

## Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras

Joana Nery Giglio<sup>1</sup>, Masato Kobiyama<sup>2</sup>

joana\_n\_g@yahoo.com.br; kobiyama@ens.ufsc.br

Recebido: 13/07/12 - revisado: 19/10/12 - aceito: 18/02/13

### RESUMO

A partir de revisão bibliográfica, constatou-se que os estudos de interceptação no Brasil se concentram na Amazônia e em Mata Atlântica, e pouco se sabe sobre esses processos em outros ambientes brasileiros. Na Mata Atlântica, 8,4–20,6% da chuva é interceptada; 47,6–97,4% da chuva atravessa a copa como chuva interna; e 0,2–3,3% da chuva escoam pelos troncos. Na Amazônia, a interceptação, a chuva interna e o escoamento de tronco correspondem a 7,2–22,6%, 76,8–91% e 0,6–1,8% da chuva total, respectivamente. Com base na revisão bibliográfica, o presente artigo sugere: (i) realização de estudos de quantificação da interceptação onde estes inexistem ou são insuficientes; (ii) medição de chuva interna com densidade de coletores comparável à de coletores de chuva total; (iii) medição de chuva interna e escoamento de tronco em intervalos de tempo equivalentes ao utilizado para monitorar a chuva total; (iv) realização de estudos de interceptação em bacias experimentais integrados aos estudos de outros processos hidrológicos; (v) estimativa dos parâmetros necessários para a modelagem da interceptação; e (vi) realização de estudos que relacionem a interceptação com características físicas da vegetação.

**Palavras-chave:** chuva interna, escoamento de tronco, medição, Brasil.

### INTRODUÇÃO

A chuva que cai sobre uma bacia florestal é naturalmente fracionada em três parcelas: parte dela é interceptada e armazenada pela vegetação, e evapora durante ou após o evento de chuva; outra parte cai livremente sobre o solo, sem interferência da vegetação, ou depois de ser interceptada e gotejar; e a terceira parte alcança o solo escoando pelos troncos, após ser interceptada. Assim, o processo de interceptação redistribui a água da chuva, e parte do volume incidente não chega ao solo. Portanto, para gerenciar os recursos hídricos em uma bacia que contém floresta, é necessário entender como a floresta influencia a interceptação e como a água da chuva é redistribuída nesse ambiente.

A interceptação é o primeiro processo pelo qual a água da chuva passa na bacia hidrográfica. Portanto, seu desprezo ou o erro na sua estimativa automaticamente introduz erro na modelagem chuva-vazão (SAVENIJE, 2004). Em termos de balanço hídrico, o volume da interceptação não é desprezível.

Perdas por interceptação de até 36% da chuva total foram registradas em florestas chilenas (O-YARZÚN et al., 2011); 22,4% em floresta de sequóias estadunidense (REID & LEWIS, 2009); 22% em coníferas no Himalaia (LOSHALI & SINGH, 1992). Em florestas brasileiras, perdas por interceptação de até 37,6% foram registradas em vegetação ripária de cerrado (LIMA & LEOPOLDO, 2000); 22,6% na região amazônica (CUARTAS et al., 2007); e 20,6% em Mata Atlântica (ALVES et al., 2007). Ainda, a água interceptada na superfície da vegetação é a porção de água da bacia que está mais disponível para evaporação (HEWLETT, 1982). Em climas quentes, a evaporação da água interceptada é uma parcela significativa da evaporação total (SAVENIJE, 2004).

O escoamento de tronco e a chuva interna são os processos responsáveis pela transferência da água da chuva da copa para o solo da floresta (LEVIA JR. & FROST, 2003). Diversos processos hidrológicos e biogeoquímicos são influenciados pelo escoamento de tronco, tais como: geração de vazão, erosão, recarga de aquíferos, distribuição espacial da umidade no solo, composição química da solução do solo e distribuição da vegetação de sub-bosque e epífitas (LEVIA JR. & FROST, 2003). No entanto, como os volumes do escoamento de tronco são, em

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina

geral, muito pequenos, esse processo tem sido negligenciado em muitos estudos.

A interceptação, a chuva interna e o escoamento de tronco são influenciados, entre outros fatores, pelo clima e cobertura vegetal da região. Sabe-se que o Brasil tem uma grande diversidade de climas e tipos de vegetação. O IBGE classifica a vegetação brasileira em 28 formações, inseridas em 19 grupos fisionômicos e em 6 classes climáticas, além das formações pioneiras (restingas, manguezais e comunidades aluviais) (VELOSO, 1991). Portanto, o objetivo do presente artigo foi realizar revisão bibliográfica e, a partir desta, identificar prioridades para pesquisas sobre o particionamento da chuva em cada tipo de floresta brasileira.

É importante enfatizar que a revisão aqui apresentada não abrange a totalidade das investigações já realizadas sobre interceptação em florestas brasileiras. Foram incluídos os estudos publicados até 2012, com ênfase no monitoramento da interceptação, chuva interna ou escoamento de tronco, ou que minimamente apresentassem resultados de medição em campo desses processos. Por questões de acesso à informação, esta revisão está restrita às publicações que satisfazem um dos seguintes critérios:

- 1) publicações – em língua portuguesa ou inglesa – em periódicos com acesso livre na internet ou disponíveis no portal da Capes;
- 2) publicações em anais de eventos ou boletins institucionais, disponíveis em meio digital ou impresso, caso citados pelas publicações do item 1.

## PANORAMA DA MEDIÇÃO DE INTERCEPTAÇÃO

Um dos primeiros trabalhos notáveis no estudo de interceptação foi o de Horton (1919). A partir dos registros de quantificação da interceptação existentes até então e de seus próprios experimentos, Horton estabeleceu as primeiras suposições sobre esse processo hidrológico:

- 1) o volume das perdas por interceptação é função da capacidade de armazenamento da vegetação, da intensidade da chuva, e da evaporação durante o evento;
- 2) o percentual das perdas por interceptação decresce com a intensidade da chuva;

- 3) os volumes de escoamento de tronco são significativos, mas seu percentual em relação à chuva é pequeno;
- 4) a interceptação é maior em coníferas do que em latifoliadas.

Ainda, o mesmo autor apresentou uma descrição detalhada dos mecanismos de interceptação, com croquis do armazenamento da água em folhas de diferentes espécies; também descreveu os primeiros coletores de escoamento de tronco: pequenas calhas pregadas em torno do tronco previamente descascado, preenchidas de areia para manter o formato, e conectadas a um recipiente de armazenamento. Exceto por algumas adaptações, esse é o coletor que se usa até hoje para medir escoamento de tronco.

Em 1965, durante o Simpósio Internacional sobre Hidrologia Florestal sediado na Pensilvânia (SOPPER & LULL, 1967), os resultados de medição de interceptação em diferentes países foram reunidos e discutiu-se a formulação matemática da interceptação, os detalhes dos mecanismos, e os métodos de medição. Nessa ocasião, Hibbert (1967) apresentou uma importante revisão sobre os efeitos do manejo florestal na produção de água: a redução da cobertura florestal a aumenta, e o estabelecimento de cobertura vegetal a reduz. Sintetizando a sessão sobre florestas e precipitação do Simpósio, Hewlett (1967) destacou o papel da floresta como redistribuidora da água da chuva; manifestou a insatisfação com a qualidade da medição de chuva total; mencionou discordâncias sobre o termo “perdas por interceptação”; apontou evidências de que a água interceptada evapora muito mais rapidamente que a evaporação potencial, e pode ter efeito de concorrência com as taxas de transpiração; mencionou a falta de conhecimento sobre os mecanismos de transferência de energia e massa líquida envolvidos no processo; comentou que o desconhecimento sobre o exato mecanismo dos processos não deveria inibir futuros estudos que ainda utilizassem os métodos tradicionais; e sugeriu que novos conceitos e métodos de medição ainda precisavam ser desenvolvidos.

Complementando a revisão de Hibbert (1967), Bosh & Hewlett (1982) confirmaram os efeitos de aumento e redução na produção de água ocasionados pela redução e aumento da cobertura vegetal, respectivamente, mas não investigaram os mecanismos envolvidos nessa influência. No mesmo ano, Hewlett (1982) comentou que as suposições existentes até então sobre o papel da interceptação para o balanço hídrico das bacias hidrográficas ain-

da não eram suficientemente boas e que, portanto, o processo precisava ser medido em diferentes regiões, climas e tipos de floresta. Desde então, houve esforços para medição de interceptação em florestas em diferentes partes do mundo.

Em 1994, no Simpósio Internacional de Hidrologia Florestal sediado em Tóquio (OHTA et al., 1994), a interceptação foi discutida na comunidade científica novamente, dessa vez com enfoque maior na modelagem do processo.

Em revisão sobre o impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento, Tucci & Clarke (1997) colocaram que a redução da evaporação devido à redução da interceptação causada pelo desmatamento exerce pouco efeito sobre a precipitação, entretanto contribui para o aumento do escoamento.

Llorens & Gallart (2000) desenvolveram um método simples para estimar o armazenamento de água na cobertura florestal. O método consiste em medir o armazenamento em elementos da vegetação (folhas, galhos, troncos) e então extrapolar para uma área a partir da quantificação desses elementos com o uso de fotografias da vegetação capturadas do solo para cima.

Recentemente, Czikowsky & Fitzjarrald (2009) propuseram um novo método para estimar interceptação, através de medições micro-meteorológicas de fluxo turbulento. Os autores defendem que o método, ao inferir diretamente a interceptação em vez de calcular a diferença entre a chuva total e a chuva interna, evita os erros de medição devido à heterogeneidade da copa – um problema freqüente nos estudos de interceptação. Seus resultados são coerentes com medições anteriores na Floresta Amazônica. Se validado para outras regiões, pode ser uma ferramenta útil para a alimentação de modelos com informações de interceptação. Entretanto, o método não contribui para o esclarecimento do mecanismo da interceptação, de seus fatores influenciadores, e de sua influência sobre as florestas e as bacias.

## CONHECIMENTOS GENÉRICOS

Os estudos da redistribuição da chuva pela vegetação mostram que esse processo é heterogêneo (Tabela 1). É notável que os valores de interceptação, chuva interna e escoamento de tronco variam entre as regiões climáticas, mas também entre estudos na mesma região. Essa variação concorda com a suposição de Horton (1919), confirmada por estu-

dos recentes (por exemplo, Crockford & Richardson, 2000), de que a interceptação depende das características da chuva e da vegetação.

Em revisão sobre a influência da vegetação e do clima no particionamento da chuva, Crockford & Richardson (2000) fizeram algumas considerações importantes:

- 1) é difícil extrair conclusões gerais sobre a influência de um tipo de floresta nas perdas por interceptação porque estas dependem também das características da chuva e outras condições meteorológicas;
- 2) as características de uma floresta que influenciam a interceptação não são fáceis de identificar e quantificar;
- 3) densidade de árvores, inclinação dos galhos, uniformidade da altura da copa, características da casca, forma e inclinação das folhas, e índice de área foliar são todas características que influenciam a interceptação.

Kuraji et al. (2001) mediram os volumes mensais de chuva total, chuva interna e escoamento de tronco em floresta de ciprestes, durante dois anos hidrológicos consecutivos. Observaram que o percentual de perdas por interceptação foi maior no ano com mais eventos de chuva e menor volume total precipitado. Os autores sugeriram então que as perdas por interceptação podem estar mais relacionadas com o número de eventos do que com o volume total de chuva.

Cattan et al. (2009) observaram que o escoamento de tronco e o gotejamento oriundos de uma bananeira geraram escoamento superficial mesmo em um solo com alta permeabilidade, e defendem que essa influência da vegetação deve ser investigada nos estudos de geração de vazão.

Reid & Lewis (2009) monitoraram chuva total, chuva interna e escoamento de tronco em duas parcelas (1 ha) em floresta de sequóias e Douglas-fir. Em cada parcela, instalaram 6 coletores (1,35 m<sup>2</sup>) de chuva interna em balanças, com registro automático a cada 5 minutos. Em uma das parcelas, instalaram coletores de escoamento de tronco em 24 árvores, com registro automático de dados em 6 delas, e medição do volume acumulado em intervalos de 2 dias a 4 semanas nas restantes. Comparando a evolução dos processos medidos ao longo do tempo, estimaram que a evaporação da folhagem após a chuva é responsável por 46% das perdas por interceptação; o restante (54%) evapora durante o evento ou fica armazenado por mais tempo nas cascas dos troncos.

**Tabela 1 - Alguns valores de interceptação (*I*), chuva interna (*Tf*) e escoamento de tronco (*Sf*) registrados nas regiões tropicais, temperadas, áridas e semi-áridas. Percentuais em relação à chuva total.**

Região	<i>I</i> (%)	<i>Tf</i> (%)	<i>Sf</i> (%)	Referência
Tropical	13,3–22,6	76,8–86	0,6	Cuartas et al. (2007)
	–	–	0,6–13,6	Levia Jr. & Frost (2003)
	7,2	91	1,8	Lloyd & Marques (1988)
	14,5	82	3,5	Manfroi et al. (2004)
	12–17	82–87	0,9–1,5	Tóbon Marin et al. (2000)
Temperada	26,7–42,4	–	–	Gash et al. (1980)
	30,6–68,4	30,6–65,2	1–7,6	Horton (1919)
	12–14	74–76	12	Kuraji et al. (2001)
	–	–	0,9–20	Levia Jr. & Frost (2003)
	11–36	64–87	0,3–3,4	Oyarzún et al. (2011)
	22,4	75,1	2,5	Reid & Lewis (2009)
Árida e semi-árida	–	–	0,8–45	Levia Jr. & Frost (2003)
	13	81	6	Medeiros et al. (2009)
	27,2	27–69,7	0,6–5,6	Návar & Bryan (1990)

### Chuva interna

Loescher et al. (2002) estudaram a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical na Costa Rica, e observaram: grande variabilidade entre os coletores; em coletores individuais, o volume de chuva interna pode ultrapassar o da chuva total devido o efeito de afunilamento; a partir de uma certa quantidade de coletores – 15 no caso desse estudo – a variância se estabiliza e coletores adicionais já não contribuem para a precisão da média; a independência espacial entre os coletores pode ser alcançada com espaçamento mínimo que depende do tamanho das copas e aberturas – 45 m no caso da floresta estudada por eles.

Konishi et al. (2006) estudaram a distribuição espacial da chuva interna em floresta tropical.

Utilizaram: 100 coletores de chuva interna (22,75 cm de diâmetro) alinhados com espaçamento de 1 m; duas calhas retangulares (7,08 m<sup>2</sup> e 9,58 m<sup>2</sup>) conectadas a pluviógrafo de balança com registro automático da chuva interna; e fotografias hemisféricas para estimar o índice de cobertura da copa. Esses autores elucidaram alguns mecanismos desse processo, tais como: sob aberturas na copa, a chuva interna alcança maiores médias e com menor desvio padrão; pontos com alto índice de abertura da copa originam altos valores de chuva interna, mas pontos com baixo índice de abertura da copa têm distribuição dos valores de chuva interna bastante esparsa, indicando que a abertura da copa não é o único fator que influencia esse processo; a distribuição espacial da chuva interna é regulada por mecanismos em diferentes escalas, que variam do tamanho de copas individuais até o tamanho de clareiras presentes na vegetação. Loescher et al. (2002) sugeriram que grandes copas de árvores e aberturas são responsáveis por grande parte da variabilidade espacial do volume de chuva interna.

### Escoamento de tronco

Levia Jr. & Frost (2003) revisaram os trabalhos realizados em medição de escoamento de tronco, e encontraram uma grande amplitude de valores (Tabela 1). Comentaram que parte dessa variabilidade diz respeito às diferentes regiões climáticas, com médias distintas: tropicais (3,5%), temperadas (11,3%) e áridas e semi-áridas (19%). E ainda, que dentro de cada região ainda existe variabilidade, que atribuíram a: diferenças inter- e intra-específicas; densidade e composição de espécies das parcelas; características dos eventos de chuva; condições meteorológicas; e sazonalidade.

Em sua revisão, Levia Jr. & Frost (2003) traçaram o estado da arte do estudo de escoamento de tronco, e reuniram informações que ajudam a explicar a influência de diversos fatores nesse processo hidrológico. Aqui, resumimos algumas delas:

- 1) Sobre a influência das características da chuva: em geral, o escoamento de tronco aumenta com a magnitude e diminui com a intensidade da chuva, com exceção de condição meteorológica quente e com vento, quando a intensidade e o tamanho das gotas são decisivos para a redução da evaporação.
- 2) Quanto à influência do vento: a incidência persistente deste na vegetação movimenta a copa e a água interceptada é redistribuída

copa abaixo, com tamanhos de gota e ângulos aleatórios.

- 3) Sobre a sazonalidade: em florestas decíduas, a parcela da chuva que escoar pelos troncos é maior no inverno do que no verão; em coníferas, as estações do ano parecem não influenciar essa proporção.
- 4) Atuam na variabilidade entre espécies: a estrutura da copa (quantidade, geometria e área projetada dos galhos), e as características da casca (porosidade, fisiologia e composição química, textura, capacidade de retenção de água e taxa de secagem).
- 5) Há variações intra-específicas na geração de escoamento de tronco. Entretanto, o único fenômeno já conhecido que explica essa variabilidade é que árvores mais velhas em geral produzem menos escoamento de tronco e mais lixiviados.

Ainda sobre a influência do vento, Crockford & Richardson (2000) relataram que o ângulo da chuva com vento afeta significativamente a produção de escoamento de tronco. Kuraji et al. (2001) observaram que a produção de escoamento de tronco aumenta com a velocidade do vento.

Quanto à importância das características da vegetação, Rutter (1963) encontrou correlação linear entre o escoamento de tronco e o quadrado do diâmetro da árvore. Mais recentemente, Oyarzún et al. (2011) encontraram correlação entre o escoamento de tronco e o diâmetro na primeira potência, possivelmente refletindo a influência do tamanho da copa. Crockford & Richardson (2000) mencionaram o tamanho e a angulação das folhas como um fator influenciador da produção de escoamento de tronco, assim como obstruções ao fluxo, que formam pontos de gotejamento. Kuraji et al. (2001) observaram indícios de que há significativo armazenamento de água nas cascas dos troncos. Scatena (1990) relatou que a presença de epífitas, lianas e taquaras reduz a produção de escoamento de tronco, em consequência da maior área disponível para a retenção de água que essas plantas conferem à vegetação.

Outra característica expressiva do escoamento de tronco é seu papel na distribuição espacial da água da chuva. A entrada concentrada de água no solo devido ao escoamento de tronco influencia drasticamente a umidade do solo (LEVIA JR. & FROST, 2003) e a geração de escoamento (CAT-TAN et al., 2009).

## Qualidade da água

Kuraji et al. (2001) estudaram as influências da copa e do tronco de um cipreste na concentração de íons do escoamento do tronco, através de um coletor logo abaixo da copa e outro à altura do peito, e observaram: que as concentrações de íons (exceto  $H^+$ ) eram maiores no início do evento, e então decaíam; e que a presença de íons na água escoada pelo tronco não se deve somente à lixiviação de partículas depositadas na árvore, mas também às interações com a casca do tronco e com a copa.

Levia & Frost (2003) encontraram indícios da existência de relação da concentração de nutrientes do escoamento de tronco com a estação do ano e com características da casca, i.e., os cátions estão mais presentes na água escoada pelo tronco no inverno que no verão; e maiores rugosidades e capacidades de armazenamento do tronco aumentam o tempo de residência da água e contribuem para o enriquecimento químico da água escoada pelo tronco.

## Influência dos métodos de medição

Crockford & Richardson (2000), em sua revisão, identificaram que a maior dificuldade no estudo da interceptação ainda é a qualidade dos dados medidos, não só de chuva interna e escoamento de tronco, mas também de chuva total.

As dificuldades de medição de chuva total são, basicamente, de dois tipos:

- 1) A generalização de uma medida pontual para toda a área de estudo, o que envolve a escolha do local – ou locais – de medição, e o método de interpolação;
- 2) Os efeitos aerodinâmicos que levam a erros sistemáticos de medição, tanto em pluviômetros instalados acima da copa como em clareiras (Gash et al., 1980).

Quanto à medição de chuva interna, uma das dificuldades é a grande variabilidade espacial em pequena escala, principalmente em florestas heterogêneas (LLOYD & MARQUES, 1988). Para evitar os erros oriundos dessa variabilidade, Lloyd et al. (1988) experimentaram utilizar lonas plásticas de 90 m<sup>2</sup> para a coleta da chuva interna, mas o dispositivo necessitava de manutenção diária por causa de danos causados por insetos. Então sugeriram a relocação aleatória de coletores como uma alternativa aos coletores fixos; e mencionaram que a relocação ao longo de uma linha é melhor que a relocação em

uma área. Os mesmos autores apresentaram curvas com o provável erro da estimativa da média da chuva interna em função do número de coletores e de realocações. Em substituição aos coletores relocados periodicamente, Cuartas et al. (2007) sugerem o monitoramento de chuva interna com conjuntos de calha e pluviógrafo, que apresentaram resultados satisfatórios quando comparados ao método de Lloyd & Marques (1988).

Návar (2011) salientou a importância da escala e da unidade em que se expressa os resultados de escoamento de tronco. Mediu esse processo em 18 árvores em floresta temperada e 62 arbustos de vegetação semi-árida subtropical. Extrapolou da escala de indivíduos para a de parcelas com base nas características das árvores (diâmetro, altura e área da copa). Observou um aumento de três vezes no percentual de escoamento de tronco quando extrapolado dos indivíduos para as parcelas, para os dois tipos de vegetação. Também observou que os volumes de escoamento de tronco na floresta temperada foram maiores que na vegetação de savana. Entretanto, em altura de chuva equivalente, a vegetação de savana produziu mais escoamento de tronco que a floresta temperada.

Ainda, Rutter (1963) comentou a dificuldade em escolher um tamanho adequado de coletor para escoamento de tronco, ou seja, um que coletasse todo o escoamento de tronco sem receber chuva interna. Mencionou também a existência de um fenômeno que chamou de gotejamento de tronco, que gerou erros nas suas estimativas de chuva interna, devido a coletores posicionados a menos de 15 cm de troncos.

## MEDIÇÃO EM FLORESTAS BRASILEIRAS: BIOMAS

Uma das primeiras iniciativas de medição de intercepção no Brasil é de Lima (1976), em povoaamentos de *Pinus* e de eucalipto, onde mediu chuva interna e escoamento de tronco. Mais tarde, Lima (1979) também foi o pioneiro em medição de concentração de nutrientes no processo de intercepção, dessa vez apenas em chuva interna, em povoamento de *Pinus*. Assim como esses trabalhos, grande parte dos estudos de intercepção no Brasil foi realizada em florestas plantadas (Tabelas 2 e 3).

Entre os estudos com medição da intercepção em florestas nativas brasileiras, predominam os realizados na região Amazônica e em Mata Atlân-

tica (Figura 1). O IBGE (2004) divide o Brasil em 6 biomas terrestres, que representam agrupamentos de tipos de vegetação contíguos e



Figura 1 - Distribuição dos estudos de intercepção em florestas nativas nos biomas brasileiros.

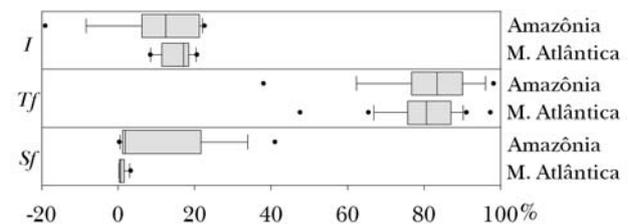


Figura 2 - Estatística dos registros de intercepção ( $I$ ), chuva interna ( $Tf$ ) e escoamento de tronco ( $Sf$ ) nos biomas Amazônia e Mata Atlântica. Os blocos representam o 25º (esq.) e o 75º (dir.) percentis, e a mediana; as caudas indicam o 10º e o 90º percentis; os pontos indicam os valores fora dos 10º e o 90º percentis.

com condições climáticas similares: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Visto que a redistribuição da chuva é influenciada tanto pela vegetação quanto pelo clima (Crockford & Richardson, 2000), os biomas são uma unidade adequada para uma avaliação preliminar da distribuição dos estudos de intercepção nas diferentes condições de vegetação e clima do país. A Figura 1 apresenta a distribuição dos estudos de intercepção

Tabela 2 - Estudos com medição de interceptação em florestas nativas no Brasil

Tipo de floresta ou espécie, idade, manejo ou estado de conservação		I (%)	Tf (%)	Sf (%)	Referência
	Ombrófila Aberta de Terra Firme, primária	2,4	89,8	7,8	Germer et al. (2006)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	–	80,2	–	Franken et al. (1992)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	8,9	89,3	1,8	Leopoldo et al. (1987)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	21,3	78,4	0,3	Leopoldo et al. (1987)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	–	98,2	–	Lopes et al. (2007) ♣
	Ombrófila Densa de Terra Firme	21,5	76,8	1,7	Oliveira et al. (2008)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	12,9	86,2	0,8	Ubarana (1996)
	Ombrófila Densa de Terra Firme	11,6	87	1,4	Ubarana (1996)
	Ombrófila Densa de Terra Firme, primária	7,2	91	1,8	Lloyd & Marques (1988)
	Ombrófila Densa de Terra Firme, primária	–	80,8	–	Ferreira et al. (2005)
	Ombrófila Densa de Terra Firme, primária	13,3–22,6	76,8–86	0,6	Cuartas et al. (2007)
	Ombrófila Densa de Terra Firme, c/ extração de madeira	–	91	–	Ferreira et al. (2005)
	<i>Eschweilera</i> e <i>Noecarpus</i> , de floresta primária	-19,1–21,2	76,2–95,92,6–23,2		Schroth et al. (1999, 2001) ♦
Amazônia	<i>Phenakospermum guyannense</i> , pousio, 10 anos regeneração	21	38	41	Hölscher et al. (1998) ♦
	Pousio, 2,5 anos de regeneração	12	65	23	Hölscher et al. (1998) ♦
	Pousio, vegetação espontânea, <i>Vismia spp.</i>	3,1	76,6	20,3	Schroth et al. (1999, 2001) ♦
	Mediana	12,0	83,7	1,8	
	Amplitude	41,7	33,2	40,7	
	Estacional Semidecidual, estágio inicial regeneração	18,4	80,9	0,8	Alves et al. (2007)
	Estacional Semidecidual, estágio avançado regeneração	20,6	79	0,4	Alves et al. (2007)
	Estacional Semidecidual, secundária	12,4	87,4	0,2	Castro et al. (1983)
	Estacional Semidecidual, secundária	18,3	80	1,7	Oliveira Jr. & Dias (2005)
	Estacional Semidecidual, secundária	16	80,7	3,3	Souza et al. (2007) ★
	Estacional Semidecidual, secundária	–	–	1	Shinzato et al. (2011)
	Litorânea Paludosa	–	70	–	Britez et al. (1998)
	Litorânea Seca	–	78	–	Britez et al. (1998)
	Ombrófila Densa Aluvial, capocira	–	84	–	Sheer (2009) ♣
	Ombrófila Densa Montana, secundária	–	–	–	Arcova & Cicco (1987) ♦
	Ombrófila Densa Montana, secundária	–	–	–	Forti et al. (2005) ♣
	Ombrófila Densa Montana, urbana	–	–	–	Forti et al. (2005) ♣
	Ombrófila Densa Montana, secundária	18,6	81,2	0,2	Cicco et al. (2007)
	Ombrófila Densa Montana, secundária	18,2	80,7	1,1	Cicco et al. (2007)
	Ombrófila Densa Submontana, secundária	–	87	–	Sheer (2009) ♣
	Ombrófila Densa das Terras Baixas, primária	12,7	84,9	2,4	Moura et al. (2009)
	Ombrófila Densa das Terras Baixas, 22 anos	–	88,4	–	Souza & Marques (2010) ♣
	Ombrófila Densa das Terras Baixas, 35 anos	–	87,3	–	Souza & Marques (2010) ♣
	Ombrófila Densa das Terras Baixas, mais de 60 anos	–	80,5	–	Souza & Marques (2010) ♣
	Ombrófila Mista, capoeirão	–	47,6	–	Thomaz (2005)
	Ombrófila Mista, faxinal	–	77	–	Thomaz (2005)
Mata Atlântica	Degradada pela poluição atmosférica	–	72,1	–	Timoni (1992)
	Secundária, preservada	–	65,5	–	Timoni (1992)
	Secundária, preservada	8,4	70,7–97,40,3–0,5		Cesar et al. (1990)
	Secundária, preservada	8,6	91,1	0,3	Nalon & Vellardi (1992)
	Mediana	17,1	80,7	0,8	
	Amplitude	12,2	49,8	3,1	

Continua

Continuação Tabela 2

Outras	Estacional Semidecidual com Cerrado, secundária	23±8	67	10	Vieira & Palmier (2006)
	Cerradão	–	72,7	–	Lima & Nicolielo (1983)
	Mata Ciliar em Cerradão	37,6	61,5	0,9	Lima & Leopoldo (2000)
	Caatinga arbórea, preservada	13	81	6	Medeiros et al. (2009)
	Mediana	23	69,8	6	
	Amplitude	24,6	19,5	9,1	

*I* é intercepção pela copa; *Tf* é chuva interna; *Sf* é escoamento de tronco; valores de *I*, *Tf* e *Sf* em percentual em relação à chuva total total no período.

– processo não medido

♦ mediu concentração de nutrientes na chuva total, na *Tf* e no *Sf*

♣ mediu concentração de nutrientes na chuva total e na *Tf*

★ mediu parâmetros físico-químicos de qualidade de água na chuva total, na *Tf* e no *Sf*

Tabela 3 - Estudos com medição de intercepção em florestas plantadas no Brasil

Tipo de floresta ou espécie, idade, manejo ou estado de conservação		<i>I</i> (%)	<i>Tf</i> (%)	<i>Sf</i> (%)	Referência
Florestas plantadas	<i>Acacia mangium</i>	14,4	52,2	33,4	Balicio et al. (2007) ♦
	<i>Anadenanthera falcata</i>	–	87,5	–	Gênova et al. (2007)
	<i>Araucaria angustifolia</i> , 29 anos	10,4	89,4	0,2	Sousa et al. (2009)
	Cupuaçu	0,5	99,2	0,3	Schroth et al. (1999, 2001) ♦
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> , 15 anos	–	–	1	Shinzato et al. (2011)
	<i>Eucalyptus grandis</i>	15,6	78,5	5,9	Balicio et al. (2007) ♦
	<i>Eucalyptus grandis</i> , 2-3 anos	13,7	78,2	8,1	Andrade et al. (1995) ♦
	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i> , híbrido, 3 anos	–	84–146	–	Sato et al. (2011)
	<i>Eucalyptus saligna</i> , 6 anos	12,2	83,6	4,2	Lima (1976)
	Gliricídia, agrofloresta com cultivo em alcias	32	67	0,74	Perez-Marin & Menezes (2008) ♦
	<i>Pinus caribaea</i> , 13 anos	–	88,3	–	Lima & Nicolielo (1983)
	<i>Pinus caribaea</i> , 6 anos	6,6	90,4	3	Lima (1976, 1979) ♣
	<i>Pinus elliotii</i>	–	73,1	–	Gênova et al. (2007)
	<i>Pinus oocarpa</i> , 13 anos	–	88	–	Lima & Nicolielo (1983)
	<i>Pinus sp.</i> , 12 anos	–	–	1	Shinzato et al. (2011)
	<i>Pinus taeda</i> , 30 anos	21,4	71,2	7,4	Chaffe et al. (2010)
	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	11,9	78,7	9,4	Balicio et al. (2007) ♦
	Pupunha (para fruta)	13,9	61,4	24,7	Schroth et al. (1999, 2001) ♦
	Pupunha (para palmito)	12,3	67,1	20,6	Schroth et al. (1999, 2001) ♦
	Seringueiras, 15 anos	22,5	70,4	7,1	Rodrigues (2009)
	Pupunha, castanha-do-pará, cupuaçu e urucum	6,4	90,2	3,4	Schroth et al. (1999, 2001) ♦
	<i>Pseudosamanea guachapele</i> e <i>Eucalyptus grandis</i>	11,8	82,6	5,6	Balicio et al. (2007) ♦
	<i>Tapirira guianensis</i>	–	69,2	–	Gênova et al. (2007)
Espécies de mata ciliar de Cerrado	–	86,8	–	Gênova et al. (2007)	
Espécies de Mata Atlântica	–	88,6	–	Coelho Netto et al. (1986)	
	Mediana	12,3	83,1	5,6	
	Amplitude	31,5	93,8	33,2	

*I* é intercepção pela copa; *Tf* é chuva interna; *Sf* é escoamento de tronco; valores de *I*, *Tf* e *Sf* em percentual em relação à chuva total total no período.

– processo não medido

♦ mediu concentração de nutrientes na chuva total, na *Tf* e no *Sf*

♣ mediu concentração de nutrientes na chuva total e na *Tf*

ção em florestas nativas nos biomas brasileiros. Estão representados no mapa os estudos da Tabela 2, localizados pelas coordenadas geográficas fornecidas pelos autores, ou aproximados conforme descrição da área de estudo.

### Amazônia

Em florestas da Amazônia, a interceptação varia entre -19,1 e 22,6%; a chuva interna entre 38 e 98,2%; e o escoamento de tronco entre 0,3 e 41% da chuva total (Figura 2). Essa grande amplitude de valores se deve à heterogeneidade da vegetação e de características dos eventos de chuva, mas também a fatores como a diversidade de métodos de medição, escala dos estudos, e intervalo de tempo de monitoramento. Schroth et al. (1999), por exemplo, estudaram interceptação na escala de indivíduos, e encontraram chuva interna maior que a chuva total sob a copa dos gêneros *Eschweilera* e *Oenocarpus*, – daí os valores negativos de interceptação. Se considerarmos apenas os estudos com escala explicitamente maior que 100 m<sup>2</sup> (CUARTAS et al., 2007; FERREIRA et al., 2005; LLOYD & MARQUES, 1988; e OLIVEIRA et al., 2008), o intervalo de percentuais de interceptação reduz para 7,2–22,6%; de chuva interna para 76,8–91%; e de escoamento de tronco para 0,6–1,8%.

Lloyd & Marques (1988) quantificaram chuva interna e escoamento de tronco e estudaram a variabilidade espacial desses processos em floresta de terra firme na Reserva Florestal Ducke, na Amazônia Ocidental.

Ubarana (1996) mediu chuva interna e escoamento de tronco e estimou os parâmetros para o modelo de Rutter (RUTTER et al., 1971), i.e., capacidade de armazenamento na copa (1,03 e 1,25 mm) e no tronco (0,09 e 0,10 mm), coeficiente de chuva interna (0,031 e 0,044) e coeficiente de escoamento pelo tronco (0,010 e 0,023), para as reservas Jaru e Vale do Rio Doce, respectivamente.

Schroth et al. (1999) estudaram a distribuição espacial e compararam os volumes de escoamento de tronco e chuva interna em cinco diferentes tipos de uso do solo na Amazônia Ocidental: agrofloresta (pupunha, castanha-do-pará, cupuaçu e urucum), monocultura de pupunha e de cupuaçu, pousio e floresta primária. Concluíram que: as palmeiras e dicotiledôneas têm comportamentos muito distintos como redistribuidoras da água da chuva; as palmeiras interceptam mais água que as dicotiledôneas; a cultura de cupuaçu redistribui pouco a chuva; nas palmeiras (devido ao escoamento de tronco) e nas castanheiras (devido à chuva interna) a prin-

cipal entrada de água no solo é junto ao tronco; e os percentuais de chuva interna e escoamento de tronco medidos na agrofloresta são semelhantes aos encontrados em floresta primária amazônica por Lloyd & Marques (1988).

Na Amazônia Oriental, Hölscher et al. (1998) estudaram interceptação em dois pousios: um com vegetação diversificada, de 2,5 anos de idade; e outro com predominância de *Phenakospermum guyannense*, de 10 anos de idade. Nas duas parcelas, foram observados percentuais de escoamento de tronco da ordem de dez vezes maior que os já medidos até então na região. Os autores atribuíram essa grande proporção ao formato da planta *P. guyannense*, semelhante a uma bananeira, e ao formato da copa da *Banara guianensis* – espécie abundante na parcela mais nova – com galhos inclinados que convergem ao tronco. Percentuais da mesma ordem de grandeza foram encontrados por Schroth et al. (1999), também em pousio na região Amazônica, mas com predominância de *Vismia spp.*

Na Amazônia Central, na Estação de Manejo Florestal do INPA, Ferreira et al. (2005) mediram chuva interna em floresta primária de terra firme e em floresta submetida à extração seletiva de madeira, e observaram que a extração de 34m<sup>3</sup>/ha de madeira não alterou significativamente a chuva interna.

Cuartas et al. (2007) realizaram monitoramento automático de chuva interna e escoamento de tronco em bacia experimental em floresta de terra firme, no Amazonas, e registraram percentuais de interceptação, chuva interna e escoamento de tronco de 13,3%, 86% e 0,6% em ano úmido; e 22,6%, 76,8% e 0,6% em ano seco. Cuartas et al. (2007) observaram também que na estação úmida a interceptação varia na faixa de 13–21% da chuva total, e na estação seca a faixa é mais ampla, de 12–25%.

Na Amazônia, os estudos se concentram quase todos em formações Ombrófila Densa de Terra Firme. Há apenas um estudo em floresta Alberta de Terra Firme (GERMER et al., 2006), e não foram encontrados estudos em comunidades aluviais, i.e., em Mata de Igarapó. Um quarto dos estudos nesse bioma não mediu escoamento de tronco e, portanto, são pouco úteis para estudo de interceptação da chuva. Entre os estudos que contemplaram chuva interna e escoamento de tronco, o intervalo de medição mais utilizado foi o semanal (OLIVEIRA et al. 2008; UBURAMA, 1996; LLOYD & MARQUES, 1988). Germer et al. (2006) mediu a cada evento de chuva; e Cuartas et al. (2007) mediram a cada 5 minutos.

### Mata Atlântica

Em florestas da Mata Atlântica, os intervalos de valores registrados são: 8,4–20,6% da chuva é interceptada; 47,6–97,4% da chuva atravessa a copa como chuva interna; e 0,2–3,3% da chuva escoam pelos troncos (Figura 2). Apesar da maior variedade de tipos florestais estudados na Mata Atlântica (Tabela 2), é notável a menor amplitude dos valores registrados nesse bioma em relação à Amazônia. Essa menor amplitude de dados na Mata Atlântica pode ser explicada por dois aspectos:

- 1) pelos estudos na escada de indivíduos realizados na Amazônia, que aumentam a heterogeneidade de dados naquele bioma, como já comentado;
- 2) em Mata Atlântica, não há estudos em áreas com estágio de regeneração tão iniciais quanto os de Hölscher et al. (1998) e de Schroth et al. (1999, 2001), na Amazônia.

Um dos primeiros estudos de quantificação da interceptação em vegetação de Mata Atlântica foi realizado por Castro et al. (1983). Eles mediram chuva interna e escoamento de tronco em três parcelas com diferentes porcentagens de cobertura de copa, em Floresta Estacional Semidecidual, e identificaram que a proporção de cobertura da copa explica parcialmente as variações entre as parcelas. No mesmo tipo de floresta, Souza et al. (2007) mediram parâmetros físicos de qualidade da água – pH, condutividade elétrica, turbidez e cor aparente – na chuva total, chuva interna e escoamento de tronco e observaram: comportamento estacional na qualidade da água da chuva interna; e que a floresta aumentou a condutividade, a cor e a turbidez da água da chuva. Também em Floresta Estacional Semidecidual, Alves et al. (2007) monitoraram chuva interna e escoamento de tronco em dois diferentes estágios de regeneração, e não encontraram diferença estatisticamente significativa nos percentuais desses processos entre os dois estágios.

Na Serra do Mar, Cesar et al. (1990) e Nalon & Vellardi (1992) mediram chuva interna e escoamento de tronco em bacia experimental com cobertura de floresta preservada em Cubatão-SP, e observaram comportamento sazonal nesses processos. Em períodos chuvosos, a porção de chuva interceptada foi maior que em períodos secos, comportamento dirigido principalmente pela chuva interna – que variou de 87% em período chuvoso a 94% em período seco. Timoni (1992) comparou a chuva interna na mesma floresta com uma floresta degra-

dada pela poluição atmosférica, também em Cubatão-SP, e observou que na vegetação saudável a chuva interna é menor (65%) do que na vegetação alterada (72%).

Também na Serra do Mar, uma série de estudos em bacia experimental coberta por floresta secundária, no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, foram publicados por Arcova, Cicco e outros (ARCOVA & CICCIO, 1987; CICCIO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003; FORTI et al., 2005; CICCIO et al., 2007). Entre 1986 e 1988, na bacia D, registraram percentuais de interceptação da água da chuva na copa entre 2,1 e 57,5%, para eventos individuais; e de 16,6% do total da chuva total em um ano (CICCIO & ARCOVA, 1998). Na mesma época, mediram concentração de nutrientes na chuva total, chuva interna e escoamento de tronco; e observaram que o padrão das concentrações de K, Ca e Mg da chuva interna e do escoamento de tronco não ocorre na chuva total, indicando que a contribuição da chuva para o aporte de nutrientes provém da lixiviação da vegetação (ARCOVA & CICCIO, 1987). O mesmo trabalho também relatou que as concentrações de nutrientes são maiores no escoamento de tronco, mas a chuva interna é responsável pelos maiores fluxos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ). Uma década depois, realizaram medições de chuva interna e escoamento de tronco em bacia experimental vizinha (bacia B), e encontraram valor próximo ao primeiro estudo, i.e., 18,6% da chuva total foi interceptada, em um período de 6 meses (CICCIO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003). Mais recentemente, Cicco et al. (2007) estudaram o balanço hídrico das bacias experimentais e relacionaram a interceptação com outros processos hidrológicos, concluíram que em média a interceptação, a chuva interna e o escoamento de tronco representam 18,4%, 81% e 1% da chuva total, respectivamente. Forti et al. (2005) mediram a concentração de 14 íons na chuva total e na chuva interna, na mesma floresta e em uma floresta urbana exposta a poluição atmosférica. Notaram que a chuva interna na floresta urbana apresentou pH inferior (5,3 contra 6,4) e com menores diferenças sazonais que na outra floresta. Observaram também maiores fluxos anuais de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na floresta urbana, tanto na chuva total como na chuva interna. Verificaram ainda indícios de que o fluxo de íons na chuva interna se deve ao estado nutricional da vegetação e não só à poluição do ar.

Em Floresta Ombrófila Densa, Sheer (2009) mediu a concentração de nutrientes na chuva interna em capoeira e em mata secundária, e estimou aportes de K, Ca e Mg equivalentes a 65%, 5% e

15% da deposição total dos nutrientes no solo, respectivamente. Em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Souza & Marques (2010) mediram concentração de nutrientes em chuva interna em três fragmentos de floresta secundária com diferentes idades de regeneração (20, 35 e mais de 60 anos). Em todas as parcelas estudadas, os autores observaram tanto retenção quanto lixiviação de nutrientes pela vegetação, e comentaram a dificuldade de generalizar esse comportamento em ecossistemas tão complexos.

Quase metade dos estudos de interceptação no bioma Mata Atlântica realizou medições de chuva interna, mas não de escoamento de tronco (Tabela 2). Esses estudos, importantes para outras áreas do conhecimento, não servem para a compreensão da interceptação como um processo hidrológico. Poucos dos estudos em Mata Atlântica foram realizados em bacias experimentais, em combinação com monitoramento de outros processos hidrológicos (CESAR et al., 1990; CICCIO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003). Ainda, os estudos mencionados não estimaram os parâmetros proporção de cobertura florestal, capacidade de armazenamento da copa, proporção de água desviada da copa para o tronco, capacidade de armazenamento do tronco, e relação entre taxa de evaporação de tronco e taxa de evaporação de copa. Esses parâmetros são necessários para a modelagem de interceptação com o modelo de Rutter (RUTTER et al., 1971). Portanto, a modelagem de interceptação em florestas do bioma Mata Atlântica ainda carece dessas informações. Não foi encontrado estudo de interceptação em Floresta Ombrófila Mista, o que indica uma lacuna no conhecimento do papel dessa floresta na redistribuição de chuvas.

### Caatinga

Na Caatinga, Medeiros et al. (2009) mediram chuva interna e escoamento de tronco em bacia experimental coberta por caatinga arbórea preservada, na Reserva Ecológica Aiuaba, e observaram que 13% da chuva é interceptada; 81% atravessa a copa como chuva interna; e 6% escoou pelo tronco. É importante notar a importância desses processos no balanço hídrico do local: a proporção do escoamento superficial em relação à chuva total é igual à do escoamento de tronco (6%) e menor que metade da interceptação.

Apesar da notável importância da interceptação no balanço hídrico da Caatinga, ainda são raros os estudos dedicados à compreensão desse processo hidrológico nesse ambiente (Figura 1,

Tabela 2). Sendo a Caatinga um bioma completamente relacionado ao estresse hídrico, essa compreensão é de vital importância para a gestão de recursos hídricos na região. Apenas dois estudos de interceptação com monitoramento de chuva interna e escoamento de tronco foram encontrados na região, sendo um deles em floresta plantada e apenas um em floresta nativa (Figura 1, Tabela 2 e Tabela 3).

Montenegro & Ragab (2012) investigaram o impacto das mudanças climáticas e do uso do solo no semi-árido brasileiro, através de modelagem hidrológica, e mencionaram a carência de dados de interceptação naquela região, e a conseqüente deficiência ocasionada na modelagem.

É necessária a quantificação desses processos em mais locais com vegetação semelhante, para confirmar o estudo de Medeiros et al. (2009), e em outras fisionomias de caatinga, até que se tenha estudos suficientes para abranger a heterogeneidade fisionômica desse bioma. De maneira geral, há uma escassez de estudos de interceptação em regiões de clima semi-árido. Através do estudo da Caatinga, o Brasil tem o potencial de contribuir com a comunidade científica internacional provendo informações sobre os mecanismos da interceptação da água da chuva em vegetação adaptada ao estresse hídrico.

### Cerrado

Lima & Nicolielo (1983) mediram chuva interna (72,7% da chuva total) em reserva de cerrado. Lima & Leopoldo (2000) quantificaram chuva interna e escoamento de tronco em vegetação ripária em região de Cerrado, na Fazenda Experimental São Manuel, da UNESP. Observaram que esses processos corresponderam a 61,5% e 0,9% da chuva total, respectivamente, enquanto a interceptação foi responsável pela perda de 37,6% da chuva por evaporação.

Vieira & Palmier (2006) mediram chuva interna e escoamento de tronco em vegetação formada por remanescentes secundários de Floresta Estacional Semidecidual e de Cerrado. Estimaram as perdas por interceptação para diferentes classes de chuva, que variam de 78,8% (0–2,5 mm de chuva) a 21,2% (40–60 mm de chuva).

É importante destacar que não foi encontrado nenhum estudo em Cerrado propriamente dito. Entre os estudos realizados sobre esse bioma aqui apresentados, um foi realizado em cerrado (LIMA & NICOLIELO, 1983); outro em vegetação ripária (LIMA & LEOPOLDO, 2000); e o terceiro, em vegetação mista de Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual (VIEIRA & PALMIER, 2006). A Figura

I mostra que esses estudos não se situam no interior da região Cerrado, e sim na transição entre esse bioma e a Mata Atlântica. Logo, os valores apresentados nesta seção devem ser olhados com cautela antes de utilizados para representar a intercepção em vegetação de Cerrado típico.

### Florestas plantadas

Em florestas plantadas, os estudos de intercepção são notavelmente mais frequentes entre os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Tabela 3). Entre os estudos em *Pinus*, os registros de chuva interna estão entre 71,2 e 90,4%, variabilidade que parece estar relacionada com a idade do plantio, i.e., o percentual de chuva interna decresce com a idade do povoamento (Tabela 3). Os registros de escoamento de tronco e perdas por intercepção em plantios desse gênero são insuficientes para generalizações, por serem poucos e heterogêneos.

Em plantios de eucalipto, o alto percentual de chuva interna encontrado por Sato et al. (2011) se destaca, possivelmente pelo método de medição utilizado. Como o estudo foi desenvolvido para verificar o efeito de afunilamento, foram utilizados coletores em arranjo radial, a partir do tronco, em intervalos de 50 cm. Se olharmos apenas para o menor valor encontrado por Sato et al. (2011) – média dos coletores nas entrelinhas de plantio, conforme metodologia clássica – então os percentuais de chuva interna nesse gênero (78,2–84%) se assemelham aos do gênero *Pinus* (Tabela 3). Os percentuais de escoamento de tronco são igualmente heterogêneos nos eucaliptos (1–8,1%); e as perdas por intercepção estão entre 12,2 e 15,6%.

No Agreste paraibano, Perez-Marin & Menezes (2008) mediram volumes de chuva total, chuva interna e escoamento de tronco e concentrações de N, P e K nesses processos em agrofloresta de gliricídia. Os autores observaram: que os volumes de escoamento de tronco são maiores em árvores podadas; que os aportes de N, P e K pela chuva interna são de 9, 2 e 62 kg/ha respectivamente, em média duas vezes o aporte desses nutrientes pela chuva total.

Em região de Cerrado, Gênova et al. (2007) mediram chuva interna em plantio de espécies de mata ciliar de cerrado e em outros três plantios: *Anadenanthera falcata*, *Pinus elliottii* e *Tapirira guianensis*. Os percentuais de chuva interna observados nos plantios puros foram de 87,5%, 73,1% e 69,2%,

respectivamente. No plantio com espécies de cerrado, esse percentual foi de 86,8%.

Chaffe et al. (2010) monitoraram e modelaram a intercepção em uma bacia experimental (10,2 ha) no planalto norte catarinense, reflorestada com *Pinus taeda* há 30 anos. Com os resultados do monitoramento e modelagem, Chaffe et al. (2010) estimaram os seguintes parâmetros do processo de intercepção: proporção de cobertura florestal, capacidade de armazenamento da copa, proporção de água desviada da copa para o tronco, capacidade de armazenamento do tronco, e relação entre taxa de evaporação de tronco e taxa de evaporação de copa. Comparando resultados de modelagem chuvavazão com e sem consideração de informações de intercepção, Chaffe et al. (2010) concluíram que as informações de intercepção melhoram o desempenho da modelagem, principalmente para períodos com menor disponibilidade hídrica.

### MEDIÇÃO EM FLORESTAS BRASILEIRAS: MECANISMOS

Arcova et al. (2003) identificaram comportamento distinto da intercepção em duas épocas do ano: entre outubro e março – período mais úmido, quando as chuvas são intensas – as parcelas da chuva interna e do escoamento de tronco foram maiores, e as perdas por intercepção foram de 16% da chuva total; entre abril e setembro – período menos úmido, quando as chuvas são contínuas e pouco intensas – os percentuais de chuva interna e escoamento de tronco foram menores, e a média das perdas por intercepção foi de 26% da chuva total. Cuartas et al. (2007) observaram influência significativa das variações inter-anuais e inter-sazonais da chuva total na intercepção, que atribuiu às mudanças de intensidade e duração médias dos eventos. Moura et al. (2009) observaram, para chuvas da mesma magnitude, respostas distintas em diferentes épocas do ano, que atribuíram a condições climáticas, intensidade da chuva, e intervalo entre eventos. Essa variabilidade sazonal da intercepção tem impacto no balanço hídrico (Cuartas et al., 2007).

Castro et al. (1983) defendem que as características da chuva são o fator de maior influência nos totais de intercepção, enquanto as características da copa são as responsáveis pelo particionamento da chuva em chuva interna e escoamento de tronco. Reportaram também a influência da porcen-

tagem de cobertura da copa na interceptação. Em Floresta Estacional Semidecidual, a parcela experimental com maior cobertura da copa (80,5%) registrou a maior perda por interceptação (14,5%), e a parcela com menor cobertura da copa (61,5%) registrou a menor perda por interceptação (9,6%). Brites et al. (1998) atribuíram o diferente percentual de chuva interna em dois tipos de Mata Atlântica, seca e paludosa (Tabela 2), à diferença na estrutura da vegetação, já que a floresta paludosa tem dois estratos arbóreos e dossel mais contínuo e fechado em comparação ao da floresta seca.

### Chuva interna

Lloyd & Marques (1988) mostraram que a distribuição de frequência da chuva interna (expressa em porcentagem da chuva total) não é normal, e tem assimetria positiva, mas pode ser aproximada de uma gaussiana com a transformação raiz-quadrada.

A taxa de interceptação tende a decrescer com o aumento da chuva, conforme constatações de Moura et al. (2009) e Sousa et al. (2009). Esse comportamento pode ser explicado pela tendência da chuva interna de crescer com o volume da chuva total, comportamento observado em diferentes coberturas vegetais, como povoamentos de pinheiro, eucalipto (LIMA, 1976) e de *Araucaria angustifolia* (SOUSA et al., 2009), e vegetação de cerrado (LIMA & NICOLIELO, 1983) e Mata Atlântica (CICCO & ARCOVA, 1998; ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JR. & DIAS, 2005). O volume de chuva explicou entre 98% e 99,3% da variação da chuva interna nos estudos de Lima (1976), Arcova et al. (2003), Oliveira Jr. & Dias (2005) e Sousa et al. (2009).

Sobre a variabilidade espacial da chuva interna, Sato et al. (2011) observaram efeito de afunilamento da chuva interna para as proximidades dos troncos, onde o volume desse processo é frequentemente superior ao da chuva total. Esse efeito se mostrou influenciado pelas características da chuva, i.e., o afunilamento da chuva interna foi mais acentuado em dias com mais de 5 mm de chuva.

Schroth et al. (1999) notaram que a interceptação nas palmeiras é muito maior que nas dicotiledôneas, e que a distribuição espacial da chuva interna é muito diferente entre os dois tipos de árvore. Atribuíram esse fenômeno às características da folha das palmeiras: sulco pronunciado na face superior do pecíolo, proporcionando acúmulo de água, e curvatura ascendente da base do pecíolo ao meio da folha e descendente do meio à extremidade, direcionando o fluxo para as extremidades. Diferentemente das palmeiras, na castanha-do-pará e no

urucum a chuva interna foi maior próximo aos troncos do que nas extremidades da copa. As características dessas árvores também explicam o fenômeno: a copa da castanheira é muito mais densa na periferia do que no centro; e as folhas no interior da copa do urucum são fortemente inclinadas, direcionando quase toda a água para chuva interna.

### Escoamento de tronco

O escoamento de tronco em florestas brasileiras heterogêneas e bem desenvolvidas ocorre, tipicamente, em percentuais entre 0,2 e 10% da chuva total (Tabela 2). Esses valores se assemelham aos registrados em regiões tropicais (0,6–13,6%), listados por Levia Jr. & Frost (2003). Há relatos de percentuais maiores (até 41%) desse processo, mas apenas em estudos com uma ou poucas espécies (Tabela 2), o que não representa a realidade das florestas naturais do país.

O escoamento de tronco não responde à chuva total da mesma maneira que a chuva interna. A magnitude da chuva só explicou 37% da variação desse processo em pinheiros e 79% em eucaliptos (LIMA, 1976), 80,5% em Mata Atlântica (ARCOVA et al., 2003) e 86,4% em araucárias (SOUSA et al., 2009). Essa informação sugere que o escoamento de tronco sofre maior influência das características da vegetação do que a chuva interna. Ainda, têm-se observado situações em que a produção de escoamento de tronco só ocorre em eventos de chuva cuja altura ultrapassa um limite mínimo. Esse fenômeno foi reportado por Lima (1976) em florestas plantadas de eucalipto (mínimo de 2,5 mm de chuva) e pinheiro (4 mm), por Castro et al. (1983) em Floresta Estacional Semidecidual (4,5 mm) e por Cicco & Arcova (1998) em Mata Atlântica (4,5 mm). Essa observação parece indicar que a produção do escoamento de tronco só se inicia quando uma capacidade de armazenamento da vegetação é superada pela chuva.

Lima (1976) registrou volumes menores de escoamento de tronco em *Pinus caribacea* do que em *Eucalyptus saligna*, diferença que atribuiu à maior rugosidade da casca dos pinheiros. Balieiro et al. (2007) observou maior produção de escoamento de tronco em plantação de *Acacia mangium* do que em *Eucalyptus grandis* e *Pseudosamanea guachapele*, e sugeriu a influência do maior percentual de folhas verdes e maior altura da copa na primeira espécie.

Lloyd & Marques (1988) observaram grande influência das palmeiras no escoamento de tronco. Schroth et al. (1999) observaram volumes de escoamento de tronco muito maiores na plantação de

pupunha e no pousio do que na floresta primária observada por Lloyd & Marques (1988), por causa da dominância das palmeiras na plantação de pupunha e da quantidade de troncos no pousio. Hölscher et al. (1998) observaram que *Phenakospermum guyannense* – planta com formato semelhante à bananeira – e *Banara guianensis* – com galhos inclinados que convergem ao tronco – foram responsáveis por percentuais de escoamento de tronco da ordem de dez vezes maior que os valores típicos da região.

Moura et al. (2009) observaram que a vegetação do sub-bosque pode ser mais importante para a produção de escoamento de tronco que o estrato superior: em monitoramento em remanescente primário de Mata Atlântica, o percentual do escoamento de tronco no sub-bosque ( $5 < \text{DAP} < 20\text{cm}$ ) foi quatro vezes do que nas árvores com  $\text{DAP} > 20\text{cm}$ .

### Qualidade da água

A quantificação da concentração de nutrientes é comum entre os estudos de interceptação em florestas plantadas.

Lima (1979) observou que a interação da água da chuva com a copa de floresta plantada de *Pinus caribae* diminuiu o pH da água de 5,2 para 4,5; aumentou condutividade elétrica em aproximadamente 3 vezes; e lixiviou Ca, Mg e P para o solo.

Andrade et al. (1995) estudaram a contribuição da chuva interna para a disponibilidade de nutrientes (Ca, K, Mg, N, P e  $\text{SO}_4$ ) em plantação de *Eucalyptus grandis*. Observaram que alguns elementos (P e N) ficaram retidos na copa, e outros foram lixiviados (K, Ca, Mg e  $\text{SO}_4$ ); e que a retenção de nutrientes na copa depende do estado nutricional das árvores.

Balieiro et al. (2007) mediram o volume, pH e a concentração de Ca, K, Mg, N, Na, P e  $\text{SO}_4$  na chuva total, chuva interna e escoamento de tronco em plantações de *Acacia mangium*, *Eucalyptus grandis* e *Pseudosamanea guachapele*, e em consórcio de *E. grandis* e *P. guachapele*. Nos quatro diferentes povoados, a água que atravessou as copas apresentou pH mais alto que o da chuva total (pH=4,3); o guachapele foi a espécie que mostrou esse efeito mais intenso, elevando o pH a 6. A chuva interna aumentou a concentração de todos os nutrientes na água, exceto P, em todos os stands, com efeito significativamente maior para  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^{2+}$  no stand de *A. mangium*. As concentrações de todos os nutrientes foram ainda maiores nas amostras de escoamento de tronco em todas as espécies, com exceção do  $\text{N-NH}_4^+$  na amostra de *E. grandis*, único caso em que a concen-

tração diminuiu. O aporte de nutrientes ao solo foi maior através da chuva interna do que através do escoamento de tronco, devido aos pequenos volumes deste. Essa lixiviação de nutrientes resulta que o aporte de nutrientes ao solo é maior através da chuva interna e do escoamento de tronco do que seria através da chuva sem interferência da vegetação.

Na Amazônia Central, Schroth et al. (2001) mediram a concentração de nutrientes (N total, P total, K, Ca e Mg) da chuva total, chuva interna e escoamento de tronco em diferentes usos e coberturas do solo. Os mesmos autores concluíram que a concentração de nutrientes nos três processos hidrológicos medidos é influenciada pela magnitude do evento de chuva, espécies de árvores, sistema de uso do solo e estado nutricional das árvores. Nas árvores de floresta primária, as concentrações de N foram altas, mas as de P foram baixas, na chuva interna e no escoamento de tronco. As maiores concentrações de P foram observadas no escoamento de tronco do urucum. Os fluxos de nutrientes em ambos os componentes da chuva foram maiores nas parcelas experimentais com maior densidade de árvores, e com maior cobertura da copa. Concluíram que a chuva interna e o escoamento de tronco são mais relevantes para a ciclagem de K e para a distribuição espacial em pequena escala dos nutrientes no solo.

### ESTUDOS NECESSÁRIOS NO BRASIL

De modo geral, os estudos sobre interceptação em florestas temperadas são mais abundantes que em florestas tropicais e subtropicais e, conseqüentemente, os mecanismos envolvidos nos processos são mais compreendidos nesses ambientes. Lloyd & Marques (1988) sugerem que as florestas tropicais são as mais difíceis de medir interceptação, e a distribuição de freqüências de percentuais de chuva interna tem intervalo muito mais amplo que o de florestas temperadas. Essa dificuldade pode, por um lado, intimidar as iniciativas de estudo nesse tipo de floresta. Por outro lado, deve servir como incentivo para a realização de mais estudos, já que uma maior oferta de informações é necessária para a compreensão dos processos nesse ambiente tão heterogêneo.

A Tabela 4 apresenta os tipos de estudo de interceptação realizados em cada bioma brasileiro. Visto que a interceptação é um processo de difícil mensuração e com muitas incertezas envolvidas, e que os biomas brasileiros têm vegetação heterogênea, cada bioma deve ter minimamente alguns estu-

dos sobre cada aspecto para uma caracterização adequada da redistribuição da água da chuva pela vegetação.

**Tabela 4 - Estudos de interceptação nos biomas brasileiros e em plantios de pinus e eucalipto que consideram os aspectos: chuva interna e escoamento de tronco ( $Tf + Sf$ ), fluxo de nutrientes ou parâmetros físico-químicos (Qual.), comportamento sazonal da interceptação (Saz.), distribuição espacial da interceptação (Esp.), e influência de parâmetros da vegetação (Veg.).**

	Total	$Tf + Sf$	Qual.	Saz.	Esp.	Veg.
Amazônia	11	8	3	3	1	4
Mata Atlântica	16	8	5	8	1	7
Cerrado	3	2	0	0	0	1
Caatinga	1	1	0	0	0	0
Pantanal	0	0	0	0	0	0
Pampa	0	0	0	0	0	0
Pinus	6	2	1	2	0	3
Eucalipto	5	3	2	0	1	2

#### Em termos de bioma

Faltam estudos básicos de quantificação da interceptação, chuva interna e escoamento de tronco em vegetação Ombrófila Aberta e nas comunidades aluviais da Amazônia; em Floresta Ombrófila Mista, na Mata Atlântica; em vegetação de Cerrado típico; nos biomas Caatinga, Pantanal e Pampa; e em formações pioneiras tais como manguezais e restingas. Nesses ambientes, é necessária a realização primeiramente de estudos básicos de quantificação da interceptação, da chuva interna e do escoamento de tronco, e estudos que contemplem os aspectos apresentados na Tabela 4.

Nos biomas Amazônia e Mata Atlântica precisamos melhorar a compreensão dos mecanismos responsáveis pela redistribuição da água da chuva e no papel de cada fator influenciador.

#### Em termos de medição

Os estudos que investigaram a redistribuição espacial da chuva na floresta (LLOYD & MARQUES, 1988; MOURA et al., 2009; SATO et al., 2011) pressupõem que a variabilidade da chuva interna é resultado da influência da vegetação. Para que essa suposição seja verdadeira, a chuva total deve ser suficientemente homogênea sobre a área de estudo. Entretanto, esses estudos utilizaram um único ou poucos pluviômetros para medir chuva total, e uma densa

rede de coletores para medir chuva interna. Dessa maneira, não fica comprovada a homogeneidade da chuva total, e, conseqüentemente, não fica explícito quanto da heterogeneidade espacial da chuva interna é causada pela vegetação. Portanto, para melhor entender a redistribuição da chuva pela vegetação, é necessária a realização de estudos com densidades comparáveis de coletores de chuva total e interna.

Muitos dos estudos relacionados neste artigo mediram chuva interna e escoamento de tronco com intervalos semanais, eventuais ou diários. Poucos mediram esses processos em pequenos intervalos de tempo: Cuartas et al. (2007) mediram a cada 5 minutos na Amazônia e Chaffe et al. (2010) a cada 10 minutos em povoamento de *Pinus*. Entretanto, em campo percebe-se que a chuva interna e o escoamento de tronco acontecem durante e pouco tempo depois de cessada a chuva. E há evidências de que a água interceptada evapora muito mais rapidamente que a evaporação potencial (Hewlett, 1967). Portanto, para compreender o tempo desses processos é necessário medi-los em intervalos equivalentes aos de chuva total.

A revisão mostra claramente a falta de estudos de interceptação em bacias experimentais e integrados com estudos de outros processos hidrológicos. A maioria dos estudos aqui apresentados foi realizada em parcelas, sem medição de outros processos hidrológicos além da chuva total. Esses estudos contribuem para a compreensão dos mecanismos da interceptação e da interação da vegetação com a chuva. Entretanto, não esclarecem a relação da interceptação com os outros processos hidrológicos.

Levia Jr. & Frost (2003) concluíram que a compreensão das diferenças interespecíficas no escoamento de tronco está avançando, mas pouco se sabe sobre a variabilidade intra-específica. Enquanto a comunidade científica internacional está tentando compreender detalhes dos mecanismos de geração de escoamento do tronco, tais como a inclinação dos galhos e folhas, rugosidade das cascas, entre outros, o Brasil ainda está quantificando esse processo em suas florestas – e ainda há muitas fisionomias florestais onde nem a quantificação está sendo realizada. Portanto, em florestas onde já existem estudos suficientes de quantificação de interceptação, chuva interna e escoamento de tronco, é preciso começar a estudar os detalhes dos mecanismos: não só aqueles que estão sendo estudadas em outros locais – úteis para futuras comparações – mas também os específicos de cada local.

### Em termos de estimativa

Visto que a medição de intercepção, chuva interna e escoamento de tronco é difícil, envolve muitos erros, e não representa satisfatoriamente a heterogeneidade espaço-temporal desses processos, é importante melhorar sua estimativa a partir de parâmetros de fácil obtenção. Deve-se tomar como exemplo os cientistas do solo, que criaram as funções de pedotransferência que possibilitam a estimativa de propriedades hidráulicas do solo a partir de parâmetros físicos de fácil mensuração em campo, como textura (p. ex., van GENUCHTEN et al., 1992, 1999).

A inclusão de informações de intercepção pode melhorar significativamente o desempenho de modelos chuva-vazão, como Chaffe et al. (2010) mostraram. Portanto, para evoluir a modelagem hidrológica no país, deve-se ter uma estimativa dos parâmetros de intercepção para cada tipo de floresta em cada bioma. Para isso, precisa-se de mais pesquisas que estimem esses parâmetros, p. ex. Ubirana (1996) e Chaffe et al. (2010), que estimaram parâmetros do modelo de Rutter (Rutter et al, 1971).

Assim como as funções de pedotransferência, precisa-se de estudos que relacionem a intercepção com parâmetros físicos da vegetação (p.ex. CASTRO et al., 1983; MOURA et al., 2009; SCHROTH et al., 1999). A chuva interna pode ser relacionada com índice de área foliar e índice de cobertura da copa. O escoamento de tronco, com diâmetro à altura do peito, altura das árvores e índice de cobertura da copa. O índice de cobertura de copa é um parâmetro interessante por ser de obtenção pouco onerosa, a partir de fotografias voltadas para o topo da floresta (p. ex., CESAR et al., 1990; GERMER et al., 2006; KONISHI et al., 2006). Os outros parâmetros são frequentemente obtidos na silvicultura e, portanto, pode ser de grande utilidade a estimativa da intercepção a partir deles.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da redistribuição da chuva no balanço hídrico e na hidrologia de encostas já é reconhecida. E também se sabe que os processos hidrológicos responsáveis por essa redistribuição, i.e., a intercepção, a chuva interna e o escoamento de tronco são influenciados pelo clima, características da chuva, e vegetação. Entretanto, a compreensão dos mecanismos envolvidos nesses processos

ainda está insatisfatória, principalmente em florestas tropicais.

Com a riqueza de biomas e tipos de cobertura vegetal que o Brasil abrange, a compreensão da influência de toda a sua vegetação nos processos hidrológicos é mais onerosa, já que os esforços são divididos. Nota-se uma distribuição desuniforme das pesquisas de intercepção da água da chuva pela vegetação nos biomas brasileiros. A Amazônia e a Mata Atlântica são os biomas mais estudados: juntos, concentram quase 90% dos estudos de intercepção do país. A primeira, floresta de destaque mundial, conta com ajuda de muitos pesquisadores e organizações internacionais, e a segunda se estende por muitas capitais brasileiras – onde estão universidades e centros de pesquisa. Entretanto, mesmo nesses dois biomas ainda há o que avançar. Por outro lado, em algumas regiões brasileiras há uma ausência completa de estudos. Na Mata Atlântica, destaca-se a ausência de estudos em Floresta Ombrófila Mista, formação de valor reconhecido devido ao alto grau de biodiversidade e endemismo, e de grande importância sócio-econômica no Sul do país. No Cerrado e na Caatinga, a redistribuição da água da chuva pela intercepção é muito pouco conhecida. Os poucos estudos existentes nesses biomas apontam uma grande importância quantitativa da intercepção no balanço hídrico. Esse fato deve servir de alerta para a necessidade de se voltar a atenção para esse processo hidrológico nesses ambientes, sobretudo na Caatinga, onde o estresse hídrico é de imensa importância sócio-econômica. A influência da vegetação na redistribuição da água da chuva é desconhecida nos biomas Pampas e Pantanal.

Atualmente existe uma tendência na comunidade científica brasileira de implementação de bacias experimentais representativas para a pesquisa de processos hidrológicos. Recomenda-se profundamente a inclusão de estudos de intercepção nessas bacias para avançar o conhecimento desse processo nas florestas brasileiras.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudos concedida à primeira autora, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo acesso gratuito a publicações científicas.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R.F.; DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA JR., J.C.; GARCIA, F.N.M. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de Viçosa, MG. *Ambi-Água*, Taubaté, v.2, n.1, p.83–93, 2007.
- ANDRADE, G.C; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; BELLOTE, A.F.J.; MORO, L. Contribución del agua de lluvia en la oferta de nutrientes minerales para *Eucalyptus grandis*. *Bosque*, Valdivia, v.16, n.1, p.47–51, 1995.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha-SP. *Bol. Técn. IF. São Paulo*, v.41, n.1, p.37–58, 1987.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. *Rev. Árvore*, Viçosa, v.27, n.2, p.257–262, 2003.
- BALIEIRO F.C.; FRANCO, A.A.; FONTES, R.L.F.; DIAS, L.E.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. de. Evaluation of the throughfall and stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. *Rev. Árvore*, Viçosa, v.31, n.2, p.339–346, 2007.
- BOSH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.55, p.3–23, 1982.
- BRITEZ, R. M. et al. Interceptação das chuvas em duas formações florestais da planície litorânea da Ilha do Mel, PR. In: Fórum de Geobiohidrologia, 1., Curitiba, 1998. Anais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.60–69, 1998.
- CASTRO, P.S.; VALENTE, O.F.; COELHO, D.T.; RAMALHO, R.S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. *Rev. Árvore*, Viçosa, v.7, n.1, p.76–89, 1983.
- CATTAN, P.; RUY, S.M.; CABIDOCHÉ, Y.M.; FINDELING, A.; DESBOIS, P.; CHARLIER, J.B. Effect on runoff of rainfall redistribution by the impluvium-shaped canopy of banana cultivated on an Andosol with a high infiltration rate. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.368, p.251–261, 2009.
- CESAR, S.F.; DOMINGUES, E.N.; NALON, M.A.; VELLARDI, A.C.V. Estudo hidrodinâmico na floresta latifoliada das escarpas da Serra do Mar, na região de Cubatão-SP. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6., Campos do Jordão, 1990. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, v.3, p.320–329, 1990.
- CHAFFE, P.L.B.; KOBAYAMA, M.; YAMASHIKI, Y.; TAKARA, K. Is interception information important for rainfall-runoff modeling? *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, Tokyo, v.54, p.73–78, 2010.
- CICCIO, V.; ARCOVA, F.C.S. Pesquisas em microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha-SP. I - Quantidade de água. In: Fórum de Geobiohidrologia, 1., Curitiba, 1998. Anais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.30–38, 1998.
- CICCIO, V.; ARCOVA, F.C.S.; RANZINI, M.; SANTOS, J.B.A.; FORTI, M.C. Recursos hídricos na Mata Atlântica: estudo de caso do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 1., Taubaté, 2007. Anais. IPABHi, p.25–33, 2007.
- COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 4, n. 2, p. 55–71, 1986.
- CROCKFORD, R.H.; RICHARDSON, D.P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrol. Process.*, West Sussex, v.14, p.2903–2920, 2000.
- CUARTAS, L.A.; TOMASELLA J.; NOBRE A.D.; HODNETT M.G.; WATERLOO, M.J.; MÚNERA, J.C. Interception water-partitioning dynamics for a pristine rainforest in Central Amazonia: Marked differences between normal and dry years. *Agr. Forest. Meteorol.*, v.145, p.69–83, 2007.

- CZIKOWSKY, M.J.; FITZJARRALD, D.R. Detecting rainfall interception in an Amazonian rain forest with eddy flux measurements. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.377, p.92–105, 2009.
- 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 Amazonica*, v.35, n.1, p.55–62, 2005.
- FORTI, M.C.; BICUDO, D.C.; BOUROTTE, C.; CICCIO, V.; ARCOVA, F.C.S. Rainfall and throughfall chemistry in the Atlantic Forest: a comparison between urban and natural areas (São Paulo State, Brazil). *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, v.6, n.6, p.570–585, 2005.
- FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazonica*, v.12, n.2, p.327–331, 1992.
- GASH, J.H.C.; WRIGHT, I.R.; LLOYD, C.R. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.48, p.89–105, 1980.
- GÊNOVA, K.B.; HONDA, E.A.; DURIGAN, G. Processos hidrológicos em diferentes modelos de plantio de restauração de mata ciliar em região de cerrado. *Rev. Inst. Flor.*, São Paulo, v.19, n.2, p.189–200, 2007.
- GERMER, S.; ELSENBEEER, H.; MORAES, J.M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Göttingen, v.10, p.383–393, 2006.
- HEWLETT, J.D. Summary on forests and precipitation session. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology*, 1965, Pennsylvania. Oxford: Pergamon, 1967. p.241–243.
- HEWLETT, J.D. *Principles of forest hydrology*. Georgia: University of Georgia Press Athens, 1982. 183p.
- HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology*, Pennsylvania, 1965. Oxford: Pergamon, 1967. p.527–543.
- HÖLSCHER, D.; SÁ, T.D. A.; MÖLLER, R.F.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Rainfall partitioning and related hydrochemical fluxes in a diverse and in a mono specific (*Phenakospermum guyanense*) secondary vegetation stand in eastern Amazonia. *Oecologia*, v.114, p.251–257, 1998.
- HORTON, R.E. Rainfall interception. *Mon. Weather Rev.*, Washington, v.47, n.9, 1919.
- IBGE. Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- KURAJI, K.; TANAKA, Y.; TANAKA, N.; KARAKAMA, I. Generation of stemflow volume and chemistry in a mature Japanese cypress forest. *Hydrol. Process.*, West Sussex, v.15, p.1967–1978, 2001.
- KONISHI, S.; TANI, M.; KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; SAHAT, M.M.; NIK, A.R.; NIYAMA, K.; OKUDA, T. Characteristics of spatial distribution of throughfall in a lowland tropical rainforest, Peninsular Malaysia. *Forest Ecol. Manage.*, Amsterdam, v.224, p.19–25, 2006.
- LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Towards a water balance in the central Amazonian region. *Experientia*, v.43, n.3, p.222–233, 1987.
- LEVIA JR., D.F.; FROST, E.E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *J. Hydrol.*, Amsterdam, v.274, p.1–29, 2003.
- LIMA, P.R.A.; LEOPOLDO, P.R. Quantificação de componentes hidrológicos de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. *Rev. Árvore*, Viçosa, v.24, n.3, p.241–252, 2000.
- LIMA, W.P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. IPEF, Piracicaba, n.13, p.75–90, 1976.
- LIMA, W.P. Alteração do pH, condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de *Pinus caribaea* morelet var. *caribaea*. IPEF, Piracicaba, n.18, p.37–54, 1979.

- LIMA, W.P.; NICOLIELO N. Chuva efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. IPEF, Piracicaba, n.24, p.43–46, 1983.
- LLORENS, P.; GALLART, F. A simplified method for forest water storage capacity measurement. J. Hydrol., Amsterdam, v.240, p.131–144, 2000.
- LLOYD, C.R.; MARQUES F<sup>o</sup>, A. DE O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in amazonian rainforest. Agr. Forest. Meteorol., v.42, p.63–73, 1988.
- LLOYD, C.R.; GASH, J.H.C.; SHUTTLEWORTH, W.J.; MARQUES F<sup>o</sup>, A. DE O. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. Agr. Forest Meteorol., v.43, p.277–294, 1988.
- LOESCHER, H.W.; POWERS, J.S.; OBERBAUER, S.F. Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. J. Trop. Ecol., v.18, p.397–407, 2002.
- LOPES, L.R.; VITAL, A.R.T.; FRANKEN, W.K.; FERREIRA, S.J.; MARQUES F<sup>o</sup>, A. DE O.; FAJARDO, J.D.V.; OLIVEIRA, J.A.D. Interceptação e ciclagem de nutrientes em floresta de encosta na Amazônia Central. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, 1., Cuiabá, 2007. Anais. Porto Alegre: ABRH, p.1–12, 2007.
- LOSHALI, D.C.; SINGH, R.P. Partitioning of rainfall by three Central Himalayan forests. Forest Ecol. Manage., Amsterdam, v.53, p.99–105, 1992.
- MANFROI, O.J.; KURAJI, K.; TANAKA, N.; SUZUKI, M.; NAKAGAWA, M.; NAKASHIZUKA, T.; CHONG, L. The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest. Hydrol. Process., West Sussex, v.18, p.2455–2474, 2004.
- MEDEIROS, P.H.A.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. Rev. Ciênc. Agron., Fortaleza, v.40, n.2, p.165–174, 2009.
- MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. J. Hydrol., Amsterdam, v.434–435, p.55–68, 2012.
- MOURA, A.E.S.S.; CORREA, M.M.; DA SILVA, E.R.; FERREIRA, R.L.C.; FIGUEIREDO, A.C.; POSSAS, J.M.C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. Rev. Árvore, Viçosa, v.33, n.3, p.461–469, 2009.
- NALON, M.A.; VELLARDI, A.C.V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., São Paulo, 1992. Anais. Rev. Inst. Flor., São Paulo, v. 4, p. 894–899, 1992.
- NÁVAR, J. Stemflow variation in Mexico's north-eastern forest communities: its contribution to soil moisture content and aquifer recharge. J. Hydrol., Amsterdam, v.408, p.35–42, 2011.
- NÁVAR, J.; BRYAN, R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico. J. Hydrol., Amsterdam, v.115, p. 51–63, 1990.
- OHTA, T.; FUKUSHIMA, Y.; SUZUKI, M. (ed.) Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, 1994, Tokyo. Tokyo: IUFRO, 1994. 672p.
- OLIVEIRA, L.L.; COSTA, R.F.; SOUSA, F.A.S.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. Acta Amazonica, v.38, n.4, p.723–732, 2008.
- OLIVEIRA JR., J.C.; DIAS, H.C.T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. Rev. Árvore, Viçosa, v.29, n.1, p.9–15, 2005.
- OYARZÚN, C.E.; GODOY, R.; STAELENS, J.; DONOSO, P.J.; VERHOEST, N.E.C. Seasonal and annual throughfall and stemflow in Andean temperate rainforests. Hydrol. Process., West Sussex, v.25, p.623–633, 2011.
- PEREZ-MARIN, A.M.; MENEZES, R.S.C. ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v.32, p.2573–2579, 2008.
- REID, L.M.; LEWIS, J. Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest. J. Hydrol., Amsterdam, v.375, p.459–470, 2009.

- RODRIGUES, V.A. Redistribuição das chuvas pelas copas de um povoamento de seringueira, José Bonifácio, SP. Rev. Inst. Flor., São Paulo, v.21, n.1, p.19–26, 2009.
- RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of corsican pine. Agric. Meteorol., v.9, p. 367–384, 1971.
- SATO, A.M.; AVELAR, A.S.; COELHO NETTO, A.L. Spatial variability and temporal stability of throughfall in a eucalyptus plantation in the hilly lowlands of southeastern Brazil. Hydrol. Process., West Sussex, v.25, p.1910–1923, 2011.
- SAVENIJE, H.H.G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. Hydrol. Process., West Sussex, v.18, p.1507–1511, 2004.
- SCATENA, F.N. Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo Mountains of Puerto Rico. J. Hydrol., Amsterdam, v.113, p.89–102, 1990.
- SCHROTH, G.; SILVA, L.F. da; TEIXEIRA, W.G.; WOLF, M.-A.; ZECH, W. Distribution of throughfall and stemflow in multi-strata agroforestry, perennial monoculture, fallow and primary forest in central Amazonia, Brazil. Hydrol. Process., West Sussex, v.13, p.1423–1436, 1999.
- SCHROTH, G.; ELIAS, M.E.A.; UGUEN, K. SEIXAS, R.; ZECH, W. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of central Amazonia. Agr. Ecosyst. Environ., v.87, p.37–49, 2001.
- SHEER, M.B. Fluxo de nutrientes pela precipitação pluviométrica em dois trechos de Floresta Ombrófila Densa em Guaraqueçaba, Paraná. Floresta, Curitiba, v.39, n.1, p.117–130, 2009.
- SHINZATO, E.T.; TONELLO, K.C.; GASPAROTO, E.A.G.; VALENTE, R.O.A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. Sci. For., Piracicaba, v.39, n.92, p.395–402, 2011.
- SOPPER, W.E.; LULL, H.W. (ed.) Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, 1965, Pennsylvania. Oxford: Pergamon, 1967. 813p.
- SOUSA, R.C.; RANZINI, M.; ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V. CÂMARA, C.D. Redistribuição das chuvas em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) no Parque Estadual da Serra do Mar, Cunha – SP. IF Sér. Reg., São Paulo, v.40, p.203–208, jul. 2009.
- SOUZA, L.C.; MARQUES, R. Fluxo de nutrientes em Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná. Floresta, Curitiba, v.40, n.1, p.125–136, 2010.
- SOUZA, V.V.; DIAS, H.C.T.; COSTA, A.A.; OLIVEIRA JR., J.C. Análise da qualidade das águas das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG. Rev. Árvore, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.737–743, 2007.
- THOMAZ, E.L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Guarapuava–PR. Geografia, Curitiba, v.14, n.1, p.47–60, 2005.
- TIMONI, J.L. Alterações nos ciclos naturais: o caso Cubatão. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., São Paulo, 1992. Anais. São Paulo: Rev. Inst. Flor., v. 4, p. 743-747, 1992.
- TOBÓN MARIN, C.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. J. Hydrol., Amsterdam, v.237, p.40–57, 2000.
- TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. Rev. Bras. Recur. Híd., Porto Alegre, v.2, n.1, p.135-152, 1997.
- UBARANA, V.N. Observation and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazônia. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L. (ed.). Amazonian deforestation and climate. Chichester: John Wiley & Sons, p.151-162, 1996.
- VAN GENUCHTEN, M.Th.; LEIJ, F.J.; LUND, L.J. (ed.). Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic

Properties of Unsaturated Soils, 1989, Riverside.  
Riverside: U.S. Salinity Laboratory, 1992.

VAN GENUCHTEN, M.Th.; LEIJ, F.J.; WU, L. (ed.).  
Proceedings of the International Workshop on  
Characterization and Measurement of the Hydraulic  
Properties of Unsaturated Porous Media, 1997, Riv-  
erside. Riverside: U.S. Salinity Laboratory, 1999.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA,  
J.C.A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada  
a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, Depar-  
tamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais,  
1991. 124p.

VIEIRA, C.P.; PALMIER, L.R. Medida e Modelagem  
da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada  
na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas  
Gerais. Rev. Bras. Recur. Hídr., Porto Alegre, v.11,  
n.3, p.101–112, 2006.

### ***Rainfall Interception, Throughfall And Stemflow: A Review Emphasizing Brazilian Forests***

#### **ABSTRACT**

*The review of studies on rainfall interception in Brazil showed that these studies are concentrated in the Amazon and the Atlantic Forest, and information about this hydrological process in the other Brazilian biomes is scarce. In the Amazon, interception loss, throughfall, and stemflow are about 7.2–22.6%, 76.8–91%, and 0.6–1.8% of gross rainfall, respectively. In the Atlantic Forest, interception loss, throughfall, and stemflow are about 8.4–20.6%, 47.6–97.4%, and 0.2–3.3% of gross rainfall, respectively. In order to learn more about rainfall interception in Brazilian forests the present paper suggests: (i) quantification of the rainfall interception in forests where this type of study is not satisfactory; (ii) measurement of throughfall by using comparable densities of throughfall and rainfall gauges; (iii) measurement of throughfall and stemflow by using a similar time interval to that applied in the gross rainfall monitoring; (iv) monitoring rainfall interception in experimental catchments integrated to other hydrological process studies; (v) estimation of the parameters used for interception modeling; (vi) establishment of functions that relate interception to physical characteristics of vegetation.*

**Key-words:** *throughfall, stemflow, measuring, Brazil.*