

# Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica em floresta amazônica de terra firme

Paulo Rodoifo Leopoldo (1)  
Wolfram Franken (2)  
Eneas Salati (3)

## Resumo

Estimaram-se as taxas anuais de transpiração, evapotranspiração e escoamento superficial de uma bacia hidrográfica de 1,3 km<sup>2</sup>, localizada na Reserva Ducke, a 26 km de Manaus. Através dos resultados, observou-se que, do total da precipitação ocorrida, cerca de 62% são transpirados e 80,7% evapotranspirados, enquanto que o escoamento superficial foi representado por uma parcela de 19,3%.

## INTRODUÇÃO

Tem sido observado que a destruição da Floresta Amazônica, através de um irracional desmatamento, poderá causar profundas alterações no ciclo hidrológico da região, com conseqüências ao equilíbrio ecológico (Villa Nova *et al.*, 1976; Marques *et al.*, 1977; Salati *et al.*, 1979).

Essa possibilidade, aliada à representatividade dessa região, que se constitui no maior ecossistema florestal da terra, tem provocado um necessário e crescente interesse no estudo de seu comportamento hidrológico.

Neste aspecto, a nível de macro escala, inúmeras pesquisas foram conduzidas, com importantes conclusões de ordem básica (Matsui *et al.*, 1972; Dall'Olio *et al.*, 1979; Marques *et al.*, 1979; Salati *et al.*, 1979; Marques *et al.*, 1980).

Em termos específicos de Floresta Amazônica de terra firme, através do balanço hídrico aplicado à Bacia Modelo, bacia hidrográfica de 23,5 km<sup>2</sup> situada a cerca de 80 km de Manaus, estimou-se que 48,5% da precipitação total representaram a parcela transpirada,

74,1% a evapotranspirada, com um escoamento superficial da ordem de 25,9 (Leopoldo *et al.*, 1981).

Através de semelhantes estudos, conduzidos na região de San Carlos do Rio Negro, Venezuela, observou-se que o total transpirado correspondeu a 47% da chuva, a evapotranspiração como sendo de 52% e o escoamento subsuperficial em 48% (Jordan *et al.*, 1981).

Da mesma forma, o presente trabalho teve por finalidade a estimativa de parâmetros do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica sob cobertura florestal do tipo terra firme.

Informações dessa natureza, evidentemente, são úteis e importantes, desde que se tenha por objetivo a introdução de modelos de uso do solo, manejo das essências florestais e exploração dos recursos naturais, adequados à realidade ecológica da região.

## MATERIAL E MÉTODOS

A bacia estudada localiza-se na Reserva Florestal Ducke, a cerca de 26 km de Manaus, junto a rodovia Manaus-Itacoatiara. A sua superfície, com 1,3 km<sup>2</sup>, é coberta por floresta amazônica do tipo terra firme.

No balanço hídrico dessa bacia, à semelhança de Leopoldo *et al.*, (1981), tomou-se por base a equação:

$$P = E + Q \dots\dots\dots (1)$$

onde P = precipitação total;  
E = evapotranspiração e  
Q = escoamento superficial.

(1) — Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, UNESP, SP.  
(2) — Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.  
(3) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba; SP.

Segundo Villa Nova *et al.*, (1976) e Jordan *et al.*, (1981), a perda da água do solo, por evaporação, pode ser desprezível quando comparada aos demais parâmetros.

Assim, a perda por evaporação se resume na quantidade de água interceptada pela cobertura florestal, de tal modo que a equação (1) pode ser dada pela expressão seguinte, considerando-se que  $E = I + T$ :

$$P = I + T + Q \dots\dots\dots (2)$$

onde I = perda por interceptação e  
T = transpiração

A parcela referente à variação da quantidade de água armazenada pelo solo foi considerada como sendo igual a zero, uma vez que os valores estimados foram para um período de 1 ano (OMM, 1967), e da mesma forma, a perda por percolação profunda foi considerada como sendo nula, pressupondo-se que toda água que atingiu o solo tenha sido parte transpirada e parte escoada através do igarapé que drena a bacia.

A chuva ocorrida na bacia, foi determinada através de 1 pluviômetro, com 200 cm<sup>2</sup> de superfície, instalado a 20 m da floresta enquanto que o termo I da equação (2) foi estimado através da média de 20 pluviômetros instalados no interior da mata, conforme Franken *et al.*, (s/d).

Para determinar-se o escoamento superficial Q, dado pelo igarapé Barro-Branco, utilizou-

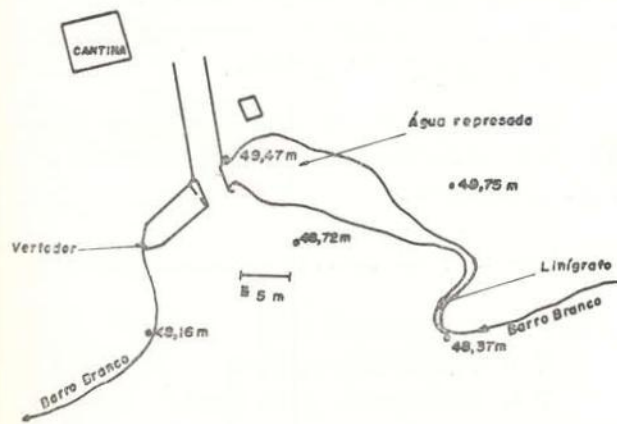


Fig. 1 — Detalhes do local de medição do escoamento superficial.

se um vertedor retangular de 0,98 m de largura, localizado à saída da bacia e de um linígrafo, conforme mostra a Fig. 1. Através da calibração dessa estrutura, a carga sobre a soleira do vertedor e registrada pelo linígrafo, foi convertida em dados de vazão Q.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A obtenção dos dados necessários ao balanço hídrico, segundo a equação (2), se deu no período de 23/9/76 a 25/9/77.

Na Fig. 2, estão plotados, por período, os valores obtidos para a precipitação (P) e interceptação (I), assim como os valores relativos à soma de I + Q. A área achureada representa o valor da transpiração (T = P — Q + I), verificados para o período em questão.

Como pode ser observado, tais dados estão agrupados em função de períodos, cujas amplitudes estão indicadas no eixo das abscissas, em sua parte superior. O agrupamento em meses não foi possível, uma vez que as leituras referentes à perda por interceptação nem sempre coincidiram com o início ou fim de cada mês.

A Tabela 1 mostra os resultados do balanço hídrico, para o período estudado, observando-se que os dados de evapotranspiração e transpiração foram calculados segundo as equações (1) e (2).

**TABELA 1 — Valores em milímetros, percentuais e mm/dia observados para a precipitação, interceptação, escoamento superficial, transpiração e evapotranspiração verificados na Bacia Hidrográfica estudada durante o período de 23-09-76 a 25-09-77.**

	Total em mm	Percentuais (%)	mm/dia (média)
Precipitação (P)	2.075,5	100,0	5,6
Interceptação (I)	387,7	18,7	1,1
Escoamento Sup. (Q)	400,4	19,3	1,1
Transpiração (T)	1.287,4	62,0	3,5
Evapotranspiração (E)	1.675,1	80,7	4,6



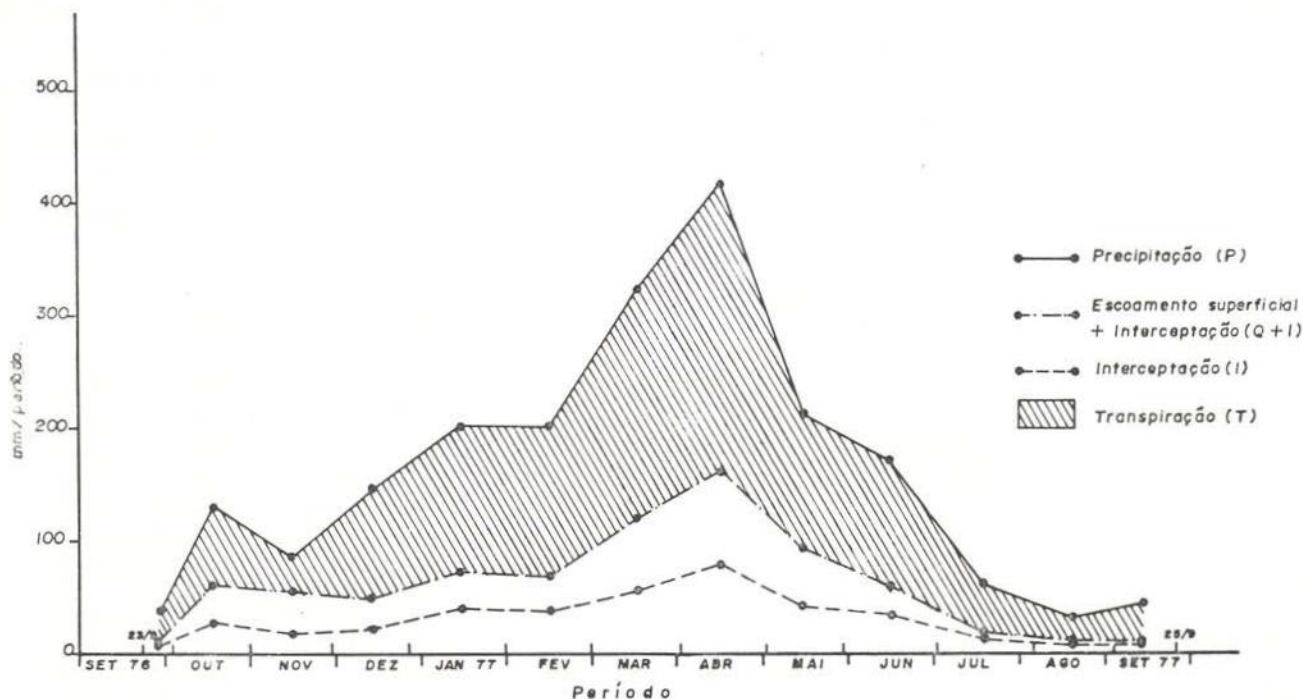


Fig. 2 — Relações entre a Precipitação, Interceptação, Escoamento superficial e Transpiração observados no período de 23-9-76 a 25-9-77 na bacia hidrográfica estudada (Reserva DUCKE-AM).

A média normal de precipitação, na Reserva Ducke, calculada para o período de 1966-1977 foi de 2.481 mm anuais.

A título de comparação, inclui-se na Tabela 2 um resumo dos dados obtidos por diversos autores que estudaram a região e os do presente trabalho. Essa tabela, basicamente, foi extraída de Marques *et al.*, (1980) e complementada com dados mais recentes. Os valores do escoamento superficial, em alguns casos, foram deduzidos pela diferença entre o total precipitado e o evapotranspirado. Os cálculos percentuais referem-se à precipitação de 100%.

Calculou-se o escoamento superficial não só para os dados referentes à evapotranspiração real como também para a potencial. A razão desse procedimento resulta do fato de que, em alguns casos, a evapotranspiração potencial esteja muito próximo da real, conforme observado por Villa Nova *et al.*, (1976).

Neste aspecto, devem considerar-se também as informações de W. Franken (com. pessoal), nas quais se nota que, de um modo geral, os valores de tensões da água do solo obtidos

na Bacia Modelo, embora sofram rápidas variações, os mesmos se situam na faixa de baixos potenciais de retenção (menos negativo), não limitando, desse modo, a sua disponibilidade às plantas.

Assim, considerando-se esses aspectos, em que se supõe que os valores da evapotranspiração real e potencial sejam muito semelhantes para o local estudado ou mesmo outros cobertos por floresta de terra firme, pode ser verificado que os dados de evapotranspiração vistos na Tabela 1, em linhas gerais, não diferem acentuadamente daqueles relatados por Villa Nova *et al.*, (1976) para a Região de Manaus, por Ribeiro, (1976) para a Reserva Ducke, por Leopoldo *et al.*, (1981) para a Bacia Modelo ou mesmo de alguns outros autores apresentados na Tabela 2.

Os dados de escoamento superficial, no entanto, quando comparados aos demais vistos na Tabela 2, podem ser considerados subestimados e todo erro cometido na determinação deste parâmetro recai, segundo as equações (1) e (2), na estimativa da transpiração e evapotranspiração.

TABELA 2 — Dados de precipitação, transpiração, evapotranspiração e escoamento superficial obtidos para a Região Amazônica, segundo os autores citados.

Autores	Precipitação mm	Transpiração			Evapotranspiração			Escoamento Superficial	
		mm	%	mm/dia	mm	%	mm/dia	mm	%
MARQUES et al, (1980)	2328 (1)	—			1260 (r)	54,2	3,5	1068	45,8
	(2)	—			1000 (r)	43,0	2,7	1328	57,0
	(3)	—			1330 (p)	57,1	3,6	998	42,9
VILLA NOVA et al, (1976)	2000 (4)	—			1460 (p)	73,0	4,0	540	27,0
		—			1168 (r)	58,4	3,2	832	41,6
	2101 (5)	—			1569 (p)	73,4	4,3	532	26,6
MOLION, (1975)*	2379 (6)	—			1146 (r)	48,2	3,1	1233	51,8
RIBEIRO, (1976)	2481 (7)	—			1536 (p)	62,0	4,2	945	38,0
		—			1229 (r)	49,5	3,7	1252	50,5
IPEAN, (1972)*	2179 (8)	—			1475 (p)	67,5	4,0	704	32,5
		—			1320 (r)	60,6	3,6	859	39,4
DMET, (1978)*	2207 (9)	—			1452 (p)	65,8	4,0	755	34,2
		—			1306 (r)	59,2	3,6	901	40,8
		—							
JORDAN et al, (1981)	3664 (10)	1722	47,0	4,7	1905 (r)	52,0	5,2	1759	48,0
LEOPOLDO et al, (1981)	2089 (11)	1014	48,5	2,7	1542 (r)	74,1	4,1	541	25,9
LEOPOLDO et al, (1982)	2075 (12)	1287	62,0	3,5	1675 (r)	80,7	4,6	400	19,3

OBSERVAÇÕES: (r) = evapotransp. real; (p) = evapotransp. potencial; (\*) = dados extraídos de MARQUES et al., (1980).

(1) — Método aerológico aplicado a toda Bacia Amazônica e referente à média do período 1972/1975.

(2) — Idem, para o trecho Belém-Manaus no ano de 1972; (3) — Método de Thornthwaite, para o trecho Belém-Manaus, no ano de 1972; (4) — Método de Penman adaptado para florestas e referentes à média do período 1931/1960; (5) — Idem para a região de Manaus; (6) — Método climatológico aplicado no período de 1931/1960; (7) — Método de Thornthwaite aplicado Reserva Ducke e referente à média do período 1965/1973, considerando-se a média normal da precipitação em 2481 mm.

(8) — Idem, para toda Bacia, calculado para um período acima de 10 anos, com média de 7 estações.

(9) — Idem, para períodos diversos.

(10) — Balanço hídrico com transpiração calculada através de tanque classe A, para Floresta Amazônica Venezuelana.

(11) — Balanço hídrico da Bacia Modelo, com cálculo de P, I e Q.

(12) — Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica Reserva Ducke, com cálculos de P, I e Q.

Valores de escoamento superficial semelhantes, aos vistos na Tabela 1 foram encontrados por Pereira, (1962 e 1967) que obteve para região tropical no Este africano, valores que variaram de 17 a 20% da precipitação, enquanto que Odum, (1967) registrou valores da ordem de 29%, para a região de El Verde em Porto Rico. Taxas na faixa de 51 a 58% foram obtidas por Dils, (1957) e Likens (1967).

No entanto, o resultado de 19,3%, estimado através de medidas diretas, para a vazão nesta bacia de floresta tropical implica na grande importância da evapotranspiração para o equilíbrio da região. O corte da mata, sem técnica adequada, influenciará no aumento da parcela escoada, causando erosão aos leitos dos igarapés, transporte de sedimentos, material orgânico e outros possíveis danos.

De um modo geral, as variações mais acentuadas entre valores vistos na Tabela 2 e resultados do presente trabalho podem ter sido determinadas em função das diferentes metodologias empregadas, bem como em função das variações pluviométricas, de tipos de vegetação e de solos que ocorrem na Bacia Amazônica como um todo, indicando, contudo a ordem de grandeza e importância dos componentes do balanço hídrico.

#### SUMMARY

It was evaluated the annual transpiration, evapotranspiration and runoff rates from a 1.3 km<sup>2</sup> watershed, located at Ducke Reserve, which is 26 km far from Manaus. The results showed that, from the total rainfall about 62% were transpired, 80.7% evapotranspired, and 19.3% runoff.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DALL'OLIO, A.; SALATI, E.; AZEVEDO, C.T. & MATSUI, E.  
 1979 — Modelo de fracionamento isotópico da água na bacia Amazônica. *Acta Amazonica*, 9 (4): 675-687.
- DILS, R.E.  
 1957 — Aguide to the Coweeta Hydrologic Laboratory. *Southeastern Forest Exp. Station, Asheville, N.C. Misc. Publ.*
- FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G.  
 s/d — Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. Enviado para publicação na Revista *Acta Amazonica*.
- JORDAN, C.F. & HEUVELDOP, J.  
 1981 — The water budget of an amazonian rain forest. *Acta Amazonica*, 11 (1): 87-92.
- LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; MATSUI, E. & SALATI, E.  
 1981 — Estimativa de evapotranspiração de Floresta Amazônica de terra firme. Enviado para publicação no Suplemento da Revista *Acta Amazonica*.
- LIKENS, G.E.  
 1967 — The calcium, magnesium, potassium, and sodium for a small forested ecosystem. *Ecology*, 48 (5): 772-785.
- MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos; VILLA NOVA, N.A. & SALATI, E.  
 1977 — Precipitable water and water vapour flux between Belem and Manaus. *Acta Amazonica*, 7 (3): 355-363.
- MARQUES, J.; SANTOS, J.M. dos & SALATI, E.  
 1979 — O armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região Amazônica. *Acta Amazonica*, 9 (4): 715-721.
- MARQUES, J.; SALATI, E. & SANTOS, J.M. dos  
 1980 — Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. *Acta Amazonica*, 10 (2): 357-361.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; BRINKMANN, W.L.F. & FRIEDMAN, I.  
 1972 — **Vazões relativas dos rios Negro e Solimões através das concentrações de  $^{18}O$ .**
- ODUM, H.T.  
 1967 — Hydrogen budget and compartments in the rain forest at El Verde, Puerto Rico, pertinent to consideration of tritium metabolism. **IOCS memorandum BMI-2.**
- OMM  
 1967 — Guia de práticas hidrometeorológicas. Publicação OMM (168) TP. 82. Genebra, Suíça.
- PEREIRA, H.C.  
 1962 — The water balance of both treated and control valleys, East African. **Agric. and For. Jour. Special Issue**, 27: 36-41.  
 1967 — Effects of land use on the water and energy budgets of tropical watersheds. In: **Forest Hydrology**. Ed. W.E. Sopper e H.W. Lull, Pergamon Press, Oxford, p. 435-450.
- RIBEIRO, M.N.G.  
 1976 — Aspectos climatológicos de Manaus. *Acta Amazonica*, 6 (2): 229-233.
- SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E. & GAT, J.R.  
 1979 — Recycling of water in Amazon Basin: an isotopic study. **Wat. Res. Research**, 15 (5): 1250-1258.
- VILLA NOVA, N.A.; SALATI, E. & MATSUI, E.  
 1976 — Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. *Acta Amazonica*, 6 (2): 215-228.

(Aceito para publicação em 28/04/82)