

O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas

The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins

Rafaelo Balbinot¹

Nayara Kaminski de Oliveira²

Suelen Cristina Vanzetto³

Keylla Pedroso⁴

Álvaro Felipe Valerio⁵

Resumo

Os recursos hídricos são de importância econômica e estratégica para o desenvolvimento regional e o estudo destes recursos, por meio de monitoramento, torna-se essencial para um bom planejamento, gerenciamento e uso destes recursos. As bacias hidrográficas são vulneráveis a alterações da vegetação, pois essas alterações interferem nas propriedades do solo, refletindo nas propriedades da água dos rios, ou seja, a presença ou não de vegetação pode influenciar nas características da água e no ciclo hidrológico em um manancial, o que é de fundamental importância para a sustentabilidade do ambiente. No entanto, para atingir um nível desejável de preservação destes recursos, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados ao monitoramento e análise dos principais componentes do ciclo hidrológico. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão bibliográfica para analisar os fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação e de que maneira ela interfere na dinâmica

1 M.Sc.; Engenheiro Florestal; Doutorando em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Paraná, Prof. Colaborador na Universidade Estadual do Centro-Oeste; E-mail: rbalbinot@yahoo.com.br

2 Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste; E-mail: naykaminski@hotmail.com

3 Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste; Bolsista de Iniciação Científica do CNPq; E-mail: suelen.van@hotmail.com

4 Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste; E-mail: kepedroso@hotmail.com

5 Engenheiro Florestal; Mestrando em Ciências Florestais na Universidade Estadual do Centro-Oeste; Bolsista da CAPES; E-mail: alvarofvalerio@yahoo.com.br

das bacias hidrográficas, e qual é a sua importância para a manutenção destas, via processos de interceptação pluviométrica, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxos de água no solo.

Palavras-chave: floresta; ciclo hidrológico; bacia hidrográfica.

Abstract

The water resources are strategically and economically important for local development, and studying these resources through monitoring becomes essential for their good planning, management and use. Hydrological basins are vulnerable to forest changes, because these changes interfere with the soil's properties, thus reflecting in the features of river waters. Therefore, the presence or not of vegetation may influence the characteristics of water and of the hydrological cycle in a spring, which is of great importance for environmental sustaining. Nevertheless, to reach a desirable level of preservation of these resources, it's necessary to develop studies regarding the monitoring and analysis of main components of the hydrological cycle. This bibliographical review is meant to analyze the factors that influence the watersheds, especially the forest's role, how it interferes with the dynamics of hydrological basins, and what is its importance to maintain them by means of rain interception, internal precipitation, draining trough the trunk and ground water flows.

Key works: forest; hydrological cycle; basins.

Introdução

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na fauna e flora, e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. Conforme a United States Federal Council of Science and Technology referenciada por Tucci (1997), a hidrologia é a ciência que trata da água da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e suas relações com o meio ambiente, incluindo as relações com a vida.

Há muito se acreditava, baseando-se nas médias de precipitação maiores em áreas florestadas do que em áreas abertas, que a floresta contribuía para o aumento da precipitação local por meio da reciclagem das chuvas pelo processo de evapotranspiração. Outro fato que por vezes era mistificado é o de que bacias florestadas produzem mais água do que bacias com outro tipo de cobertura vegetal, porém o que acontece realmente é que na bacia com total cobertura florestal há uma menor produção de água, mas o fluxo é mais estável e sustentável do que em outros casos.

Para avaliar o efeito que teria qualquer perturbação numa bacia hidrográfica, é necessário antes conhecer bem as características hidrológicas do ecossistema natural, para posteriormente fazer a comparação com aqueles em que houve intervenções antrópicas. A análise desses aspectos do ecossistema envolve características de clima, geomorfologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração, com o que se pode quantificar os processos hidrológicos da bacia e correlacioná-los com as diferentes variáveis relacionada à quantidade e qualidade da água, assim como sua dinâmica (CARDOSO et al., 2006).

Este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão bibliográfica para analisar os

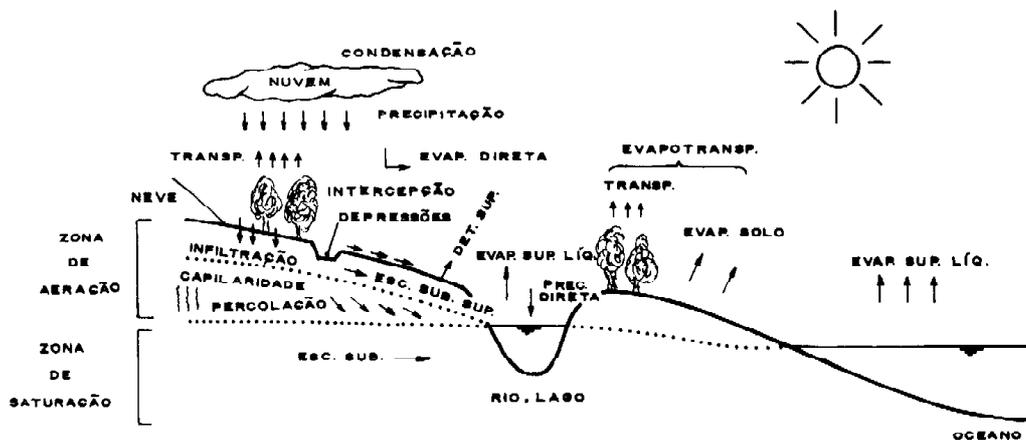
pluviométrica, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxos de água no solo.

O ciclo hidrológico

Para Silveira (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. Conforme a figura 1, o ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

O ciclo hidrológico é o tema principal da hidrologia e envolve diversos processos hidrológicos,

Figura 1. Ciclo hidrológico apresentado por Silveira (1997)



fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação, de que maneira ela interfere na dinâmica das bacias hidrográficas e qual é a sua importância para a manutenção destas, via processos de interceptação

sendo condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação, exemplos de processos verticais, e os escoamentos superficial e sub-superficial, exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

Para a compreensão do ciclo hidrológico, pode-se descrevê-lo como tendo início com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar e, sob determinadas condições, é condensado, formando as nuvens que por sua vez podem resultar em precipitação. A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersa de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoar sobre a superfície do solo (infiltração) ou através do solo para os rios (escoamento sub-superficial), enquanto que parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (VILLELA e MATTOS, 1975).

Em estudos realizados por Hursh (1948), verifica-se que a precipitação média foi cerca de 25% maior que em áreas devastadas, constatou também que tal fato é devido ao efeito da diferença de temperatura e das correntes de convecção, ao invés de ser consequência direta da maior transpiração pela floresta. A evaporação local não controla a precipitação neste mesmo local, nem tampouco se correlaciona com o padrão de distribuição das chuvas na Terra.

Gilman (1964) demonstrou que a evaporação continental pode contribuir de maneira ínfima para a precipitação em áreas continentais, isso se deve à movimentação das correntes de ar. Para o período anual, e para a terra como um todo, a maior parte da umidade atmosférica que eventualmente se precipitará em áreas continentais provém da evaporação dos

oceanos. E, para complementar, o padrão das chuvas do planeta se deve à circulação geral da atmosfera, que associado aos efeitos locais de fatores fisiográficos, como o relevo, por exemplo, governam a distribuição horizontal das chuvas.

Contudo a evaporação continental corresponde a apenas 14% da evaporação total do planeta. Se a evaporação continental fosse cessada, a precipitação diminuiria apenas 14%. As florestas ocupam cerca de 25% do território e se, portanto, apenas a evaporação da área florestal fosse cessada a diminuição da precipitação global seria de 3,5%. Mas como a eliminação da floresta não elimina a evaporação da área, a precipitação global diminuiria de 1 a 2% (MOLCHANOV, 1963).

O balanço médio em escala global deve satisfazer a equação simples $P = E + T$, ou seja, o fornecimento de vapor para a atmosfera através dos processos de evaporação (E), mais a transpiração (T) deve ser igual ao fornecimento de água da atmosfera para a superfície através da precipitação (P). É irrefutável em escala global que desde que as florestas apresentem maior transpiração do que outras formas de vegetação pode-se esperar que nelas a precipitação seja maior.

De acordo com Hibbert (1967), Bosch e Hewlett (1982), a supressão total da floresta aumenta o deflúvio anual da bacia numa taxa média de cerca de 150 mm durante o primeiro ano após o corte da floresta (variando de 34 a 450 mm). Baseado nesses valores e na área florestada do mundo (cerca de 4 bilhões de ha), com o corte raso de todas essas áreas, o fornecimento de vapor d'água

para a atmosfera seria cerca de 6×10^{12} m³. Se comparado com o volume de precipitação média anual para o planeta, isto é, $4,9 \times 10^{14}$ m³, a redução estimada na precipitação média anual global seria de apenas 1,3%.

Pode-se observar, mesmo que em escala muito pequena, que a floresta desempenha importante papel na distribuição de energia e água na superfície, influenciando nos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial e erosão. Pode-se dizer então que a simples presença da floresta não afeta necessariamente a precipitação sobre a área, e que exceções como a precipitação oculta, isto é, a neblina e a condensação ou o orvalho que respinga das folhas e dos ramos contribuem para a redistribuição da precipitação sob a floresta.

Efeito de reflorestamento e desmatamento

Os ecossistemas florestais, constituídos por parte aérea (árvores) e parte terrestre (solos florestais), desempenham inúmeras funções: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade); (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios); (3) controle de erosão; (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; (5) atenuação da poluição atmosférica; (6) fornecimento do oxigênio (O₂) e absorção do gás carbônico (CO₂), (7) prevenção contra ação do vento e ruídos, (8) recreação e educação; (9) produção de biomassa e (10) fornecimento de energia. Todas as funções atuam simultaneamente, sendo

a maioria baseada na atividade biológica da própria floresta (KOBAYAMA, 2000).

Para Lima (1996), as plantações florestais, ou seja, a formação de florestas a partir de regeneração artificial, tem sido estabelecida desde muito tempo na América do Norte e na Europa com o propósito de fornecer madeira para fins industriais. Dessa forma, estão assumindo cada vez mais a importante missão de suprimento de madeira para fins industriais e para geração de energia, comparativamente às florestas naturais, já escassas e, em geral, ocupando áreas onde sua presença é muito mais importante para fins de conservação ambiental.

Lima (1996) complementa informando que nas plantações industriais durante o preparo do solo e período de crescimento das mudas, o solo permanece praticamente sem proteção. Os regimes de corte raso ao final do período de rotação são fatores que também podem resultar em perdas consideráveis de solo por erosão. As perdas de solo e de nutrientes prejudicam tanto a qualidade da água quanto a manutenção da produtividade; dessa forma, é muito importante o manejo adequado das plantações florestais.

Na hidrologia, há o consenso geral indicando que, em relação aos outros tipos de uso da terra, a floresta consome mais água e reduz a vazão no rio (HIBBERT, 1967; BOSCH e HEWLETT, 1982). Segundo TRIMBLE et al. (1987), a redução da vazão em bacias hidrográficas contendo florestas ocorre em função do aumento das perdas da água devido a evapotranspiração (interceptação + transpiração), sendo a redução maior nos anos secos do que nos chuvosos.

Os parágrafos anteriores mencionaram sobre a relação entre a vazão e a floresta, mas também é importante analisar o efeito da floresta no escoamento de base. Usando o método proposto por Nathan e McMahon (1990), Lacey e Grayson (1998) estimaram os valores de escoamento de base de 114 bacias experimentais em Vitória, Austrália, e mostraram que não foi evidente a influência do crescimento da floresta no escoamento de base. Savenije (1995) mostrou que em áreas semi-áridas a remoção da vegetação reduz a evaporação. O volume total de água transportado pelo canal de um curso de água é formado pelo escoamento superficial e pelo afluxo de água do subsolo, ou escoamento de base. No entanto, o escoamento superficial resultante das precipitações é considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos de água (PINTO et al., 1973).

Interceptação vegetal

Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de interceptação (ARCOVA et al., 2003). A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, podendo ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento.

A cobertura florestal, através da interceptação, influencia a redistribuição

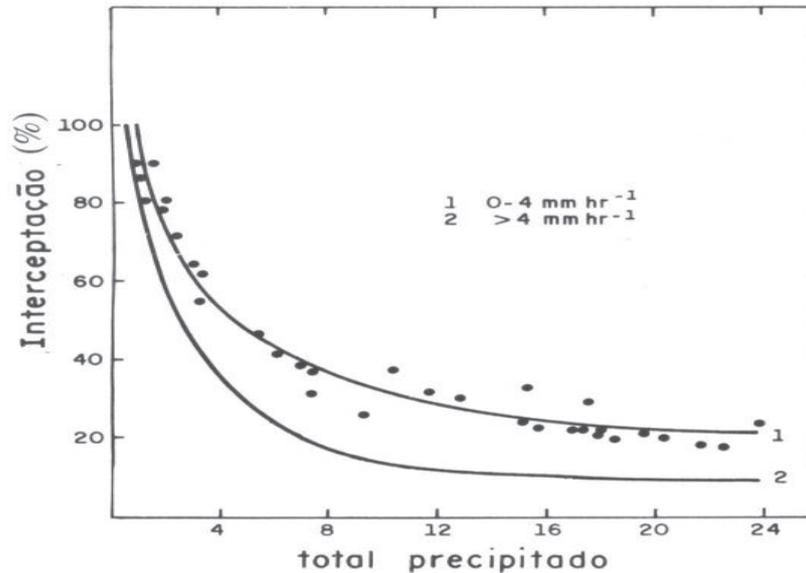
da água da chuva, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Desse modo, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia. Alguns pesquisadores afirmam que a floresta nativa, entre os ecossistemas vegetais, atua no ciclo hidrológico de maneira mais significativa, pois proporciona melhores condições de infiltração da água da chuva (OLIVEIRA JR e DIAS, 2005).

A interceptação vegetal depende de vários fatores: características da precipitação e condições climáticas, precipitações anteriores, tipo e densidade da vegetação e período do ano. As características principais da precipitação são intensidade e volume precipitado. Em florestas para pequenos volumes de precipitação (< 0,3 mm) todo volume é retido, e para precipitações superiores a 1 mm, de 10 a 40% pode ficar retido (BLACKKE, 1975).

Na figura 2 são apresentadas curvas para uma determinada vegetação, relacionando total precipitado e interceptado para diferentes intensidades de precipitação. Pode-se observar que para o mesmo total precipitado a interceptação diminui com o aumento da intensidade.

A curva número 1 mostra a interceptação para intensidades de precipitação de 0 a 4 mm.hr⁻¹, enquanto que a curva número 2 apresenta valores para intensidade maiores que 4 mm.hr⁻¹. O gráfico evidencia a redução da interceptação conforme a intensidade

Figura 2. Relação entre interceptação-intensidade da precipitação (BLACKKE, 1975)



da chuva aumenta. No início da chuva, o primeiro processo a ser levado em conta na avaliação da perda por interceptação é a chamada capacidade de retenção das copas, ou seja, a quantidade de água que é usada para molhar toda a copa. Atingida esta capacidade, com a continuação da chuva, a água começa a gotejar para o solo e a escoar pelos ramos e tronco também em direção ao solo. Esta capacidade de retenção é função da espécie e da parte aérea da biomassa e representa uma quantidade mais ou menos fixa para uma dada condição. Cessada a chuva esta água retida nas copas será evaporada.

Em geral as folhas não são capazes de absorver grande quantidade de água em sua superfície. Portanto, cada folha apresenta apenas uma determinada capacidade de retenção, que será em função de seu tamanho, sua configuração, composição e outros fatores relativos ao processo, tais como viscosidade da

água, intensidade da precipitação e dos ventos (pressões externas sobre as folhas) (MOLCHANOV, 1963). O mesmo autor afirma que a perda por interceptação de uma cobertura florestal pode ser separada em dois componentes: evaporação das copas e evaporação do piso. Este último componente, bem menor, geralmente não é considerado nos estudos.

Coelho Neto (1985) observou também que a interceptação florestal aumenta na estação menos chuvosa (maio-agosto), refletindo as mudanças tanto nas características das chuvas, menos intensas, como na quantidade de água utilizada pela vegetação. Arcova et al. (2003), analisando os níveis de interceptação em uma bacia experimental na Mata Atlântica, observaram que uma maior parte das chuvas atinge o piso florestal no período chuvoso, chegando a ordem de 85% do total incidente na área. No período pouco chuvoso, a penetração das chuvas no dossel

foi menor, em média 72% da precipitação e, no caso extremo, somente 53,7% das chuvas transpassaram as copas.

As perdas por interceptação não decorrem apenas da maior ou menor capacidade de retenção. A água retida temporariamente nas copas pode ser evaporada, resultando numa perda maior que essa capacidade. A ocorrência de ventos, durante e depois da chuva, contribui ainda mais para este processo que resulta numa retenção incompleta, além de influenciar na evaporação da água interceptada.

Ferreira et al. (2005) observaram que a interceptação foi significativamente alterada após extração seletiva de madeira em uma área de Floresta de Terra Firme na Amazônia Central. Segundo Hewlett (1969), o dossel de folhas intercepta em média 10 a 25 % da precipitação e durante chuviscos de pequena duração chega a reter 100% das chuvas; esta água é diretamente evaporada, não atingindo o solo, o que equivale praticamente a reduzir a pluviosidade da região a uma idêntica proporção.

Apesar desta perda inicial para a atmosfera, a água interceptada pelas copas das árvores dominantes do sub-bosque e da manta existente na superfície retém grande volume de água, a qual é liberada lentamente para riachos, rios, e lagos, permitindo um abastecimento regular dos mesmos (SCHUMACHER e HOPPE, 1998). Maia (1992) indica como ponto forte da interceptação a proteção do solo contra o impacto da chuva, o que se traduz em menor risco de erosão e, conseqüentemente, minimização dos problemas de assoreamento e qualidade dos cursos d'água.

Vários trabalhos, como os realizados por Frechette (1969), Delfs (1967) e Smith et al. (1974), mostraram que as coníferas interceptam mais que as folhosas, já nos trabalhos realizados por Helvey (1967) e Delfs (1967), observou-se que a interceptação tende a aumentar com a idade do povoamento florestal.

A densidade é uma das características da vegetação que influencia na interceptação da chuva. Rogerson (1968) afirmou que a redução de $4,5 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ da área basal do povoamento pode aumentar a precipitação interna em cerca de 2%.

Precipitação interna

É a chuva que atinge o piso florestal, incluindo gotas que passam diretamente pelos espaços existentes entre as copas das árvores.

Vallejo (1982) mostrou, em sua dissertação de mestrado, que na Floresta da Tijuca, ocorre grande variação pontual do atravessamento de chuvas individuais pelas copas arbóreas, durante o ano 1980. Os autores observaram pontos no interior da floresta com pluviosidade superior aos valores da precipitação acima das copas. Tal fato é em função da umidade antecedente e da composição e estrutura da vegetação. Enquanto o maior adensamento de vegetação ou um aumento na demanda de água pela vegetação propicia menores quantidades de chuvas atravessadas, alguns aspectos fisionômicos da vegetação propiciam o aumento na concentração pontual de chuvas no interior de uma floresta; as bromélias, por exemplo, acumulam água no interior de sua folhagem e, ao transbordar, alimentam um fluxo

contínuo de água que atinge diretamente o solo; os galhos superpostos podem incrementar gotejamento freqüente durante as chuvas.

Miranda (1992) observou que chuvas até 10 mm podem ser totalmente interceptadas pelas copas florestais. Aumentando linearmente o atravessamento com o aumento das chuvas, a interceptação torna-se insignificante durante chuvas maiores e de longa duração. Com isso, pode-se dizer que a interceptação pouco influencia as cheias máximas dos rios, quando, geralmente, transbordam e inundam as áreas adjacentes.

Lima e Nicolielo (1983) realizaram um estudo comparativo entre florestas homogêneas de pinheiros tropicais e vegetação natural de cerrado.

esta substituição não causou efeitos adversos ao regime de água do solo, esta economia no balanço hídrico representa muito em termos da maior produtividade alcançada pelas florestas homogêneas de pinheiros tropicais.

Escoamento pelo tronco

Miranda (1992) constatou que os fluxos de água no tronco representam em média, uma pequena parcela das chuvas (em torno de 1,8%) e variam consideravelmente no nível dos indivíduos vegetais: os menores volumes tendem a ocorrer nas árvores de diâmetro maior, principalmente as que desenvolvem suportes na base dos troncos (sapopemas), que além de absorver mais água, também

Tabela 1. Porcentagem em dia de Precipitação Interna (PI) e Precipitação em Aberto (P). Valores medidos de junho 1977 a junho 1980

P (%)	Cerradão	PI (%)	
		<i>P. oocarpa</i>	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>
100	72.7	88.0	88.3

Fonte: Lima e Nicolielo (1983)

Foram medidos valores semanais de precipitação interna (PI) e precipitação em aberto (P), sendo o resultado demonstrado na tabela 1. A perda por interceptação foi de aproximadamente 12% para as florestas de pinheiros tropicais e cerca de 27% para o cerrado.)

Lima e Nicolielo (1983) concluíram que ao substituir a vegetação natural de cerradão por plantações homogêneas com espécies de pinheiros tropicais, as perdas por interceptação foram diminuídas, para as condições do experimento em aproximadamente 130 mm anuais, e levando-se em consideração que

promovem o espraiamento do fluxo de tronco antes desse penetrar o solo. As palmeiras, em contrapartida, mostram os maiores volumes de fluxo de tronco em decorrência da geometria convergente de suas folhas e galhos. No mesmo estudo Miranda (1992) observou que uma determinada palmeira produziu um fluxo de tronco com 8,4 mm em resposta a uma chuva de 161,6 mm, o que representa 5,1% da chuva precipitada acima da sua copa, sugerindo que a principal variável-controle do fluxo de tronco é a morfologia da planta, em combinação com a estrutura do dossel.

Fluxos de água no solo

As características do solo e da água, os fenômenos de entrada de água pela superfície, bem como a transmissão através do perfil e a depleção da capacidade de armazenamento do solo definem a infiltração e o escoamento na superfície do terreno. Quando a camada superficial do solo sofre compactação, a água penetra com maior dificuldade, mesmo que o perfil do solo apresente condições favoráveis à percolação, fenômeno caracterizado pelos movimentos realizados pela água no interior do solo após a infiltração.

Vallejo (1982), em seu estudo realizado na Floresta da Tijuca, concluiu que a vegetação pode influenciar na camada superficial do solo, pois sua presença juntamente com o *litter*, ou camadas de matéria orgânica em decomposição, acaba protegendo o solo contra a compactação por gotas de chuva, por exemplo. O piso florestal, no caso a serapilheira, tem papel fundamental no que diz respeito a esse processo, mantendo condições ideais à infiltração e diminuindo o impacto causado pelas gotas ao atingirem o solo.

Quanto ao armazenamento de água na serapilheira florestal, Vallejo (1982) e Coelho Neto (1985) mostraram que a capacidade de retenção de água varia entre 130% a 330% em relação ao peso seco.

Laws (1941) mostrou que as gotas de chuva atingem 95% de sua velocidade terminal após caírem de cerca de 8 metros de altura. Desta forma, se as copas das árvores ultrapassarem esta altura, o efeito protetor da cobertura

florestal sobre a velocidade de queda das gotas é mínimo. O piso florestal termina por ter influência primordial quanto à compactação do solo por gotas d'água.

O corte raso e a colheita de forma desordenada das árvores de uma determinada floresta, o arraste de madeira e o excesso de trafegabilidade de máquinas de grande porte, representam a principal causa das modificações na capacidade de infiltração do solo.

Arend (1942), estudando a infiltração média em parcelas apresentando diferentes condições de piso florestal, observou que o piso florestal intacto tinha uma infiltração média de 59,9 mm.h⁻¹, já o piso removido mecanicamente possuía uma infiltração média de 49,3 mm.h⁻¹, o piso queimado anualmente 40,1 mm.h⁻¹, e a pastagem degradada apresentou a infiltração de 24,1 mm.h⁻¹.

Borges et al. (2005) encontraram valores médios de permeabilidade para diferentes usos do solo. Na área ocupada por florestas houve infiltração de 94,81 mm.h⁻¹, a área ocupada por eucalipto apresentou infiltração de 72,11 mm.h⁻¹, 36,01 mm.h⁻¹ em área com agricultura (cana-de-açúcar), e 8,95 mm.h⁻¹ em pastagem.

Dependendo da forma do sistema radicular das árvores, pode-se ter uma menor ou maior aeração e principalmente infiltração de água até as camadas mais profundas do solo. De acordo com Johnson (1940), a remoção do piso florestal reduz a capacidade de infiltração em cerca de 40%.

Um estudo realizado por Lull (1963), na Pensilvânia, analisando a infiltração em diferentes fases sucessionais, mostrou que a infiltração é maior na floresta clímax onde se registrou

a infiltração média de 76,2 mm.h⁻¹; já na floresta de pinheiro com 60 anos a infiltração foi de 62,7 mm.h⁻¹, na floresta de pinheiro com 30 anos foi de 74,9 anos e na pastagem abandonada observou-se infiltração de 42,7 mm.h⁻¹. De modo geral, pode-se dizer que a taxa de infiltração é diretamente proporcional à densidade e à idade do povoamento como também ao tamanho da cobertura florestal. Ou seja, quanto maior a cobertura e a densidade, e mais idade possuir a floresta, maior será a infiltração.

Conforme Schumacher e Hoppe (1998), no Brasil, a erosão carrega anualmente 500 milhões de toneladas de solo, o que corresponde a uma camada de solo de 15 cm numa área de 280.000 ha. Esse material acaba por se depositar nos rios e cursos d'água, causando uma elevação nos seus leitos e provocando enchentes. A floresta, portanto, desempenha importante papel na redução da erosão.

Estudos feitos em uma bacia hidrográfica experimental no Tennessee com 23% da área ocupada por florestas

e o restante por pastagens, constataram que o escoamento superficial atingiu 90% e as perdas do solo foram de 61 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Após 20 anos, estando toda a bacia florestada com *Pinus* sp. o escoamento superficial reduziu para 18% e as perdas do solo por erosão foram reduzidas para 1,2 0 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ (HURSH, 1948).

Em estudo realizado em Santa Maria-RS, por Silva (1997), sobre a avaliação das perdas de água e de solo em decorrência de diferentes sistemas de manejo dos resíduos da floresta de acácia negra em terreno levemente ondulado, verificou-se que a cobertura vegetal realmente desempenha importante papel no que se refere à amenização dos problemas decorrentes da erosão (Tabela 2).

Burger (1976) observou que o escoamento superficial da água é inversamente proporcional à cobertura florestal (Tabela 3).

Depois de infiltrar no solo, a água pode deixar a bacia hidrográfica de forma rápida através do processo de escoamento sub-superficial, percolar

Tabela 2. Perdas de água e solo em florestas, resíduos e queima de acácia negra – Período de Janeiro a Outubro de 1996

Tratamentos	Perda de água (mm)	Perda de solo (kg.ha ⁻¹)
Corte raso e queima	181,81	9.191,80
Resíduos de acácia negra	50,19	35,40
Floresta de acácia	41,16	8,10

Fonte: Silva (1997)

Tabela 3. Relação entre a área com cobertura florestal e o escoamento superficial

Cobertura florestal em %	Escoamento superficial em %
0	100
8	77
40	58
90	43
100	25

Fonte: Burger (1976)

em direção ao aquífero, ou fazer parte do reservatório do solo tornando-se disponível à absorção pelas plantas. A cobertura florestal geralmente reduz o nível da água do solo mais do que qualquer outra cobertura vegetal.

O movimento da água do solo é normalmente descrito através da equação geral de fluxo de massa: $Fluxo = (condutividade) \cdot (força impulsora)$, que é aplicada tanto em condições de saturação, quanto de não-saturação. A condutividade representa a medida de permeabilidade intrínseca do meio poroso e a força impulsora decorre da existência de um gradiente de potencial, o qual depende da tensão e da gravidade. São variáveis que dependem das características e condições específicas de solo, relevo e clima (LIMA, 1986).

Em áreas de topografia acentuada, como nas bacias hidrográficas de regiões montanhosas, o potencial gravitacional da água do solo é função, evidentemente, da diferença de elevação entre o ponto considerado e a saída da bacia. Isto significa que o gradiente de potencial do fluxo não saturado será maior nestas áreas. Portanto o solo e o substrato drenam mais rapidamente. Este fato tem importantes implicações para o entendimento do processo de geração do deflúvio nas bacias hidrográficas florestadas de mananciais. Durante os períodos com pouca ou sem chuva, a água do solo percola lentamente em direção ao aquífero, que alimenta o deflúvio da bacia. Em períodos chuvosos a infiltração é alta e as camadas superficiais do solo tendem a adquirir condições de saturação. Nestas condições, à medida em que a frente de molhamento estende-se em

direção a camadas mais profundas ou de menor permeabilidade do solo, a direção do fluxo da água na camada saturada do solo superficial é desviada ao longo da declividade do terreno, resultando no chamado escoamento subsuperficial ou interfluxo, que é responsável pela elevação rápida do deflúvio da bacia (HEWLETT, 1969).

De acordo com Shpak (1971), na estação de crescimento as camadas superficiais em áreas abertas secam mais rapidamente do que em áreas florestadas, ao contrário do outono, onde as camadas mais profundas do solo são mais secas sob florestas do que em áreas abertas.

Troendle (1970) observou que nas áreas de floresta folhosa mista da região dos Apalaches, as perdas de água do solo foram maiores sob florestas do que sob solo nu. Outros trabalhos, como os de Fletcher e Lull (1963), confirmam que o déficit de água foi maior nas áreas florestadas do que nas áreas de vegetação de menor porte.

Um estudo realizado por Gifford e Shaw (1963) comparou áreas de vegetação arbórea natural antes e depois da eliminação da vegetação. Observaram que os diferentes horizontes do solo apresentavam maior teor de umidade nas áreas após a retirada da vegetação.

Em habitats onde o lençol freático se encontra bem superficial, como áreas alagadiças e encostas de rios, sangas, lagos, etc., a floresta, pela sua evapotranspiração, auxilia no rebaixamento deste lençol. Alguns trabalhos têm apontado que quando ocorre a remoção da floresta, o lençol tende a subir novamente (LIMA, 1996).

A dinâmica das nascentes e do lençol freático pode ser modificada conforme diferentes formas de manejo da vegetação, podendo ser resumido da seguinte maneira:

a) Realização de troca de espécies vegetais que possuem o sistema radicular profundo por espécies com raízes superficiais. Isto implicaria na liberação da água das camadas do âmbito do sistema radicular para a alimentação das nascentes;

b) Remoção da vegetação onde as raízes atingem normalmente o lençol freático, resultando em aumento imediato na vazão das nascentes;

c) Utilização de práticas que levam à diminuição da infiltração da água no solo, o que tende a aumentar a formação de enxurradas, podendo diminuir a vazão das nascentes ou até mesmo comprometer a existência das mesmas.

De acordo com Schumacher e Hoppe (1998), os efeitos da floresta sobre o rebaixamento do lençol freático dependem basicamente da espécie florestal, da sua densidade de plantio, da forma do seu sistema radicular, dos tratamentos culturais e da colheita da mesma.

Evapotranspiração

A evaporação é o processo físico de conversão da água em vapor. Ocorre sempre que houver um gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante, que é altamente sensível à variação da temperatura e ao ar, cessando quando a umidade relativa do ar é 100%.

A presença da floresta protege a superfície do solo dos efeitos da radiação solar e do vento e aumenta a

superfície ativa, reduzindo dessa forma, a evaporação direta pelo piso florestal. No caso das áreas florestadas, a evaporação da água do solo ocorre pelo processo da transpiração. A evaporação direta da água do solo causa um secamento intenso, embora seja um fenômeno superficial. O secamento dessa camada superficial depende da textura do solo e, com as condições climáticas adequadas, passa a agir como barreira artificial ao secamento das camadas mais profundas do perfil.

Cardoso et al. (2006) afirmam que a quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na produção de água pela bacia. Segundo Roberts (1983), a evapotranspiração, que pode ser considerada como a perda da água na bacia hidrográfica, consiste em duas componentes: processo de interceptação e transpiração.

Muitos trabalhos, como de Calder (1976; 1977), Gash e Stewart (1977) e Stewart (1977), mostraram que a perda da água pela interceptação é mais importante na determinação da vazão da bacia com floresta do que outra cobertura vegetal. Dessa maneira, a interceptação tem recebido considerável atenção.

Tanto a parte aérea quanto a parte subterrânea de uma dada floresta influenciam na sua transpiração. Comparando-se coníferas a espécies folhosas, observa-se que as primeiras, por apresentarem maior área foliar (maior área evaporativa), menor albedo, maior interceptação da água da chuva, apresentam maior consumo de água (MOLCHANOV, 1963).

Alguns estudos mostram que em condições semelhantes de sistema radicular

e de desenvolvimento pode-se dizer que o consumo de água por diferentes florestas é praticamente o mesmo. Na Austrália um estudo realizado por Smith et al. (1974) observou os mesmos resultados para evaporação entre plantações de *Pinus radiata* e florestas naturais de eucaliptos. Lima e Freire (1976) em estudo realizado em Piracicaba, obtiveram também valores semelhantes para a evapotranspiração em plantações de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribea* var. *caribea*. Pilgrim et al. (1982) compararam o balanço hídrico entre bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas florestadas na Austrália (Tabela 4).

Os resultados obtidos demonstram que a evaporação direta e a transpiração entre as diferentes coberturas possuem valores semelhantes.

A transpiração é influenciada por inúmeros fatores tais como o clima, idade e espécie da planta, umidade do solo, entre outros, fatores que geram uma grande variação espacial na mesma (ROBERTS, 1983).

Estudos realizados por Bruijnzeel (1990), Arcova et al. (1998) mostraram uma grande amplitude de valores da evapotranspiração para florestas tropicais. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelos dois trabalhos.

Tabela 4. Balanço hídrico de bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas florestais

Processo	Bacia com <i>Pinus</i>	Bacia com <i>Eucalyptus</i>
Precipitação anual (mm)	871	895
Interceptação anual (mm)	163	95
Transpiração + evaporação direta do solo (mm)	627	638
Deflúvio anual (mm)	72	127
Varição da água do solo (mm)	9	35

Fonte: Pilgrim et al.. (1982)

Tabela 5. Precipitação e evapotranspiração anual de florestas tropicais

Local	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (mm)
Florestas de baixa altitude		
*Reserva Ducke, Brasil	2648	1311
*Grégoire II, G. Francesa	3697	1437
*Barro Colorado, Panamá	2425	1440
*Tai II, Ivory Coast	1986	1363
*Babinda, Austrália	4037	1421
*Tonka, Suriname	2143	1630
Florestas de montanha		
*Sierra Nevada, Colômbia	1983	1265
*San Eusebio, Venezuela	1576	980
*Kericho, Kenya	2130	1337
*Perinet, Madagascar	2081	1295
*Mbeya, Tanzânia	1924	1381
**Serra do Mar B, Brasil	2013	540
**Serra do Mar D, Brasil	2159	604

Fonte: *Bruijnzeel (1990) e **Arcova et al.. (1998)

Os resultados evidenciam a diferença na quantidade de água evapotranspirada mesmo que para mesmos tipos florestais, tanto em florestas de baixa altitude quanto em florestas de montanha.

Estudando a bacia hidrográfica do rio Debossan em Nova Friburgo - RJ, que fica inserida em um fragmento de Floresta Ombrófila Densa, Cardoso et al. (2006) encontraram o valor médio de evapotranspiração de 88% da precipitação média para o período de um ano. O valor máximo de evapotranspiração observado foi de 94% da precipitação registrada no referido mês, e o mínimo de 57% do total precipitado no mês.

Conclusões

Verificou-se que a presença ou não da vegetação e que o tipo de vegetação têm grande influência na distribuição da água em um manancial. Para analisar os efeitos desta vegetação sobre a quantidade de água ofertada em uma bacia hidrográfica, deve-se estudar sua influência nos vários compartimentos do processo, interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxos de água no solo, por exemplo, e não somente o deflúvio final da bacia.

Foi possível constatar também que a floresta em si não tem contribuições significativas quanto ao volume de precipitação de um dado local, porém quando se trata dos efeitos da floresta

sobre outros aspectos, como regulação do microclima e preservação do solo, esta se torna imprescindível.

Ainda neste trabalho foi possível observar exemplos em que substituição da vegetação nativa, por plantações florestais aumentou a produção d'água na bacia, por diminuir a perda por interceptação. Porém, é um fato que deve ser estudado em todo o ciclo de rotação da plantação, para que se avalie também os efeitos do corte raso e do período de estabelecimento da floresta plantada, onde a proteção do solo fica comprometida.

No que diz respeito à conservação do solo é inegável a proteção exercida pela cobertura vegetal viva (floresta) e também pela morta (serapilheira), e estas características podem ser empregadas no manejo de bacias hidrográficas, para produção de água de boa qualidade.

Dada a importância e necessidade de se verificar a influência da vegetação (floresta) sobre o ciclo hidrológico, a presente revisão possibilita a melhor compreensão dos processos hidrológicos envolvidos no sistema, e demonstra a necessidade de mais estudos sobre a relação destes fatores em nossas florestas, pois apesar do que já se sabe, sobre a influência da vegetação sobre o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, cada situação tem suas particularidades que devem ser levadas em conta no momento de se executar qualquer intervenção.

Referências

ARCOVA, F.C.S.; LIMA, W.P.; CICCO, V. Balanço hídrico de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. *Revista Instituto Florestal*, São Paulo, v.10, n.1, p.39-51, 1998.

ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n.2 - Março/Abril. 2003.

AREND, J.L. Infiltration as Affected by the forest floor. *Soil Science Society America Proc.* Vol. 6: 430-435, 1942.

BLAKE, G.J. The interception process. In: *Prediction in catchment hydrology*. Australian Academy of Science. 1975.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.55, p.3-23, 1982.

BORGES, M.J.; DISSARRA T.C.T.; VALERI, S.V.; OKUMURA, E.M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. *Revista Scientia Florestalis*. IPEF, Piracicaba, n.69. Dezembro, pg. 93-103. 2005

BRUIJNZEEL, L.A. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: BRUIJNZEEL, L. A. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. Amsterdam: IAHS, 1990. p. 5-38.

BURGER, D. *Tópicos de manejo florestal ordenamento florestal: a produção florestal*. Curitiba: UFPR, 1976

CALDER, I.R. The measurement of water losses from a forested area using a “natural” lysimeter. *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.30, p.311-325, 1976.

CALDER, I.R. A model of transpiration and interception loss from a spruce forest in Plynlimon, central Wales. *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.33, p.247-265, 1977.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; MARTINS, S.V. e SOARES, C.P.B. Caracterização hidroambiental da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.249-256, 2006.

COELHO NETO, A.L. *Surface Hifology and Soil Erosion in a Tropical Moutainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro*. Leuven (Belgium): 1985.181f. Tese (Doutorado...), Katholike Universiteit Leuven.

DELFS, J. 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, 1967

- FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; DALLAROSA, R.L.G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Acta Amazonia*. Manaus. v. 35, n. 1, 2005.
- FLETCHER, P.W.; LULL, H.W. Soil moisture depletion by a Hardwood forest during drouth years. *Soil Science Society of America Proc*, v.27, n. 1, p. 94-98, 1963.
- FRECHETTE, Interception of rainfall by a laurentian balsam fir forest. *Naturaliste Canadian*, 96(4):523-529, 1969.
- GASH, J.H.C.; STEWART, J.B. The evaporation from Thetford Forest during 1975. *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.35, p.385-396, 1977.
- GIFFORD, G. F. e SHAW, C. B. Soil moisture patterns on two chained Pinyon-Juniper sites in Utah. *Journal of Range Management*, v. 26, n. 6, p. 436-440, 1963
- GILMAN, C. S. Rainfall. In: *Handbook of applied hydrology*. Ven te chow Ed. McGraw-Hill. Book Co., p9-1 a 9-68, 1964.
- HELVEY, J. D. Rainfall interception by eastern white pine. *Water Resources Research*, v. 3, n. 3, p. 723-729, 1967.
- HEWLETT, J.D. *Principles of Forest Hydrology*. Athens: University of Georgia Press, 1969. 74 p.
- HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W.E.; LULL,H.W. (eds.) *Forest Hydrology*, New York: Pergamon, 1967. p.527-543.
- HURSH, C. R. *Local climate in the Copper basin of Tennessee as modified by the removal of vegetation*. USDA, Circular 774, 38p. 1948.
- JOHNSON, W. M. Infiltration capacity of forest soil as influenced by litter. *Journal of forestry*. Bethesda, Maryland. v. 38. p.520, 1940.
- KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas: conceitos básicos. In: Curso de Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal, *Apostila*, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.
- KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. *Revista OESP Construção*, São Paulo: Estado de São Paulo, Ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.
- LACEY, G.C.; GRAYSON, R.B. Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal Hydrology*., Amsterdam, v.204, p.231-250, 1998.
- LAWS, J. O. Measurements of the fall-velocity of water-drops and raindrops. *Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 22: 709-721.1941
- LIMA, W. P.;NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerradão. *Revista Scientia Forestalis*, IPEF, Piracicaba, v. 24, p.43-46, 1983.

LIMA, W.; FREIRE, O. Evapotranspiração em plantações de eucalipto e pinheiro e em vegetação herbácea natural. *Revista Scientia Forestalis*, IPEF, n.12, p.103-117, jun. 1976.

LIMA, W. de P. *Impacto ambiental do eucalipto*, Univ. de São Paulo, FAPESP, 306p, 1996.

LIMA, W. P. *Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas*. Piracicaba, ESALQ, 1986.

LULL, Ecological and silvicultural aspects. In: *Handbook of applied hydrology*. Ven te chow. McGraw-Hill. Book Co. N. York. P6-1 a 6-30. 1963.

MAIA, J. L. S. III Simpósio IPEF Silvicultura intensiva e o desenvolvimento sustentável. IPEF, Piracicaba, v. 8, n. 24, p. 1-89, 1992.

MIRANDA, J.C. *Interceptação das chuvas pela vegetação florestal e serapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ*. Rio de Janeiro: 1992.100f. Tese (Mestrado...) IGEO/UFRJ.

MOLCHONOV, A. A. *The Hydrological Role of Forest*. Jerusalém: [s.n.] 1963. 407p.

NATHAN, R.J.; McMAHON, T.A. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis. *Water Resources Research*, Washington, v.26, p.1465-1473, 1990.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. de; DIAS, H. C. T.; Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 29, n. 1, Janeiro/Fevereiro 2005.

PILGRIM, D. H.; DORAN, D. G.; RONBOTTON, J. A.; MACKAY, S. M.; TSENDANA, J. *Water balance and runoff characteristic of mature and cleared pine and eucalypt catchments at Lidsdale*, New South Wales. The First National Symposium on Forest Hydrology. Australia, The Institution of Engineers, National Conference publication n° 82/6, p. 103-110. 1982

PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. *Hidrologia de superfície*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 179p.

ROBERTS, J. Forest transpiration: A conservative hydrological process? *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.66, p.133-141, 1983.

ROGERSON, T. L. Thinning increases Throughfall in loblolly pine plantations. *Journal of Soil and water conservation*. Ankeny (Iowa-USA) v. 23, n. 4, p. 141-142, 1968.

SAVENIJE, H.H.G. New definitions for moisture recycling and the relation with land-use changes in the Sahel. *Journal Hydrology*, Amsterdam, v.167, p.57-78, 1995.

SHPAK, I. S. *The effects of forests on the water balance of drainage basins*. Translated from Russian. Israel Program For Scientific translations Ltd. 258p. 1971.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. *A floresta e a água*. Vol 2. Porto Alegre: AFUBRA, 1998. 70p.

- SILVA, L. L. da. *Ecologia: manejo de áreas silvestres*. Santa Maria. 1997. 396 p.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Edusp / ABRH, 1997, 35-51p.
- SMITH, M. K.; WATSON, K. K.; PILIGRIM, D. N. *A comparative study of the hydrology of radiata pine and eucalypt forest at Lidsdale*. New South Wales. I. E. Australia. G. E. Transactions CE – 16:82-86, 1974
- STEWART, J.B. Evaporation from the wet canopy of a pine forest. *Water Resources Researche*, Washington, v.13, p.915-921, 1977.
- TRIMBLE, S.W.; WEIRICH, F.H.; HOAG, B.L. Reforestation and the reduction of water yield on the southern Piedmont since circa 1940. *Water Resources Researche*, Washington, v.23, p.425-437, 1987.
- TROENDLE, C. A. *A comparison of soil-moiture loss from forested and clearcut areas in west Virginia*. USDA Forest Service Research Note NE-120. 8p. 1970
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Universidade/UFRGS. ABRH, 1997. 946p.
- VALLEJO, L.R. *A influência do litter florestal na distribuição das águas pluviais*. Tese de Mestrado, IGEO/UFRJ, 1982.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: Mc Graw Hill, 1975, 247p.