranspiration rates (mm/day) were 1,5, 1,5 and 1,3, and the ratios ET/E_0 (evapotranspiration/Class A pan evaporation) were 0,43, 0,43 and 0,37, for eucalyptus, pine and herbaceous vegetation.
16. These results collectively permit the conclusion that there were no adverse effects on the soil water regime which could be ascribed to the plantation of eucalyptus or pine, as compared with that observed for the natural herbaceous vegetation.
17. During the study period, basal area of the eucalyptus stand changed from 15,37 m²/ha, in the beginning, to 20,56 m²/ha at the end. Basal area in pine changed from 13,46 m²/ha to 28,61 m²/ha during the same period. An apparent correspondence was observed between seasonal d.b.h. increments and seasonal variation of soil moisture, the increments increasing during the period of soil water recharge, and decreasing during the period of soil water depletion.

18. Statistical analyses of the water quality parameters showed that the eucalyptus stand was, in general, responsible for a higher alteration of the quality of water than the pine stand, as the rain water penetrated through these forest canopies. This alteration was particularly higher in stemflow water than in throughfall water.
19. For the eucalyptus, the pH of throughfall water and that of stemflow water were significantly higher than the pH of rain water. For the pines, the pH of stemflow water was significantly smaller than that of rain water, but the pH of throughfall water was higher.
20. As to turbidity, conductivity, color, total dissolved solids, and alkalinity, only the eucalyptus stand presented values of these parameters statistically higher than those observed in rain water. The same values measured in the pine stand were not statistically different from of the rain.

8. LITERATURA CITADA

- ALDRIDGE, R. & JACKSON, R.J., 1973. Interception of Rainfall by Hard Beech (Nothofagus trincata) at Taita, New Zealand. N. Zealand Jour. of Science, 16(1): 185-198. In: Forestry Abstracts, 35(4): 1235, 1974.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1949. Standard Methods for the Examination of Water and Sewage. 9th Edition. 286 p.
- ANÔNIMO, 1969. A Preliminary Study of the Stem Flow Leachates of Pinus pinaster and their Effect on Soil Properties. Ext. from Rep. For. Dep. W. Australia. In: Forestry Abstracts, 31(4) 6060, 1970.
- ASSOCIAÇÃO PAULISTA DOS FABRICANTES DE CELULOSE E PAPEL, 1973. Relatório Estatístico. São Paulo. 246 p.
- ATTWILL, P.M., 1966. The Chemical Composition of Rainwater in Relation to Cycling of Nutrients in Mature Eucalyptus Forest. Plant and Soil, 24(3): 390-406.
- AUSSENAC, G., 1972. The Actual Evapotranspiration of Four Forest Stands in the East of France. Ann. Sci. For., 29(3): 369-389. In: Selected Water Res. Abstracts, 7(11): 5, 1974.
- AUSSENAC, G.; BONNEAU, M. & LE TACON, F., 1972. Restitution of Mineral Elements to the Soil, Through the Litter and Through Precipitation, in Three Forest Stands of Eastern France. Oecologia Plant., 7 (1): 1-21. In: Forestry Abstracts, 34(2): 738, 1974.
- BABALOLA, O. & SAMIE, A.G., 1972. The Use of a Neutron Technique in Studying Soil Moisture Profiles under Forest Vegetation in the Northern Guinea Zone of Nigeria. Tropical Science, 14(2): 159-168.
- BALDY, C.; POUPON, H. & SCHOENENBERGER, A., 1970. Variations in Soil Moisture Content as a Function of Stand Type in Northern Tunisia. Ann. Inst. Nat. Rech. For. Tunis., 4(3). In: Forestry Abstracts, 33(1): 318, 1972.
- BANERJEE, A.K., 1973. Computing Transpiration and Soil Evaporation from Periodic Soil Moisture Measurements and other Physical Data. Indian Forester, 99(2): 82-91.
- BAUMGARTNER, A., 1967. Energetic Bases for Differential Vaporization from Forest and Agricultural Lands. In: Intern. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press, N. York. p. 381-389.
- BELL, F.C. & GATENBY, M.T., 1969. Effects of Exotic Softwood Afforestation on Water Yield. Water Res. Found. of Aust., Bull. N.S.W. no 15, 93 p. In: Forestry Abstracts, 32: 77, 1971.

- BLACK, C.A., 1968. Soil-Plant Relationships. John Wiley & Sons, Inc. New York. 792 p. Chap. 2: Soil Water, p. 70-152.
- BROWN, Jr., J.H. & BOURN, T.G., 1973. Patterns of Soil Moisture Depletion in a Mixed Oak Stand. *Forest Science*, 19(1): 23-30.
- BRUCKERT, S. & TOUTAIN, F., 1971. The Effects of Rainfall Penetrating the Canopy of Beech and Scots Pine on the Process of Humification. *Ecol. Plant.*, 6(4): 329-339. In: *Forestry Abstracts*, 33(4): 5930, 1972.
- BUBLINEC, E., 1972. Influence of Pine Monocultures on Momentary Soil Moisture. *Acta Inst. Forestalis Zvolen.*, 3: 125-160. In: *Forestry Abstracts*, 35(7): 3470, 1974.
- BURGY, R.H. & POMEROY, C.R., 1958. Interception Losses in Grassy Vegetation. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 39(6): 1095-1100.
- BURROUGHS, Jr., E.R. & SCHULTZ, J.D., 1964. Evapotranspiration and Soil Moisture Depletion. *Soc. of Amer. Foresters, Proc.*, Denver, Colorado: 98-101.
- BYRNES, W.R., 1967. Limiting Site Factors in the Development of Forest Watershed Plantations. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York. p. 629-637.
- CAMARGO, O.N., 1968. Absorção Foliar e Lavagem de Nutrientes nas Plantas. USP-ESALQ, Bol. Didático nº 20. 123 p.
- CERVELLINI, A.; REICHARDT, K.; SALATI, E. & ZUR, B., 1972. Preliminary Studies on the Water Economy in "Cerrados". CENA, ESALQ, Bol. Científico BC-008. 18 p.
- COHEN, O.P.; KAPLAN, J. & SHARABANI, N., 1966. Water Balance Under Pine Plantations and Natural Herbaceous Vegetation in the Judean Foot-hills. 6th World Forestry Congress. Madrid. p.: 3811-3814.
- COSTIN, A.B., 1961. Forest Hydrology of Australian Subalpine Catchments. 2nd World Eucalyptus Conference. FAO. São Paulo. p.: 883-895.
- CROFT, A.R. & MONNINGER, L.V., 1953. Evapotranspiration and other Water Losses on Some Aspen Forest Types in Relation to Water Available for Stream Flow. *Trans. Amer. Geoph. Union*, 34(4): 563-574.
- CROUSE, R.P.; CORBETT, E.S. & SEEGRIST, D.W., 1966. Methods of Measuring and Analyzing Rainfall Interception by Grass. *Bull. I.A.S.H.*, 11(2): 110-120.
- CRUCIANI, D.E., 1972. Balanço Hídrico em Solo Cultivado com Cana-de-açúcar. CENA, ESALQ. Bol. Cient. BC-006. 35 p.

- CZARNOWSKI, M.S. & OLSZEWSKI, J.L., 1968. Rainfall Interception by a Forest Canopy. *Oikos*, 19(2): 345-350. In: *Forestry Abstracts*, 30(3): 3480, 1969.
- DECKER, J.P. & WIEN, J.D., 1960. Transpirational Surges in *Tamarix* and *Eucalyptus* as Measured with an Infrared Gas Analyzer. *Plant Physiology*, 35(3): 340-343.
- DELFS, J., 1967. Interception and Stemflow in Stands of Norway Spruce and Beech in West Germany. In: Int. Symp. on Forest Hydrology, Pergamon Press. New York: 179-185.
- DEWALLE, D.R. & PAULSELL, L.K., 1969. Canopy Interception, Stemflow and Streamflow on a Small Drainage in the Missouri Ozarks. *Res. Bull. Mo. Agric. Exp. Sta. n° 951*, 26 p. In: *Forestry Abstracts*, 31(2): 1854, 1970.
- DORST, J., 1973. Antes que a Natureza Morra. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 394 p.
- DREIBELBIS, F.R., 1962. Some Aspects of Watershed Hydrology as Determined from Soil Moisture Data. *Jour. of Geophysical Research*, 67(9): 3425-3435.
- DREIBELBIS, F.R., 1963. Land Use and Soil Type Effects on the Soil Moisture Regimen in Lysimeters and Small Watersheds. *Soil Sci. Soc. of America Proc.*, 27(4): 455-460.
- DREIBELBIS, F.R. & AMERMAN, C.R., 1964. Land Use, Soil Type, and Practice Effects on the Water Budget. *Jour. of Geophysical Research*, 69(16): 3387-3393.
- EATON, J.S.; LIKENS, G.E. & BORMANN, F.H., 1973. Throughfall and Stemflow Chemistry in a Northern Hardwood Forest. *Jour. of Ecology*, 61(2): 495-508. In: *Forestry Abstracts*, 35(3): 717, 1974.
- ESCHNER, A.R., 1967. Interception and Soil Moisture Distribution. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York. p. 191-200.
- FEDERER, C.A., 1970. Measuring Forest Evapotranspiration - Theory and Problems. USDA, Forest Service Research Paper NE-165. 25 p.
- FERRAZ, E.S.B., 1972. Estudo da Evapotranspiração Real Através da Medida de Unidade do Solo por Moderação de Neutrons. CENA, Bol. Científico BC-005. ESALQ-USP. 40 p.
- FERRI, M.G. 1957. O Consumo d'água dos Eucaliptos. *An. Bras. de Econ. Florestal*, 9(9): 207-210.

- FERRI, M.G., 1961. Aspects of the Soil-Water-Plant Relationships in Connection with some Brazilian Types of Vegetation. Tropical Soils and Vegetation Proc., Abidjan Symp., UNESCO. p.: 103-109.
- FISCHER, D.W.; GAMBELL, A.W.; LIKENS, G.E. & BORMANN, F.H., 1968. Atmospheric Contributions to Water Quality of Streams in the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. Water Resour. Res., 4(5): 1115-1126.
- FLETCHER, P.W. & LULL, H.W., 1963. Soil Moisture Depletion by a Hardwood Forest During Drouth Years. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc., 27 (1): 94-98.
- FRANCO, C.M. & INFORZATO, R., 1950. Transpiração de Eucalyptus saligna Sm. Ciencia e Cultura, 2(1): 29-30.
- FRECHETTE, J.G., 1969. Interception of Rainfall by a Laurentian Balsam Fir Forest. Naturaliste Canadian, 96(4): 523-529. In: Forestry Abstracts, 32: 66, 1971.
- GAISER, R.N., 1952. Readily Available Water in Forest Soils. Soil Science Proc., 16(4): 334-338.
- GEIGER, R., 1966. The Climate Near the Ground. Harvard University Press. Cambridge, Mass. 611 p.
- GESPER, P.L. & HOLOWAYCHUK, N., 1971. Some Effects of Stem Flow from Forest Canopy Trees on Chemical Properties of Soils. Ecology, 52(4): 691-702.
- GIFFORD, G.F. & SHAW, C.B., 1973. Soil Moisture Patterns on two Chained Pinyon-Juniper Sites in Utah. Jour. of Range Management, 26(6): 436-440.
- GINDEL, I., 1964. Seasonal Fluctuations in Soil Moisture under the Canopy of Xerophytes and in Open Areas. Commonw. For. Rev., 43(3): 219-234.
- GOODELL, B.C., 1963. A Reappraisal of Precipitation Interception by Plants and Attendant Water Loss. Jour. of Soil and Water Conservation, 18(6): 231-234.
- HACH CHEMICAL COMPANY, 1973^a. Manual Laboratory Instrumentation. Conductivity Meters. 16 p.
- HACH CHEMICAL COMPANY, 1973^b. HACH DR Colorimeter Methods Manual. 9th Ed. 166 p.

- HART, G.E.; SOUTHARD, A.R. & WILLIAMS, J.S., 1973. Influence of Vegetation and Substrate on Streamwater Chemistry in Northern Utah. USDI, Off. of Water Res. Research, Project OWRR-017. 53 p.
- HELVEY, J.D., 1964. Rainfall Interception by Hardwood Forest Litter in the Southern Appalachians. Southeast. Forest Expt. Sta., U.S. Forest Serv. Res. Paper SE-8, 8 p.
- HELVEY, J.D., 1967. Interception by Eastern White Pine. Water Resour. Research, 3(3): 723-729.
- HELVEY, J.D. & HEWLETT, J.D., 1962. The Annual Range of Soil Moisture under High Rainfall in the Southern Appalachians. Jour. of Forestry, 60(7): 485-486.
- HELVEY, J.D. & PATRIC, J.H., 1965^a. Canopy and Litter Interception of Rainfall by Hardwood of Eastern United States. Water Resour. Research, 1(2): 193-206.
- HELVEY, J.D. & PATRIC, J.H., 1965^b. Design Criteria for Interception Studies. Int. Ass. Sci. Hydrology. Bull. 67: 131-137.
- HEM, J.D., 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geol. Survey Water-Supply Paper no 1473. U.S. Govern. Print. Office. 363 p.
- HERRING, H.C., 1970. Soil Moisture Trends under three Different Cover Conditions. U.S. Forest Serv. Research Note PNW-114. In: Forestry Abstracts, 32: 29, 1971.
- HEWLETT, J.D.; DOUGLASS, J.E. & CLUTTER, J.L., 1964. Instrumental and Soil Moisture Variance Using the Neutron Scattering Method. Soil Sci., 97: 19-24.
- HILL, R.D., 1972. Soil Moisture Under Forest, Bukit Timah Nature Reserve, Singapore. Gard Bull., 26(1): 85-93. In: Selected Water Res. Abstracts, 7(11): 9, 1974.
- HORNBECK, J.W., 1970. The Radiant Energy Budget of Clearcut and Forested Sites in West Virginia. Forest Science, 16(2): 139-145.
- IWATSUBO, G. & TSUTSUMI, T., 1968. On the Amount of Plant Nutrients Supplied to the Ground by Rainwater in Adjacent open Plot and Forests. (III). On the Amount of Plant Nutrients Contained in Run-off Water. Bull. Kyoto Univ. no 40: 140-156. In: Forestry Abstracts, 32(4), 1971.
- JACKSON, I.J., 1971. Problems of Throughfall and Interception Assessment Under Tropical Forest. Jour. of Hydrology, 12:234-254.

- JOHNSON, P.L. & SWANK, W.T., 1973. Studies of Cation Budgets in the Southern Appalachians on Four Experimental Watersheds with Contrasting Vegetation. *Ecology*, 54(1): 70-80.
- JOHNSTON, R.S.; TEW, R.K. & DOTY, R.D., 1969. Soil Moisture Depletion and Estimated Evapotranspiration on Utah Mountain Watersheds. USDA Forest Service, Research Paper Int.-67. 13 p.
- JOHNSTON, R.S., 1970. Evapotranspiration from Bare, Herbaceous, and Aspen Plots: A Check on a Former Study. *Water Res. Research*, 6(1): 324-327.
- JORDAN, C.F. & KLINE, J.R., 1972. Mineral Cycling: Some Basic Concepts and their Application in a Tropical Rain Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 3: 33-50.
- KAPLAN, J., 1961. Water Relations in Eucalypts. 2nd World Eucalyptus Conference. FAO. São Paulo. p.: 1008-1012.
- KARSCHON, R., 1971. The Effect of Coppice Cutting on the Water Balance of Eucalyptus camaldulensis Dehn. *The Israel Jour. of Agric. Research*, 21(3): 115-126.
- KARSCHON, R., 1973. Comunicação pessoal.
- KARSCHON, R. & HETH, D., 1967. The Water Balance of a Plantation of Eucalyptus camaldulensis Dehn. *Contrib. on Eucalypts in Israel*, III: 7-34.
- KAUL, O.N. & BILLINGS, W.D., 1965. Cation Content of Stemflow in Some Forest Trees in North Carolina. *The Indian Forester*, 91(6): 367-370.
- KERENSKI, S., 1970. Interception of Rainfall by the Crown and Litter of Pinus nigra. *Gorskostop. Nauka*, 7(5): 39-52. In: *Forestry Abstracts*, 32(4), 1971.
- KIMMINS, J.P., 1973. Some Statistical Aspects of Sampling Throughfall Precipitation in Nutrient Cycling Studies in British Columbian Coastal Forests. *Ecology*, 54(5): 1008-1019.
- KITCHING, R., 1967. Water Use by Tree Plantations. *Jour. of Hydrology*, 5: 206-213.
- KITTREDGE, J.; LOUGHEAD, H.J. & MAZURAK, A., 1941. Interception and Stemflow in a Pine Plantation. *Jour. of Forestry*, 39: 505-522.
- KNOERR, K.R., 1967. Exponential Depletion of Soil Moisture by Evapotranspiration at Forest Sites in the Sierra Nevada, as Related to

Available Soil Moisture and Vapor Pressure Deficit. Dissert.
Abstr., 27-B(10): 3364. In: Forestry Abstracts, 29(11): 62, 1968.

KUNKLE, S.H., 1974. Agua - Su Calidad Suele Depender del Forestal.
Unasylva, 26(105): 10-16.

LEONARD, R.E., 1961. Net Precipitation in a Northern Hardwood Forest.
Jour. of Geoph. Research, 66(8): 2417-2421.

LEONARD, R.E., 1967. Mathematical Theory of Interception. In: Int.
Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. New York. 131-136.

LEYTON, L.; REYNOLDS, E.R.C. & THOMPSON, F.B., 1967. Rainfall Intercep-
tion in Forest and Moorland. Intern. Symp. on Forest Hydrology.
Pergamon Press, New York. 163-178.

LIGON, J.T. & WILSON, T.V., 1972. Deep Seepage on Piedmont Watersheds.
Water Resources Research Institute, Clemson University, Report n°
29. 66 p.

LIKENS, G.E. & EATON, J.S., 1970. A Polyurethane Stemflow Collector for
Trees and Shrubs. Ecology, 51(5): 938-939.

LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H.; JOHNSON, N.M. & PIERCE, R.S., 1967. The
Calcium, Magnesium, Potassium, and Sodium Budgets for a Small Fo-
rested Ecosystem. Ecology, 48(5): 772-785.

LINSLEY, Jr., R.K.; KOHLER, M.A. & PAULHUS, J.L.H., 1949. Applied Hydro-
logy. McGraw-Hill Book Co., New York, 689 p.

LOW, K.S., 1972. Interception Loss in the Humid Forested Areas (with es-
pecial reference to Sungai Lui Catchement, West Malaysia). Malayan
Nature Jour., 25(2): 104-111. In: Forestry Abstracts, 35(3): 615,
1974.

MAHENDRAPPA, M.K., 1974. Chemical Composition of Stemflow from Some Eas-
tern Canadian Tree Species. Canadian Jour. of Forest Research, 4
(1): 1-7. In: Forestry Abstracts, 35(10): 5772, 1974.

McCLURKIN, D.C., 1958. Soil Moisture Content and Shortleaf Pine Radial
Growth in North Mississippi. Forest Science, 4(3): 232-238.

McCOLL, J.G., 1970. Properties of Some Natural Waters in a Tropical Wet
Forest of Costa Rica. Bio-Science, 20(20): 1096-1100. In: Forestry
Abstracts, 32(4); 1971.

McKEE, J.E. & WOLF, H.W., 1963. Water Quality Criteria. California Sta-
te Water Resources Control Board, Pub. 3-A. 548 p.

- McNAUGHTON, K.G. & BLACK, T.A., 1973. A Study of Evapotranspiration from a Douglas Fir Forest Using the Energy Balance Approach. *Water Resour. Research*, 9(6): 1579-1590.
- MELLO, H.A., 1960. Contribuição ao Estudo do Consumo de Água por Eucalyptus alba Reinw, Piptadenia rigida Benth e Astronium urundeuva (Fr. Allen.) Engl. Tese, ESALQ-USP, Piracicaba. 86 p.
- METZ, L.J. & DOUGLASS, J.E., 1959. Soil Moisture Depletion Under Several Piedmont Cover Types. USDA, Forest Service, Techn. Bulletin nº 1207. 23 p.
- MIKHOVICH, A.I.; ZARUDNY, Y.K. & POPOVA, V.E., 1970. Moisture Expenditure by Forest and Fields in the Protective Afforestation Regions. *Les. Agroles. Resp. Mezhdv. Temat Nauchn* 56(20): 113-119. In: *Selected Water Res. Abstracts*, (7):2: 30, 1974.
- MINA, V.N., 1967. The Effect of Stem-flow on the Soil. *Pocvoved*, 10: 44-52. In: *Forestry Abstracts*, 309/C: 3687, 1969.
- MOEHRING, D.M. & RALSTON, C.W., 1967. Diameter Growth of Loblolly Pine Related to Available Soil Moisture and Rate of Soil Moisture Loss. *Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.*, 31(4): 560-562.
- MOLCHANOV, A.A., 1963. The Hydrological Role of Forests. Transl. from Russian. USDA, Nat. Sci. Foundation. 407 p.
- MURPHY, Jr., C.E. & KNOERR, K.R., 1975. The Evaporation of Intercepted Rainfall from a Forest Stand: An Analysis by Simulation. *Water Res. Research*, 11(2): 273-280.
- NICOLSON, J.A.; THORUD, D.B. & SUCOFF, E.I., 1968. The Interception-Transpiration Relationships of White Spruce and White Pine. *Jour. of Soil and Water Conservation*, 23(5): 181-184.
- NIHLGARD, B., 1969. Distribution of Rainfall in Beech and Spruce Forest, a Comparison. *Abst. in Bot. Notiser*, 122(2): 308-309. In *Forestry Abstracts*, 31(1): 70, 1970.
- NIHLGARD, B., 1970. Precipitation, its Chemical Composition and Effect on Soil Water in a Beech and a Spruce Forest in South Sweden. *Oikos*, 21(2): 208-217. In: *Forestry Abstracts*, 32(4), 1971.
- NISHIMURA, T., 1973. Movement of Nutrients in a Small Mountainous and Forested Watershed. *Jour. of the Japan. For. Soc.*, 55(11): 323-333. In: *Forestry Abstracts*, 35(10): 5906, 1974.
- ORR, H.K., 1968. Soil-Moisture Trends After Thinning and Clearcutting in a Second-Growth Ponderosa Pine Stand in the Black Hills. U.S. Forest Service Research Note RM-99. 8 p.

- PATRIC, J.H.; DOUGLASS, J.E. & HEWLETT, J.D., 1965. Soil Water Absorption by Mountain and Piedmont Forests. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc., 29: 303-308.
- PENMAN, H.L., 1967. Evaporation from Forests: a Comparison of Theory and Observation. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press, N. York. p.: 373-380.
- PIERCE, R.S., 1965. Water - Quality Problems Related to Timber Culture and Harvesting. In: Proc. Mun. Watershed Manag. Symp. Publ. 446, Univ. of Massachusetts and U.S. Dept. of Agriculture. 45-48.
- POZDNYAKOV, L.K., 1956. The Role of Rain Penetrating Beneath the Forest Canopy in the Process of the Exchange of Material Between Forest and Soil. Dokl. Akad. Nauk, 107: 753-756. In: Soil and Fertilizers, 19, 1956.
- RAKHMANOV, V.V., 1958. Are the Precipitations Intercepted by the Tree Crowns a Loss to the Forest? Botanicheskii Zhurnal, 43: 1630-1633. Transl. from Russian. Israel Prog. for Scient. Translations, PST Cat. no 293.
- RANZANI, G., 1956. Levantamento da Carta de Solos da Seção Técnica "Química Agrícola" da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Tese de Livre-Docência. 36 p. + tabelas e mapas.
- RANZANI, G. ; FREIRE, O. & KINJO, T., 1966. Carta de Solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos. ESALQ-USP. 85 p.
- RAPP, M. & ROMANE, F., 1968. The Water Balance in the Mediterranean Ecosystems. I. Throughfall of Precipitation in Stands of Quercus ilex and Pinus halepensis. Ecol. Olant., 3(4): 271-284. In: Forestry Abstracts, 31(1): 68, 1970.
- REICHARDT, K., 1972. Evaporação da Água do Solo. CENA, ESALQ, Bol. Científico BC-004. 30 p.
- REICHARDT, K., 1973. Física dos Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Vol. III. Publ. Especial no CENA, ESALQ-USP.
- REPNEVSKAJA, M.A., 1969. Soil Moisture Regime in the Scots Pine Forests of the Kola Peninsula. Lesoved., Moskva, 3: 78-82. In: Forestry Abstracts, 31(2): 2143, 1970.
- REYNOLDS, S.G., 1970. The Gravimetric Method of Soil Moisture Determination. Part I: A Study of Equipment and Methodological Problems. Jour. of Hydrology, 11: 258-273.

- REYNOLDS, E.R.C. & LEYTON, L., 1963. Measurement and Significance of Throughfall in Forest Stands. In: The Water Relations of Plants. Blackwell Scient. Publications. Adlard e Son Ltd. England. p. 127-141.
- ROGERSON, T.L. 1967. Throughfall in Pole-Sized Loblolly Pine as Affected by Stand Density. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York: 187-190.
- ROGERSON, T.L., 1968. Thinning Increases Throughfall in Loblolly Pine Plantations. Jour. of Soil and Water Conservation, 23(4): 141-142.
- ROGERSON, T.L. & BYRNES, W.R., 1968. Net Rainfall Under Hardwoods and Red Pine in Central Pennsylvania. Water Resour. Research, 4(1): 55-57.
- ROTHACHER, J., 1963. Net Precipitation Under a Douglas-Fir Forest. Forest Science, 9(4): 423-429.
- RUTTER, A.J., 1963. Studies in the Water Relations of Pinus Sylvestris in Plantation Conditions. I - Measurements of Rainfall and Interception. Jour. of Ecology, 51: 191-203.
- RUTTER, A.J., 1967. An Analysis of Evaporation from a Stand of Scots Pine. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N.York. p.: 403-417.
- RUTTER, A.J., 1968. Water Consumption by Forests. In: Water Deficits and Plant Growth. Ed. by T.T. Kozlowski. Academic Press. p. 23-84.
- SARTZ, R.S., 1972^a. Soil Water Depletion by a Hardwood Forest in Southwestern Wisconsin. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc., 36(6): 961-964.
- SARTZ, R.S., 1972^b. Anomalies and Sampling Variation in Forest Soil Water Measurement by the Neutron Method. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc., 36(1): 148-153.
- SCHRODER, R., 1956. Distribuição e Curso Anual das Precipitações no Estado de São Paulo. Bragantia, 15(18): 193-249.
- SCHULTZ, J.D., 1967. Current Status of Soil-Moisture Measurement by the Neutron Method. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York. p: 791-796.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA, 1974. Programação Plurianual de Reflorestamento de São Paulo. S.A., Instituto Florestal, São Paulo. 20 p. 6 mapas.

- SHACHORI, A.; ROSENZWEIG, D. & POLJAKOFF-MAYBER, A., 1967. Effect of Mediterranean Vegetation on the Moisture Regime. In: Int. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York. p.: 291-311.
- SHPAK, I.S., 1971. The Effects of Forests on the Water Balance of Drainage Basins. Translated from Russian. Israel Prog. for Scientific Translations Ltd. 258 p.
- SIM, L.K., 1972. Interception Loss in the Humid Forested Areas. Malay Nat. J., 25(2): 104-111. In: Selected Water Res. Abstracts, 7(13): 7, 1974.
- SKAU, C.M., 1964. Interception, Throughfall, and Stemflow in Utah and Alligator Juniper Cover Types of Northern Arizona. Forest Science, 10(3): 283-287.
- SMITH, M.K., 1973. Throughfall, Stemflow, and Interception in Pine and Eucalypt Forest. Australian Forestry, 36(3): 190-197.
- SOERIANEGARA, I., 1970. The Role of Rainfall in the Recycling of Nutrients in Terrestrial Ecosystems. Rimba Indonesia, 15(1/2): 36-41. In: Forestry Abstracts, 32(4), 1971.
- STAMMERS, W.N.; IGWE, O.C. & WHITELEY, H.R., 1973. Calculation of Evaporation from Measurement of Soil Water and the Soil Water Characteristic. Canadian Agric. Engineering, 15(1): 2-5.
- SWANK, W.T.; GOEBEL, N.B. & HELVEY, J.D., 1972. Interception Loss in Loblolly Pine Stands on the South Carolina Piedmont. Jour. of Soil and Water Conservation, 27(4): 160-164.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of Water from Plants and Soil. In: Water Deficits and Plant Growth. Ed. by T.T. Kozlowski. Academic Press. p.: 73-106.
- TARRANT, R.F., 1968. Nutrient Cycling by Throughfall and Stemflow Precipitation in Three Coastal Oregon Forest Types. USDA Forest Service Research Paper no PNW-54. In: Forestry Abstracts, 30(3): 3686, 1969.
- TAYLOR, A.W.; EDWARDS, W.M. & SIMPSON, E.C., 1971. Nutrients in Streams Draining Woodland and Farmland Near Coshocton, Ohio. Water Resour. Res., 7(1): 81-89.
- THOMAS, P.K.; CHANDRASEKHAR, K. & HALDORAI, B., 1972. An Estimate of Transpiration by Eucalyptus globulus from Nilgiris Watersheds. In dian Forester, 98(3): 168-172.

- THOMPSON, F.B., 1970. Seasonal Rainfall Interception by Oak Coppice (*Quercus robur* L.) in the Leafy and Leafless State in Southern England. In: Aspects of Forest Climates (Aberystwyth Symp. in Agric. Meteorology no 13). In: Forestry Abstracts, 32(4), 1971.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R., 1955. The Water Balance. Drexel Inst. of Technology. Publ. in Climatology, Vol. VIII, no 1. 86 p.
- THORUD, D.B., 1963. Effects of Pruning on Rainfall Interception in a Minnesota Red Pine Stand. Forest Science, 9(4): 452-455.
- TOLLENAAR, P. & RYCKBORST, H., 1975. The Effect of Conifers on the Chemistry and Mass Balance of Two Large Lysimeters in Castricum (The Netherlands). Jour. of Hydrology, 24(1/2): 77-87.
- TRIMBLE, Jr., G.R., 1969. Diameter Growth of Individual Hardwood Trees. USDA Forest Service Research Paper NE-145. 25 p.
- TRIMBLE, Jr., G.R. & WEITZMAN, S., 1954. Effect of a Hardwood Forest Canopy on Rainfall Intensities. Trans. Amer. Geoph. Union, 35(2): 226-234.
- TROENDLE, C.A., 1970. A Comparison of Soil-Moisture Loss from Forested and Clearcut Areas in West Virginia. USDA Forest Service Research Note NE-120. 8 p.
- U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE, 1962. Drinking Water Standards. U.S. Gov. Print. Office. 61 p.
- VALENZIANO, S. & SCARAMUZZI, G., 1967. Preliminary Observations on the Seasonal Diameter Growth of Eucalyptus camaldulensis and E. viminalis. FAO, World Symp. on Man-Made Forests and their Industrial Importance. Canberra: 1923-1939.
- VON ARX, W.S., 1974. Energy: Natural Limits and Abundances. E.O.S. Trans. Amer. Geoph. Union, 55(9): 828-832.
- VEIHMEYER, F.J., 1953. Use of Water by Native Vegetation versus Grasses and Forbs on Watersheds. Trans. Amer. Geoph. Union, 34(2): 201-212.
- VOIGT, G.K., 1960. Distribution of Rainfall Under Forest Stands. Forest Science, 6(1): 2-10.
- WARD, R.C., 1971. Measuring Evapotranspiration: a Review. Jour. of Hydrology, 13: 1-21.
- WEIHE, J., 1973. The Reaction of Beech and Spruce Stands to Rain. Allgem. Forstzeitschrift, 28(42): 956-957. In: Forestry Abstracts, 35(8): 4101, 1974.

WELLS, C.G.; WHIGHAM, D. & LIETH, H., 1972. Investigation on Mineral Nutrient Cycling in a Upland Piedmont Forest. The Jour. of the Eliza Mitchell Scient. Soc., 88(2): 66-78.

WILL, G.M., 1955. Removal of Mineral Nutrients from Tree Crowns by Rain. Nature, 176: 1180.

ZAHNER, R., 1968^a. Means and Effects of Manipulating Soil Water in Managed Forests. In: Forest Fertilization, Theory and Practice. T.V.A., 10-14.

ZAHNER, R., 1968^b. Water Deficits and Growth of Trees. In: Water Deficits and Plant Growth. Ed. by T.T. Kozlowski. Academic Press. p.: 191-254.

ZINKE, P.J., 1967. Forest Interception Studies in the United States. Intern. Symp. on Forest Hydrology. Pergamon Press. N. York. p. 137-161.

ZON, R., 1927. Forests and Water in the Light of Scientific Investigation. USDA Forest Service. U.S. Gov. Print. Office, Washington. 106 pp.