

Sazonalidade e interceptação da chuva na Floresta Nacional, em Caxiuanã - Amazônia Oriental

Seasonality and rainfall interception in Caxiuanã National Forest - Eastern Amazonia

Leidiane Leão de Oliveira¹, Alan Cavalcanti da Cunha², Antônio Carlos Lôla da Costa³, Rafael Ferreira da Costa

Resumo: O estudo foi realizado na Floresta Nacional de Caxiuanã, Estado do Pará, na Estação Científica Ferreira Penna (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60m altitude). Os períodos do estudo foram a estação chuvosa, de 18 de março a 27 de junho, e a seca, de 2 de agosto a 28 de novembro de 2004. Foram selecionados 30 períodos de coletas semanais, com 13 no período chuvoso e 17 no período seco. O ambiente estudado foi uma floresta preservada de terra firme, cuja vegetação é densa e com dossel de 35 m de altura. O objetivo foi quantificar variações sazonais da precipitação efetiva e precipitação interna, incluindo o escoamento superficial da água pelos troncos e as perdas por interceptação da precipitação pela vegetação. Para a precipitação interna, foram utilizados 25 pluviômetros distribuídos aleatoriamente em uma área de um hectare subdividida em 100 parcelas de 10 x 10 m. O escoamento superficial nos troncos foi medido em sete árvores, com diâmetros de tronco representativos para a área. Foram observadas diferenças sazonais significativas entre as variáveis. A interceptação se elevou de 14,9% para 39,6% da precipitação acima do dossel, respectivamente entre o período chuvoso e o seco. De modo inverso, foi reduzido, respectivamente, o escoamento de 2,3% para 0,81%, a precipitação efetiva, de 85,1% para 60,4% e a precipitação interna, de 82,8% para 59,6%.

Palavras-chave: Floresta tropical, interceptação, precipitação interna, sazonalidade.

Abstract: The study was conducted in the Caxiuanã National Forest, State of Para, in the Scientific Station Ferreira Penna (01 ° 42 '30 "S, 51 ° 31' 45" W; 60m altitude). The investigated periods were the rainy, from March 18 to June 27, and dry, from August 2 to November 28, seasons of 2004. These periods were selected 30 times weekly from collections, with 13 in the rainy season and 17 in the dry season. The studied environment was a preserved upland forest, which is dense with canopy of 35 m tall. The objective of this work was to quantify seasonal variations in precipitation and effective internal precipitation, including the runoff of water by the trunks and losses by rainfall interception throughout campy. The internal precipitation was monitored by means of 25 rain gauges randomly distributed in one hectare area, subdivided into 100 plots of 10 x 10 m. The runoff in the trunks was measured on 7 trees with representative diameter for the selected area. Significant differences were observed between the seasonal variables. The rainfall interception increased from 14.9% to 39.6% above the canopy, between the rainy and dry period respectively. It was verified a reduction in the t'runks runoff of water from 2.3% to 0.81%, in the ineffective precipitation from 85.1% to 60.4%, and in the internal precipitation from 59.6% to 82.8%, respectively for the rainy and dry seasons.

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical da UNIFAP/EMBRAPA/IEPA/CI - PPGGIO e Profa. da Universidade do Estado do Amapá - UEAP leidianeoli@gmail.com

²Prof. do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical da UNIFAP/EMBRAPA/IEPA/CI - PPGGIO e do curso de Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá - UNIFAP alancunha@unifap.br

³Prof. da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal Pará - UFPA. lola@ufpa.br e rfcostampeg@gmail.com

Introdução

Para a efetiva conservação da biodiversidade tropical, é essencial o entendimento sobre o ciclo hidrológico no processo de interceptação da precipitação pela vegetação (I), sendo este último o volume de água evaporado para a atmosfera que não alcança o solo. Como consequência primária do processo de interceptação, ocorre uma imediata e temporária redução do potencial hídrico do solo. Nesse processo físico, ocorre principalmente redução da erosão e proteção do solo durante chuvas intensas. Portanto, em virtude de seu significado e das ameaças aos ecossistemas, o conhecimento da I na floresta amazônica exige cada vez mais a compreensão sobre o funcionamento básico das componentes do ciclo hidrológico.

A estimativa da I em florestas tropicais é influenciada pela alta variabilidade espacial da precipitação interna (PI) (JACKSON, 1971; LLOYD e MARQUES FILHO, 1988). A influência da vegetação no recebimento e na redistribuição das chuvas é de significativa importância, dentro do contexto do balanço hídrico. O escoamento pelos troncos (ESC) é de grande importância porque facilita a infiltração da água no solo, age como mecanismo de abastecimento e influencia a qualidade e a quantidade de entrada de água no solo (OLIVEIRA Jr. e DIAS, 2005).

Para Tucci (2004), a água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, ocorre infiltração de toda precipitação que chega a ele, enquanto a superfície do mesmo não se satura (enquanto houver gradiente de umidade no solo, ocorrerá o escoamento vertical). Detalhes sobre a I , em particular para florestas tropicais, ainda não são bem entendidos, bem como o conhecimento dos padrões de variabilidade espacial e temporal da PI , tampouco não foram bem estudados (GERMER *et al.*, 2006).

Para a investigação da PI , em geral, são utilizados pluviômetros instalados acima da vegetação, afastados de obstáculos florestais ou acima das copas das árvores (torres meteorológicas), tendendo a superestimar o montante da precipitação disponível para o escoamento superficial que atinge a rede hidrológica e o processo de infiltração que favorece os lençóis subterrâneos. Dessa maneira, o volume registrado não contribui efetivamente no sistema, observando-se apenas as diferenças entre as estações climáticas do ano. Na literatura da área, é observado que tais diferenças são menores do que o total medido em áreas abertas ou

acima da vegetação. Para quantificar a chuva que chega ao solo, sob áreas florestadas ou cultivos agrícolas desenvolvidos, Horton (1919) já utilizava pluviômetros e interceptômetros em áreas com vegetação adulta próximas ao seu laboratório, em Albany, Ny, EUA. Acrescenta-se que os respectivos volumes de água relacionados à PI , ESC e I são variáveis dependentes de fatores relacionados à vegetação e condições climáticas nas quais a floresta está inserida (LEOPOLDO e CONTE, 1985; LIMA, 1993).

Nesse contexto, o objetivo foi analisar as variações sazonais da precipitação efetiva (PE), PI , ESC e I , na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, Pará, na Amazônia Oriental, durante as épocas chuvosa e seca do ano de 2004, no sítio do experimento ESECAFLOR (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica), o qual investiga a influência da exclusão de água no solo sobre o ecossistema de floresta.

Material e Métodos

Descrição do sítio experimental

A área do estudo está localizada no interior da FLONA de Caxiuanã (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 62 m de altitude), no município de Melgaço, Pará, onde funciona a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), que representa cerca de 10% da área da FLONA, a cerca de 400 km a oeste da capital, Belém (OLIVEIRA, 2007).

A FLONA de Caxiuanã é uma floresta de terra firme, preservada, cuja arquitetura florestal é constituída de dossel médio de 35 m, árvores emergentes de até 50 m, diversidade entre 150 e 160 espécies ha⁻¹, densidade de 450 a 550 árvores ha⁻¹ e biomassa acima do solo de 200 m³ ha⁻¹. As espécies predominantes na floresta de terra firme são: *Eschweilera coriacea* (Ap. Dec.) *Martius ex Berg* (Lecythidaceae) ou Matá-matá branco, *Voucapoua americana* Aublet (Caesalpinaceae) ou Acapu e *Protium pallidum* Cuatrec (Burseraceae) ou Breu Branco (VIANA *et al.*, 2003).

O clima da FLONA de Caxiuanã, segundo Köppen, é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático "Am", com curta estação seca. A temperatura média do ar oscila de 26,7° C mínimos e máximos de 22° C e 32° C (Figura 1A) (FERREIRA DA COSTA *et al.*, 2003).

Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido de dezembro a junho e o seco, de agosto

a novembro. O total anual precipitado em 2004 foi de 2.359,4 mm, cerca de 400 mm (20,4%) acima da média do período de 1996 a 2003, com 1.959,7 mm. Durante o período chuvoso, ocorreram 1.845 mm, representando 78,2% das chuvas. No período seco, o total precipitado foi de 514,4 mm, ou 21,8% do total anual. O mês mais chuvoso, em 2004, foi março, com 474 mm e o menos chuvoso, ou seco, foi agosto, com 40 mm (Figura 1B). As precipitações no Leste da Amazônia sofrem as influências dos Oceanos Atlântico e Pacífico no primeiro trimestre do ano, com precipitações acima da média relacionadas com os eventos de La Niña (SOUZA, 2003).

Germer *et al.* (2006) estudaram a redistribuição de chuva pela vegetação no sítio Rancho Grande, próximo a Ariquemes, Rondônia, e identificaram 520 árv. ha⁻¹ com DAP > 0,1 m. Do total identificado, 81 exemplares eram palmeiras babaçu (*Orbignya phalerata*), com elevada incidência naquela região. A classificação das árvores por DAP se fez necessária para a determinação dos exemplares onde foram instalados os interceptômetros e quantificação do escoamento pelos troncos.

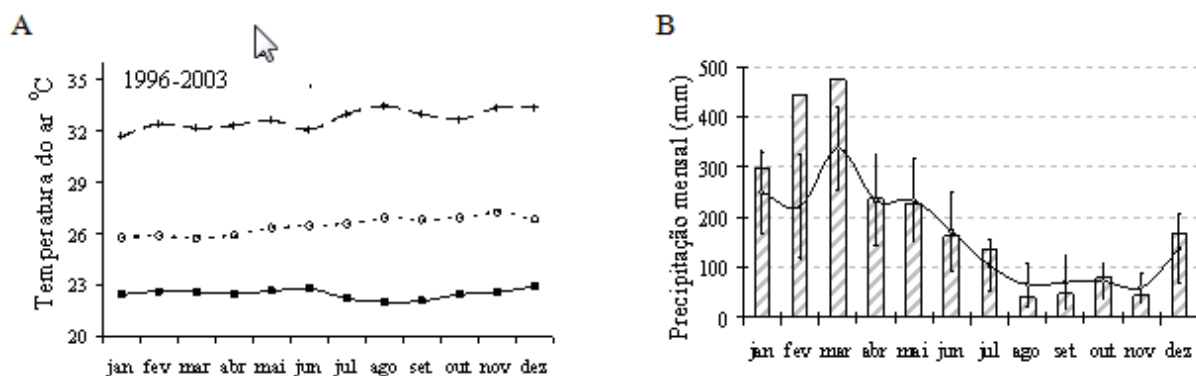


Figura 1. (A) Temperaturas do ar máximas, médias e mínimas mensais, (B) Precipitação mensal total acima do dossel, em 2004, respectivamente, no período de 1996 a 2003 (FLONA de Caxiuanã, Pará).

Metodologias e instrumentações utilizadas

Uma área de um hectare, representativa da floresta tropical de terra firme, foi demarcada e dividida em subparcelas de 10 m X 10 m, com cem posições possíveis de coleta segundo a metodologia proposta por Lloyd e Marques Filho (1988). Durante o ano de 2004, foram realizadas 40 coletas semanais. Para o estudo da sazonalidade da interceptação da precipitação pela vegetação foram selecionadas 30 dessas coletas, 13 realizadas no período chuvoso, de 18 de março a 27 de junho, e 17 coletas no período seco, de 2 de agosto a 28 de novembro.

A área selecionada representa bem a morfologia da floresta, com grande diversidade e densidade de indivíduos no hectare. Nessa parcela, foram catalogados 526 exemplares vegetais com diâmetro à altura do peito (DAP) maiores que 0,1 m. As classes são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação das árvores da parcela A por classe. Diâmetro à altura do peito (DAP) (cm), quantidade de exemplares e percentuais.

Classes	DAP (m)	Quantidade de exemplares	(%)
1	0,100 a 0,200	308	58,5
2	0,201 a 0,300	120	22,8
3	0,301 a 0,400	59	11,2
4	0,401 a 0,500	14	2,7
5	0,501 a 0,600	14	2,7
6	0,601 a 0,700	3	0,6
7	0,701 a 0,800	3	0,6
8	> 0,800	5	1,0
TOTAL		526	100

As três primeiras classes, $0,1 \text{ m} < \text{DAP} < 0,2 \text{ m}$; $0,2 \text{ m} < \text{DAP} < 0,3 \text{ m}$; $0,3 \text{ m} < \text{DAP} < 0,4 \text{ m}$, reuniram 487 exemplares de vegetais, o que representou 92,5% da população total. Para melhor representatividade da vegetação, foram selecionados sete indivíduos arbóreos para a instalação dos interceptômetros, dos quais quatro foram da classe 1, dois da classe 2, e um da classe 3. Os detalhes experimentais estão descritos na Tabela 2. A informação básica necessária para um estudo das perdas por interceptação da precipitação pela vegetação em uma floresta de grande porte é a precipitação total acima do dossel (P). A P foi coletada na torre micrometeorológica, com 52 m de altura (Figura 2A), por intermédio de um pluviógrafo instalado no topo da torre (Figura 2B).

Durante esse trabalho, foram utilizadas as 100 subparcelas possíveis, para a localização dos 25 pluviômetros. As subparcelas com menor e maior número de repetições foram a 44 e a 35, com 1 e 21 repetições, respectivamente.

O escoamento pelos troncos (ESC), apesar de ser normalmente negligenciado por alguns autores (HORTON, 1919; LIMA e NICOLIELO, 1983) é estimado em torno de 1 a 5% dos totais precipitados, tendo sua importância no ciclo hidrológico como uma eficiente forma de reposição de água no solo, alcançando a superfície do mesmo em baixa velocidade, devido ao atrito com a superfície dos troncos, direcionando-se próximo às raízes e reduzindo o escoamento superficial.

Tabela 2. Diâmetro a altura do peito - DAP (m) das árvores escolhidas para instalação dos coletores.

Árvore	1	2	3	4	5	6	7
DAP (m)	0,122	0,327	0,125	0,111	0,122	0,229	0,272

A parte da precipitação incidente acima do dossel que atinge o solo diretamente sem sofrer a influência de obstáculos é denominada precipitação livre. A outra parte que sofre a influência de folhas e galhos, mas também alcança o solo por gotejamento constitui a precipitação interna (PI). Em todos os estudos de interceptação da vegetação, essa variável requer especial atenção na sua obtenção. Em geral, alguns autores destacam a necessidade de um número elevado de pluviômetros, distribuídos de acordo com as características da área em estudo.

Holwerda *et al.* (2006), comparando as estratégias de amostragens para estudos de precipitação interna em uma floresta tropical situada em Luquillo Mountains, Porto Rico, concluíram que seria necessário um número de 100 pluviômetros fixos para se obter um resultado similar àquele obtido com trinta pluviômetros móveis, com nível de confiança de 95%.

No presente estudo, foram confeccionados 25 pluviômetros artesanais (Figura 2C), para quantificar PI , instalados a 1 m do solo e distribuídos aleatoriamente nas 100 parcelas disponíveis, onde os coletores foram trocados aleatoriamente após cada semana. O procedimento foi utilizado para minimizar erros de medidas descritos por Ubarana (1994). Os volumes coletados em litros foram convertidos em milímetros de altura de água, divididos pela área de captação dos funis ($0,0154 \text{ m}^2$).

Essa parcela de água infiltra-se mais facilmente no solo e favorece o reabastecimento do lençol freático e os reservatórios subterrâneos.

Para se obter o ESC , a coleta dos dados foi por árvore individual, na célula demarcada de 10 m x 10 m, onde foram escolhidas sete árvores com DAP representativos da parcela, para instalação de anéis coletores. Em cada árvore, foi montado um coletor na altura do peito (1,3 m), feito com alumínio, acoplado ao tronco, onde o anel coletor foi vedado com uma faixa de borracha flexível e uma mangueira plástica com diâmetro de 0,019 m ($3/4''$), ligando o anel ao recipiente fechado, com capacidade de dez litros no solo (Figura 2D).

O escoamento pelos troncos (ESC) foi calculado a partir da equação (1).

$$ESC = (Ve / Pc) * (Pca / At) \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

Em que, Ve é o volume total escoado pelo tronco (litros), Pc o perímetro dos troncos com os interceptômetros (m), Pca o perímetro total dos caules (m) e At a área total (m^2).

A precipitação que efetivamente chega ao solo (PE) é calculada pela soma de PI e ESC . A interceptação da precipitação pela vegetação (I) é obtida pela diferença entre P e PE . Como não é possível medir diretamente a I , utilizou-se a equação abaixo:

$$I = P - (PI + ESC) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

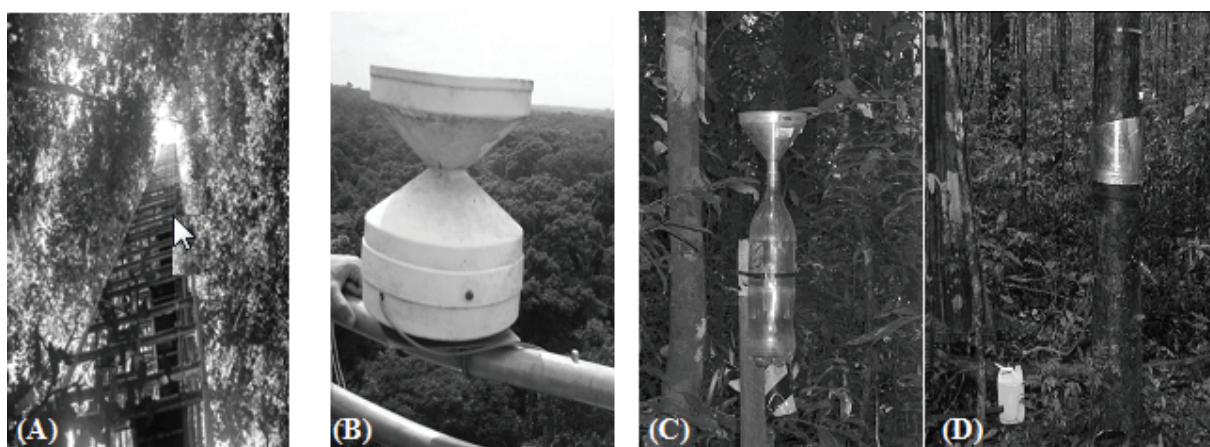


Figura 2. Instrumentos utilizados em Caxiuanã-PA. (A) Torre micrometeorológica. (B) Pluviógrafo instalado no topo da torre. (C) Pluviômetro artesanal para medir a precipitação interna, instalado a 1 m do solo. (D) Interceptômetro instalado em uma das árvores representativas da área.

Resultados e Discussão

Caracterização dos períodos de estudo

O regime de chuva na região amazônica não apresenta uma estação seca bem definida. Entretanto, é possível diferenciar os períodos chuvoso e seco (SOUZA FILHO *et al.*, 2005). Na FLONA de Caxiuanã, a estação chuvosa estende-se de dezembro a junho, enquanto que os meses de agosto a novembro representam a estação seca.

As quarenta coletas semanais de P , PI , PE e I realizadas entre março e dezembro de 2004, são apresentadas na Figura 3A, com destaques para os períodos selecionados como chuvoso e seco. A estação chuvosa foi representada no estudo pelo período de 18 de março a 27 de junho de 2004, quando foram realizadas 13 coletas semanais. A estação seca foi representada neste estudo pelo período de 02 de agosto a 28 de novembro de 2004, quando 17 coletas foram realizadas (Figura 3B).

Diferenças sazonais significativas foram observadas nas variáveis (Tabela 3). De acordo com os valores acumulados das componentes para o período chuvoso e seco, a P totalizou, em ambos os períodos, 701,4 mm e 234,6 mm, respectivamente. Desses, 581,1

mm e 139,8 mm formaram a PI , respectivamente. Os ESC foram de 16,2 mm e 1,9 mm, as PE atingiram 597,2 mm e 141,7 mm, respectivamente. As I totalizaram 104,2 mm e 92,9 mm, respectivamente.

Analisando a variação da P acumulada durante o período chuvoso, observa-se um acentuado crescimento durante todas as coletas. Isso é devido à grande ocorrência de precipitação de grande intensidade nessa época do ano. A PI e a PE apresentam variações similares durante o período chuvoso, com crescimento correspondente à trajetória de P . Para o período seco, as variações apresentadas por P , PI e PE são de pequenas intensidades. Mesmo considerando que, nas coletas semanais, podem ter ocorrido diversos eventos de precipitação, os volumes medidos foram pequenos, exceto em alguns mais intensos, que ocorrem normalmente na Amazônia. Das variáveis apresentadas na Figura 3B somente I mostrou uma variação volumétrica semelhante em ambos os períodos. Isso é devido às diferentes características das chuvas nas duas épocas do ano e à capacidade de armazenamento de água no dossel vegetal.

Tabela 3. Valores sazonais (em mm e % em relação a P) de precipitação Interna (PI), escoamento pelos troncos (ESC), precipitação efetiva (PE), e interceptação (I).

Período	PI		ESC		PE		I		P
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	
Chuvoso	581,1	82,8	16,2	2,3	597,2	85,1	104,2	14,9	701,4
Seco	139,8	59,6	1,9	0,81	141,7	60,7	92,9	39,6	234,6

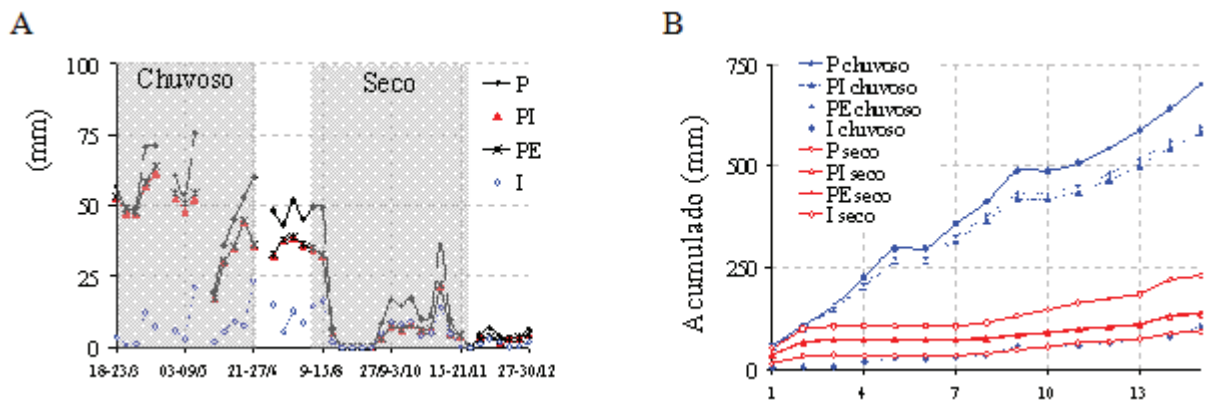


Figura 3. Precipitação total acima do dossel (P), precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE) e interceptação (I), durante o ano de 2004 (A), as áreas sombreadas representam os períodos chuvoso e seco.

Os valores acumulados são apresentados em (B)

Essas variáveis foram submetidas à análise de regressão linear para as épocas chuvosa e seca, cujos resultados foram analisados separadamente nos tópicos subsequentes.

Precipitação total incidente acima do dossel para as estações chuvosa e seca

A P acumulada foi de 701,4 mm e 234,6 mm, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Os eventos de precipitação com grandes intensidades e volumes são comuns nos períodos chuvosos das regiões tropicais. Isso é evidenciado quando se analisam as variações de P para a FLONA de Caxiuanã. Tais volumes totais dos eventos de chuva acumulados em cada coleta semanal mostram uma regularidade crescente entre os meses de março e junho.

Para o período seco, as P acumuladas apresentam menores quantidades em quase todas as coletas, exceto quando há ocorrência de eventos isolados de grande intensidade que provocam aumento do total acumulado. Há uma redução considerável nos totais acumulados entre as duas épocas do ano. O valor registrado no período seco representou apenas 1/3 do total medido na época chuvosa.

Precipitação interna para as estações chuvosa e seca

Como a PI é uma variável altamente dependente de P , ambas seguem as mesmas tendências de variações. No período chuvoso, a PI representou aproximadamente 83% de P , enquanto que, para a época seca, foi reduzida de aproximadamente 580

mm para 140 mm, representando 60% de P . Suas variações foram causadas pelos mesmos fatores que influenciaram as medidas de P . Os resultados obtidos neste trabalho estão em concordância com os estudos de Arcova *et al.* (2003), que observaram reduções na PI de 83,9% para 70,6%, do período chuvoso para o seco, respectivamente.

A Figura 4A apresenta a correlação entre os valores de PI e a P para as estações estudadas. Nota-se que a PI é altamente dependente de P , como indica o ajuste do modelo de regressão linear. A PI apresenta melhor correlação com a P no período seco, $PI = 0,7089(P) + 6,4513$ com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,9781$, do que no período chuvoso, $PI = 0,6582(P) - 0,8614$, com $R^2 = 0,7782$ (Tabela 4). Esse resultado difere dos obtidos por Arcova *et al.* (2003), em seu estudo na floresta de mata atlântica, com cerca de 1000 m de altitude, no Estado de São Paulo, cujos coeficientes de determinação para P e PI foram $R^2 = 0,9931$ e $R^2 = 0,9131$, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. Na FLONA de Caxiuanã, essa correlação entre P e PI , no período seco, foi melhor do que no período chuvoso. A razão foi a ocorrência de eventos isolados de precipitação de grande intensidade durante o período seco, bastante comum na região amazônica. Molion e Dallarosa (1990) mostraram que, em áreas próximas a grandes corpos d'água, ocorrem fenômenos de brisa fluvial que induzem a formação de nuvens convectivas e precipitação.

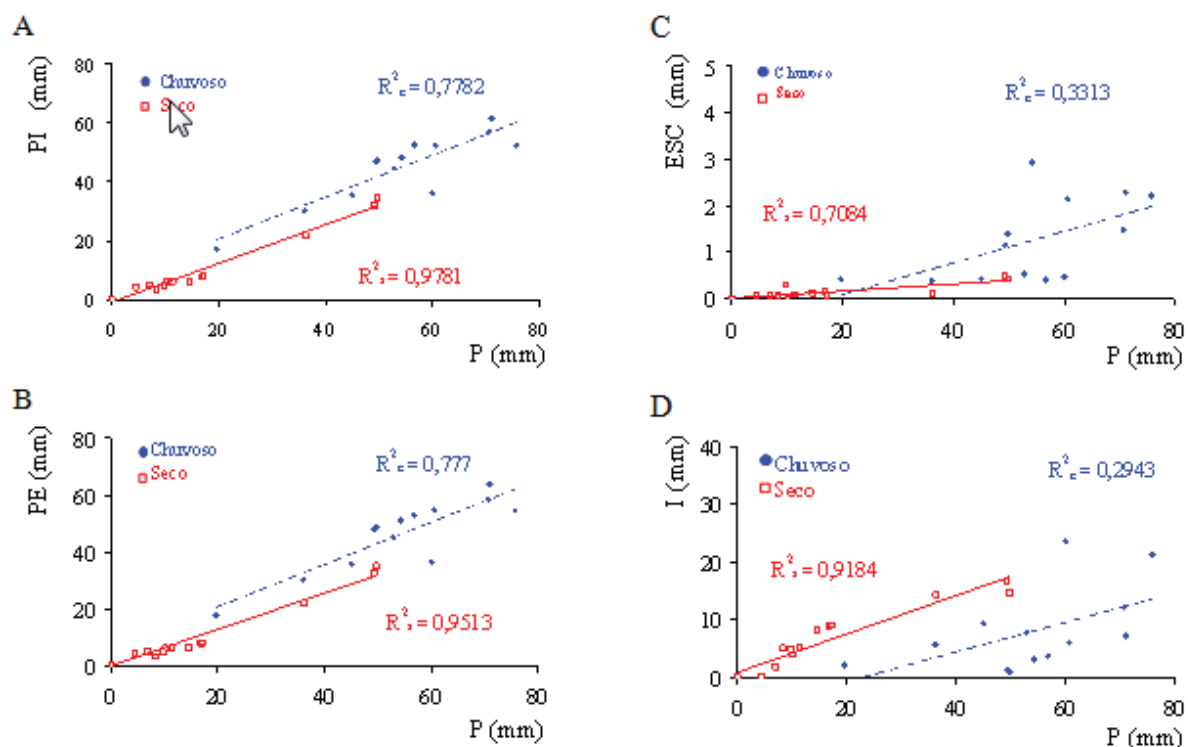


Figura 4. Correlações entre precipitação acima do dossel P e as variáveis; (A) precipitação interna PI , (B) precipitação efetiva PE , (C) escoamento pelos troncos ESC , e (D) interceptação I , nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso) e 2 de agosto a 28 de novembro (seco) de 2004.

Precipitação efetiva para as estações chuvosa e seca

Como a PE é uma composição das variáveis PI e ESC , e já foi visto no item anterior que PI é altamente dependente de P , analogamente às oscilações de PE , também estão ligadas às variações de P . Os resultados obtidos neste trabalho estão em concordância com estudos sazonais realizados por Arcova *et al.* (2003), que encontraram reduções na PE de 84,1% para 70,8%, do período chuvoso para o seco, respectivamente. As PE decresceram de 85,1%, do período chuvoso, para 60,4%, no período seco (ver Tabela 3). Isto se deve às reduções ocorridas nas PI e nos ESC . Como já era esperada, a precipitação efetiva (PE) apresentou boa correlação com P , sendo que coeficiente de determinação foi maior no período seco, com $R^2 = 0,9513$, do que no período chuvoso, com $R^2 = 0,777$ (Figura 4B e Tabela 2). Na análise sazonal, realizada por Arcova *et al.* (2003), os autores não apresentaram as regressões entre P e PE , provavelmente porque os resultados obtidos nessas regressões seriam muito semelhantes aos das correlações entre P e PI . No presente estudo, foi possível comprovar esse fato, pois os coeficientes de determinação para os períodos seco e chuvoso foram bons, isto é, P e PI ($R^2 = 0,978$ e $R^2 = 0,778$) e P e PE ($R^2 = 0,951$ e $R^2 = 0,777$), respectivamente.

Escoamento pelos troncos, para as estações chuvosa e seca

Os valores de ESC que foram aparentemente pequenos, 16,2 mm (2,3% da P), no período chuvoso, 1,9 mm (0,81% da P), no período seco, não devem ser negligenciados, pois influenciam a velocidade e a quantidade da água que atinge o solo florestal, permitindo boa infiltração e reduzindo a incidência de escoamento superficial. Em estudos anteriores (PRICE, 1982; HUBER e OYARZÚN, 1983; JOHNSON, 1990), o ESC foi considerado como um mecanismo de autoabastecimento influenciando na qualidade e na quantidade de água que entrará no solo, devido à localização próxima às raízes. Por esse motivo, esse fator é importante durante os períodos secos.

Como ocorreu uma correlação razoável com P para o período seco ($R^2 = 0,7084$), a variação dos volumes acumulados de ESC foi pequena, pois apenas os eventos de chuvas mais intensas apresentaram alguma contribuição para os totais de ESC . Por outro lado, as demais precipitações, de pequena intensidade principalmente, sofreram significativa ou total interceptação pelo dossel vegetal.

Para o período chuvoso, a ocorrência de precipitações de grande intensidade favoreceu o *ESC* durante toda essa época do ano. Mesmo sendo um volume pequeno em relação à *P*, tanto quantitativamente como qualitativamente, o *ESC* segue a mesma tendência de *P*. A correlação do *ESC* com a *P*, apresentou um $R^2 = 0,7084$ no período seco, mais que o dobro do período chuvoso, de $R^2 = 0,3313$ (Figura 4C). Os *ESC* se reduziram em 2/3, cerca de 2,3% de *P* na estação chuvosa e 0,81% de *P* na seca. Isso mostra a importância do escoamento pelos troncos para a reposição de água no solo (ver Tabela 1). Arcova *et al.* (2003) encontraram valores para o período chuvoso e seco de $R^2 = 0,936$ e $R^2 = 0,8046$, respectivamente. Para a FLONA de Caxiuanã, essa correlação entre *P* e *ESC*, no período seco, foi melhor do que no chuvoso, devido à ocorrência, bastante comum na região amazônica, de eventos isolados de precipitação de grande intensidade, durante o período seco.

Interceptação da precipitação pela vegetação, para as estações chuvosa e seca

Os valores de *I* acumulados semanalmente durante os períodos chuvoso e seco não apresentaram variações sazonais significativas (Figura 5). Os totais acumulados (104 mm e 93 mm) não diferiram consideravelmente entre si. Essa proximidade dos totais de *I* registrados não reflete a sua real importância em cada um dos períodos estudados, pois a *I* mais que dobrou do período chuvoso para o seco, de 14,9% para 39,6% da *P*. Isso se deve à redução na quantidade total

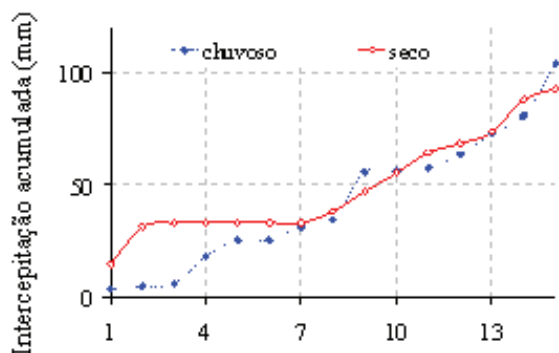


Figura 5. Interceptação da precipitação pela vegetação (*I*) acumulada, durante o ano de 2004, nos períodos chuvoso e seco.

e às características da *P*, como intensidade e duração, no período seco. Qualitativamente, o percentual de *I* é mais significativo no período seco do que no chuvoso para a manutenção da reposição da umidade. Isso

ocorre porque, no primeiro, a demanda atmosférica por umidade é mais acentuada, e qualquer fornecimento de vapor d'água disponível auxiliará na manutenção do ciclo hidrológico em escalas local e regional.

Devido à ocorrência de eventos de precipitação com grandes volumes, em três coletas semanais, durante o período seco, a *I* apresentou excelente coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9184$). Os valores foram mais de três vezes superiores aos obtidos no período chuvoso, com $R^2 = 0,2943$ (Tabela 4). Isso mostra que, no período seco e mais quente, a *I* contribui com maior percentual de transferência de vapor d'água para a atmosfera do ecossistema do que na época das chuvas. Arcova *et al.* (2003) obtiveram, respectivamente, coeficientes de determinação da ordem de $R^2 = 0,8117$ e $R^2 = 0,5806$ para os diferentes períodos.

No caso da FLONA de Caxiuanã, a contribuição do processo de interceptação da precipitação pela vegetação para o ciclo hidrológico da região mostrou-se significativa, considerando-se a interceptação de aproximadamente 15% e 40% da *P* nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. Por sua vez, ambas retornam à atmosfera e tornam a fazer parte da massa de vapor d'água da região. Essa massa úmida lançada na atmosfera, em composição com os volumes transferidos pela transpiração vegetal e evaporação do solo e corpos d'água, contribuem para a manutenção da ciclagem de água e transporte de nutrientes no ecossistema amazônico. A vegetação também contribui para redução do impacto das gotas das chuvas diretamente sobre o solo, diminuindo os danos causados pela erosão física de seu impacto e o consequente assoreamento dos leitos dos igarapés e rios da bacia hidrográfica local.

Tabela 4. Modelos matemáticos gerados a partir das regressões lineares entre a precipitação acima do dossel (P) e as demais variáveis: precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE), escoamento pelos troncos (ESC), e interceptação (I), durante os períodos chuvoso e seco.

V a r i á v e i s correlacionadas	Modelos matemáticos			
	Período chuvoso	R ²	Período seco	R ²
Precipitação interna	$PI = 0,7089(P) + 6,4513$	0,7782	$PI = 0,6582(P) - 0,8614$	0,9781
Precipitação efetiva	$PE = 0,743(P) + 5,8541$	0,777	$PE = 0,5493(P) + 0,179$	0,9513
Escoamento pelos troncos	$ESC = 0,0341(P) - 0,5972$	0,3313	$ESC = 0,0076(P) + 0,0068$	0,7084
Interceptação	$I = 0,257(P) - 5,8541$	0,2943	$I = 0,3341(P) + 0,8546$	0,9184

Conclusão

O total de I foi maior (39,6%) durante o período seco, notadamente entre os meses de agosto e novembro de 2004). Contrariamente, no período chuvoso, de março a junho de 2004, a taxa foi de 14,9% da P , considerando-se que esta última foi menor, cerca de 92,9 mm, contra 104,2 mm.

Os valores da PI e do ESC (82,8% e 2,3%) foram maiores na época chuvosa do que no período seco (59,6% e 0,81%). Como resultado disso, a PE , em Caxiuanã, também foi maior no período chuvoso do que no seco (85,1% e 60,4%).

As correlações lineares obtidas entre a precipitação total incidente acima do dossel e as componentes da interceptação, PI , PE , ESC e a própria I , apresentaram melhores resultados para o período seco do que para o período chuvoso, em decorrência de alguns eventos de chuva com grandes volumes, registrados em pelo menos três coletas semanais. Duas delas no início e outra no final do período seco.

Apesar da redução natural sofrida pela PI na variação sazonal, entre a época chuvosa e a seca, essa é a parcela da chuva que mais contribuiu com a chegada de água no solo da floresta.

A importância do ESC na redistribuição da chuva na floresta tropical é evidenciada na análise da sua sazonalidade. Apesar de ser uma pequena fração da precipitação total incidente acima do dossel, para ambos os períodos, o ESC contribui com o fornecimento de água direcionada próximo às raízes, notadamente na reposição de umidade no solo.

A I permanece quase que com a mesma magnitude durante todo o ano. Porém, como a P , no período seco, sofre uma grande redução, a importância da I aumenta, pois, como era esperado, um percentual

muito maior da chuva que atingiu a parte superior da vegetação foi reciclado na forma de vapor para a atmosfera, contribuindo para a manutenção do ciclo hidrológico que auxilia a floresta amazônica a preservar suas características ecológicas atuais.

Percebe-se que a componente interceptação, em uma floresta de grande porte, como Caxiuanã, é responsável por parte significativa da ciclagem da chuva na interface floresta-atmosfera, com importância fundamental no microclima local e provavelmente na dinâmica de transporte de nutrientes, até mesmo em escalas regional e global.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FINEP as bolsas de pós-graduação e o apoio técnico. Agradecem também a todos os envolvidos nas atividades de campo em Caxiuanã, em especial a Alan Braga, João Athaydes Jr. e a Paulo Henrique Gonçalves.

Referências Bibliográficas

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. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

FERREIRA da COSTA, R.; COSTA, A. C. L. da; MEIR, P.; MALHI, Y. ; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; SOTTA, E. D.; VALE, R. L.; GRACE, J.; FISHER, R. A. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: características, atividades e resultados. In: SEMINÁRIO DE 10 ANOS DE ATIVIDADES DA ESTAÇÃO CIENTÍFICA FERREIRA PENNA., Caxiuanã, 1., 2003, Belém. **Resumos...** Belem: MPEGED, 2003. CD-ROM.

- GERMER, S.; ELSENBEEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v. 10, p. 383-393, 2006.
- HOLWERDA, F.; SCATENA, F. N.; BRUIJNZEEL, L. A. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: A comparison of sampling strategies. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 327, p. 592-602, 2006.
- HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 47, n. 9, p. 603-623, 1919.
- HUBER, A. J.; OYARZÚN, C. E. Precipitación neta e intercepción en un bosque adulto de *Pinus Radiata* (D. Don). **Bosque**, Valdivia, v. 5, p. 13-20, 1983.
- JACKSON, I. J. Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.12, p. 234-254, 1971.
- JOHNSON, R. G. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. **Journal of Hidrology**, Amsterdam, v.118, p.281-287, 1990.
- LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetação com características de cerradão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES METROPOLITANAS, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1985. v. 3, p. 212-220.
- LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e a interceptação em florestas de Pinheiros tropicais e em uma reserva de cerradão. **IPEF**, Piracicaba, n. 24, p. 43-46, 1983.
- LIMA, W. P. Hidrologia de plantações de Eucaliptos. In: LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. p. 51-137.
- LLOYD, C. R.; MARQUES FILHO, A. O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agricultural and Forest Meteorological**, Amsterdam, v. 42, p. 63-73, 1988.
- MOLION, L. C. B.; DALLAROSA, R. L. G. Pluviometria da Amazônia: São os dados confiáveis? **Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Brasília, DF, v. 5, n. 3, p. 40-42, 1990.
- OLIVEIRA, L. L. **Avaliação da interceptação da precipitação pela vegetação na floresta nacional de Caxiuanã, Pará**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. C., DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 1, p. 9-15, 2005.
- PRICE, N. W. A comparison of water balance components in natural and plantation forests in El Salvador, central America. **Turrialba**, San Jose, v. 32, p. 399- 416, 1982.
- SOUZA, E. P. P. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental**. 2003. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- SOUZA FILHO, J. D. C. *et al.* Mecanismo de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 223-229, 2005.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2009. p. 35-51.
- UBARANA, V. N. **Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na floresta Amazônica**. 1994. 115 f. Tese (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- VIANA, J. S. *et al.* Comparação estrutural e florística entre os ambientes de terra-firme e igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. . In: SEMINÁRIO DE 10 ANOS DE ATIVIDADES DA ESTAÇÃO CIENTÍFICA FERREIRA PENNA, Caxiuanã, 1., 2003, Belém. **Resumos...** Belem: MPEGED, 2003. CD-ROM.