

RELAÇÕES ENTRE FLUXOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL EM BACIA HIDROGRÁFICA CARACTERIZADA POR COBERTURA FLORESTAL AMAZÔNICA.

Wolfram Franken (*)

Paulo Rodolfo Leopoldo (**)

RESUMO

O experimento foi conduzido em uma bacia hidrográfica de 1,3 km², drenada pelo igarapé Barro-Branco, localizada na Reserva Florestal Ducke, a cerca de 30 km de Manaus. A cobertura vegetal dessa bacia é caracterizada, em quase sua totalidade, por floresta amazônica do tipo "Terra-Firme". A coleta de dados e respectivos cálculos estenderam-se no período de maio de 1981 a dezembro de 1983. Para o período em questão, os resultados obtidos mostraram que, em termos médios, o escoamento total do igarapé representou 32,3% da chuva, dos quais apenas 2,8% se deram na forma de escoamento superficial direto, implicando numa evapotranspiração da ordem de 67,7% do total precipitado. Considerando-se um valor médio de 22% para o total da chuva interceptada pela cobertura florestal, a transpiração dada pela floresta pode ser estimada como sendo de cerca de 45,7% da precipitação. Acredita-se que o corte indiscriminado e irracional da Floresta Amazônica, visando a sua ocupação, deverá alterar significativamente as relações encontradas, trazendo como conseqüências, sérios problemas de erosão, transporte de sedimentos, menor tempo de residência da água na bacia e outros problemas que certamente irão interferir no atual equilíbrio ecológico da maior reserva florestal do mundo.

INTRODUÇÃO

Embora o ecossistema amazônico esteja ainda em equilíbrio, ele se encontra constantemente ameaçado pelo contínuo aumento em sua taxa de ocupação, provocando mudanças radicais no uso da terra através da derrubada da floresta (Fearnside, 1984).

Como conseqüência do atual modelo de ocupação, é de se esperar que, como decorrer do tempo, venham a ocorrer profundas mudanças nos ciclos da água, de nutrientes, de energia e outros de natureza biogeoquímicos, uma vez que o sistema original tende a ser significativamente alterado.

(*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus - AM.

(**) Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP, Botucatu - SP.

Porter *et al.* (1981), Sellers (1984), entre outros, acreditam que o deflorestamento da Amazônia terá sérias implicações no clima da região e em muitos aspectos naquele do planeta.

Conforme Salati & Ribeiro (1979), em termos ligados ao ciclo hidrológico, a derrubada da floresta a nível local traria, entre outras conseqüências, um aumento no transporte de sedimentos pela água de chuva, menor tempo de resistência da água na bacia, envolvendo uma diminuição na taxa de armazenamento, com conseqüentes períodos de seca, ou seja, um aumento na taxa de escoamento superficial em detrimento da alimentação subterrânea.

Sabe-se que a cobertura florestal desempenha um fundamental papel na retenção da água de chuva, interceptando cerca de 22% do total precipitado (Franken *et al.*, 1982a), amenizando os efeitos prejudiciais do escoamento superficial direto.

Levando-se em consideração a importância do ciclo hidrológico para a região e sua inter-relação com os demais ciclos, o presente trabalho dá continuidade a uma série de outros estudos já desenvolvidos sobre o assunto (Franken *et al.*, 1982b; Leopoldo *et al.* 1982a; Leopoldo *et al.*, 1982b; Leopoldo *et al.*, 1982c; Franken & Leopoldo, 1984), entre outros.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma bacia hidrográfica de cerca de 1,3 km², drenada pelo igarapé Barro Branco, a qual se localiza na Reserva Florestal Ducke (Fig.1). A cobertura vegetal dessa bacia é caracterizada, em quase sua totalidade, por floresta Amazônica do tipo "Terra-Firme".

Para se determinar a descarga do igarapé Barro Branco, utilizou-se de um vertedor retangular com 0,98 m de soleira localizado à saída da bacia e de um linígrafo, conforme mostra a Figura 2. Através da calibração da estrutura, a carga sobre a soleira do vertedor e registrada pelo linígrafo era convertida em dados de vazão.

Os dados de precipitação foram obtidos através de um pluviôgrafo existente na estação meteorológica da Reserva Florestal Ducke.

Por ocasião da verificação de hidrogramas, quando da ocorrência de chuvas, as contribuições dos fluxos de base e superficial foram estimadas através de método empírico citados por Linsley *et al.* (1958) e Chow (1964). O método adotado consiste, conforme pode ser visto na Figura 3, na união, através de uma linha, entre o ponto em que se inicia a elevação do nível do curso de água (A) e o ponto final da curva de recessão do hidrograma (A'), quando o referido nível tende a voltar ao normal. Na Figura 3, a parte superior a linha AA' corresponde ao escoamento superficial direto proveniente da chuva e a parte inferior correspondendo à contribuição do fluxo de base.

A coleta de dados e respectivos cálculos realizaram-se de maio de 1981 a dezembro de 1983.

RESULTADOS

Na Tabela 1 tem-se os valores da precipitação, do volume total escoado, volume superficial direto and the base flow, expressos em metros cúbicos e dados em função dos meses e anos de observação.

Os valores percentuais do volume total escoado, do volume superficial direto e do base flow, em relação a precipitação verificada, podem ser vistos na Tabela 2. Os percentuais apresentados para o volume superficial escoado diretamente expressamos valores do coeficiente de Runoff da floresta.

Da mesma forma, a Tabela 3 mostra os percentuais de contribuições do volume superficial escoado diretamente e do volume de água subterrânea, na formação do escoamento total.

Na Figura 4 é mostrada a variação percentual da relação entre o volume escoado mensalmente e o volume total do respectivo ano, em função do período 1981 - 1983.

Tabela 1. Valores da precipitação, escoamento total, escoamento superficial direto e base flow, expressos em metros cúbicos verificados para o período de observação.

OBSERVAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL	
RAINFALL	1981				397.020	134.430	53.430	283.920	187.460	139.620	224.380	231.920	1.652.690	
(m ³)	1982	371.670	400.400	370.110	492.700	383.500	124.020	130.520	62.400	194.350	204.100	116.610	233.610	3.083.990
	1983	50.700	87.620	366.600	227.810	316.290	160.420	126.100	107.510	159.770	206.830	97.630	569.920	2.477.200
Média		211.185	244.010	368.355	360.255	365.603	139.793	103.350	151.277	180.527	183.517	146.207	345.150	7.183.880
VOLUME	1981				100.690	80.720	45.852	71.062	56.710	49.327	46.465	61.875	512.669	
TOTAL	1982	73.826	128.455	146.241	175.198	168.022	106.472	69.594	67.928	70.456	71.672	44.943	58.966	1.181.773
ESCOADO	1983	41.032	38.832	50.637	58.501	68.482	60.548	46.364	38.573	36.494	45.833	33.286	77.702	626.284
(m ³)														
Média		57.429	83.644	98.439	116.850	112.398	82.580	53.937	59.188	54.553	55.611	41.565	66.181	2.320.726
VOLUME	1981				10.358	2.948	0	7.396	3.202	2.925	4.418	5.075	36.322	
SUPERFI	1982	7.722	20.267	13.876	24.063	19.237	1.783	2.708	1.345	5.745	7.205	2.583	4.142	110.676
CIAL	1983	925	1.511	8.905	4.020	5.601	6.858	1.111	910	3.247	3.151	1.067	15.956	53.262
DIRETO														
(m ³)														
Média		4.324	10.889	11.390	14.042	11.732	3.863	1.273	3.217	4.065	4.427	2.689	8.391	200.260
VOLUME	1981				90.332	77.772	45.852	63.666	53.508	46.402	42.047	56.800	476.347	
DE	1982	66.104	108.188	132.365	151.135	148.785	104.689	66.886	66.583	64.711	64.467	42.360	54.824	1.071.097
BASE	1983	40.107	37.321	41.732	54.481	62.881	53.690	45.253	37.663	33.247	42.682	32.219	61.746	573.022
(m ³)														
Média		53.106	72.755	87.049	102.808	100.666	78.717	52.664	55.971	50.489	51.184	38.875	57.790	2.120.466

Relações entre fluxos de ...

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os dados da Tabela 1 mostram que no período houve uma precipitação da ordem de 5.526 mm, dos quais 2.320.726 m³, representando 32,3% do total precipitado (Tabela 2), foram escoados através do igarapé que drena a Bacia.

Como a variação do volume de água armazenado pela Bacia, num período relativamente longo, pode ser considerado como sendo próxima de zero (OMM, 1967), tem-se que a diferença entre os valores da precipitação e aquele escoado vem a representar, em termos médios, a evapotranspiração da Bacia ($ET = P - Q$). Assim, tomando-se os dados da Tabela 1 ou 2, tem-se que a evapotranspiração representou cerca de 67,7% do total precipitado no período.

Tomando-se um valor médio de 22% para o total da chuva interceptada pela cobertura florestal (Franken *et al.*, 1982a), a transpiração dada pela floresta no período pode ser estimada como sendo de 45,7% da precipitação verificada. Esse valor, obtido para a transpiração, se encontra muito próximo dos valores relatados por Jordan & Heuveldop (1981) e Leopoldo *et al.* (1982a) para cobertura florestal amazônica.

Observa-se, através dos valores vistos na Tabela 1 que, à semelhança do Rio Amazonas (Oltman *et al.*, 1964), a descarga máxima da Bacia ocorre no período Abril-Maio, cujo fluxo representa de 11 a 19% do fluxo total ocorrido no ano; enquanto que o mínimo se dá, de um modo geral, no mês de novembro, onde o fluxo é da ordem de 3,8 a 9% do total ocorrido no ano (Fig. 4).

O fluxo de base apresenta comportamento semelhante ao verificado para a descarga total.

No entanto, o volume superficial escoado diretamente foge a esse modelo, mostrando-se dependente da quantidade de chuva que ocorre no período. O coeficiente de correlação calculado através da regressão linear entre os valores da precipitação mensal e o volume superficial direto foi de 0,8783, o que demonstra que tal processo é significativamente influenciado pela quantidade de chuva ocorrida ($r^2 = 77,14\%$).

Como já foi observado, a Tabela 2 mostra que, em termos médios, o escoamento total representou 32,3% da chuva, dos quais apenas 2,8% se deram na forma de escoamento superficial direto, ou seja, o montante da chuva escoada diretamente sobre o terreno.

Verifica-se ainda (Tabela 2) que o escoamento superficial direto (coeficiente de runoff), médio mensal, da Bacia é relativamente baixo, com um mínimo de 0,0% e um valor máximo de 5,0%.

Tais valores vêm demonstrar o importante papel desempenhado pela floresta no que diz respeito à conservação e proteção do solo, permitindo que a maior parte da precipitação que chega ao piso florestal seja retida pelo litter e infiltrada, em detrimento de seu escoamento direto.

Em bacia hidrográfica, sob utilização agrícola, dotada de adequado sistema de conservação do solo e duas pequenas barragens, Leopoldo & Chiaradia (1985) encontraram valores do coeficiente de escoamento superficial, variando de 1,2 a 5,1%, os quais podem ser considerados da mesma ordem de grandeza daqueles vistos na Tabela 2. Embora esses

Wolfram Franken *et al.*

valores possam ser considerados baixos, em se tratando de área sob utilização agrícola, os mesmos são justificáveis, tendo-se em vista que a bacia em questão apresenta um solo de textura arenosa, de alta permeabilidade, além de contar com uma declividade média moderada ($\pm 9,0\%$) e do sistema de conservação do solo. Evidentemente, como é de se supor, o coeficiente em questão é dependente de uma série de fatores, tais como, declividade média da Bacia, comprimento da encosta, tipo de cobertura vegetal, textura do solo, intensidade de precipitação e outros. Molchanov (1963), fazendo comparações entre diversas situações, relata que no caso de pastagens o coeficiente de escoamento superficial pode variar de 78%, em áreas com declividade de 5° , à cerca de 90% para uma declividade de 20° , enquanto que em áreas cobertas por floresta de Píceas, com manta florestal bem desenvolvida, tais valores, para as respectivas declividades, são de 2 a 5%.

Em termos médios mensais, verifica-se que a contribuição da água subterrânea, na formação da descarga total, pode ser considerada como praticamente constante no decorrer do ano, com uma média, no período, de 91,4% (Tabela 3), demonstrando a alta capacidade de retenção de água pela bacia, sob cobertura florestal.

Leopoldo & Chiaradia (1985), trabalhando com bacias hidrográficas sob utilização agrícola, encontraram que o fluxo de água subterrânea representou cerca de 93,7% do total, no caso de bacia com sistema de conservação do solo, à semelhança do que já foi descrito em parágrafos anteriores. No entanto, relatam os autores que essa contribuição cai para 73,8% em bacia com características semelhantes, na ausência de um eficaz sistema de conservação do solo.

Da mesma forma, os percentuais de contribuição dos respectivos fluxos dependem, como já observado para o valor do coeficiente de escoamento superficial, de uma série de fatores que os fazem variar de bacia para bacia. Por exemplo, em bacia reflorestada em 80% com coníferas, localizada nos pré-alpes da Alemanha Ocidental, Herrmann & Stichler (1981) encontraram que, on the average, $30 \pm 10\%$ of total runoff is supplied by directly outflowing rain and snowmelt waters, valor este que pode ser considerado alto quando comparado com os aqui representados.

Assim, com base nos dados obtidos no presente trabalho, acredita-se que o corte irracional da floresta amazônica, visando-se a sua ocupação, que tem como objetivo a extensão das fronteiras agrícolas do país, venha a alterar de modo profundo as relações que foram encontradas, trazendo como consequência, entre outras, sérios problemas de erosão, transporte de sedimentos, e menor tempo de residência da água nas bacias, provocando períodos de acentuado déficit de água no solo.

Evidentemente, tais alterações irão refletir marcadamente no equilíbrio ecológico do ecossistema analisado.

SUMMARY

The investigation was carried out from May 1981 to december 1983 in a small hydro

graphic basin (area ca. 1,3 km²) drained by the stream "Barro Branco", situated in INPA's Forest Reserve "Adolfo Ducke" (Highway AM 010, km 28).

The area is covered by tropical rainforest of the amazonian "Terra Firme" type (i. e. situated above the levels of annual inundations).

Stream discharge was 32,3%; interception by the canopy 22% and the remaining 45,7% fall on transpiration by the vegetation, thus resulting in a total of 67,7% evapotranspiration.

Accordingly, one may expect significant changes in the water balance as a consequence of indiscriminate and massive deforestation, specifically reduced rainfall and a much higher percentage of stream discharge, accompanied by erosion and sedimentation.

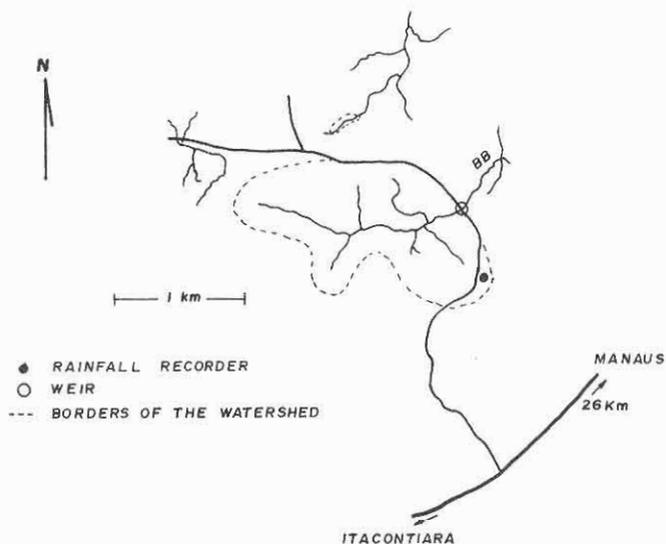


Fig. 1. Localização da Bacia do Barro Branco (Reserva Ducke).

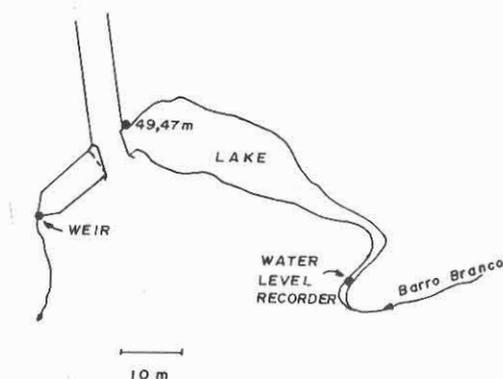


Fig. 2. Detalhes do escoamento medido no local.

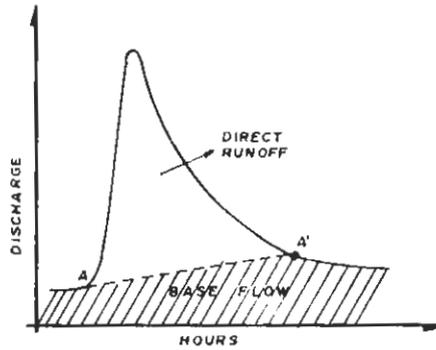


Fig. 3. Separação dos fluxos de base e superficial direto, conforme método contido em Linsley et al., 1958 e Chow, 1964.



Fig. 4. Percentuais da relação entre as descargas mensal e anual, em função do período 1981 - 1983.

Referências bibliográficas

- Chow, ven T. - 1964. **Handbook of applied hydrology**. Ed. McGraw-Hill Book Co. p. 14/8 - 14/13.
- Fearnside, P. M. - 1984. A floresta pode acabar? *Ciência Hoje*, 2(10): 45 - 52.
- Franken, W.; Leopoldo, P. R.; Matsui, E.; Ribeiro, M. N. G. - 1982a. Intercepção das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amazonica*, 12(3):15-22.(suplemento).
- - 1982b. Estudo da intercepção da água de chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazonica*, 12(2): 327 - 331.
- Franken, W. & Leopoldo, P. R. - 1984. Hydrology of catchment areas of Central Amazonian forest streams. In: Harald Sioli (ed.), **The Amazon: limnology and landscape of a might tropical river and its basin**. Dr. W. Junk Publishers, Dorchecht. Chapter 19. p. 501 - 520.
- Herrmann, A. & Stichler, W. - 1981. Runoffmodeling using environmental isotopes. In: **Proc. IUFRO Workshop on water and Nutrient Simulation Models**. Swiss Federal Institute of Forestry Research. p. 41 - 58.
- Jordan, C. F. & Heuvelodp, 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. - 1982. Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, 12(3): 23 - 28. (suplemento).
- Leopoldo, P. R.; Franken, W.; Salati, E. - 1982. Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica em floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, 12(2):333-337. (suplemento).
- Leopoldo, P. R.; Matsui, E.; Salati, E.; Franken, W.; Ribeiro, M. N. G. - 1982. Composição isotópica da água de chuva e da água do solo em floresta Amazônica do tipo terra firme, região de Manaus. **Acta Amazonica**, 12(3): 7 - 13. (suplemento).
- Leopoldo, P. R. & Chiaradia, M. A. S. - 1985. **Comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas sob utilização agrícola**. Relatório para a FADESP. 13 p.
- Linsley, R. K.; Koler, M. A.; Paulhus, J. H. L. - 1958. **Hydrology for engineers**. McGraw Hill Book Co. p. 156 - 157
- Molchanov, A. A. - **Hidrologia florestal**. Trad. Zózimo Pimenta de Castro Rego. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 419 p.
- Oltmann, R. E.; Sternberg, H. O.; Ames, F. C.; Davis Jr., L. C. - 1964. Amazon river investigations, reconnaissance, measurements of july. **U. S. Geol. Surv. Circ.** 486. 15 p.
- OMM - 1967. **Guia de práticas hidrometeorológicas**. Publicação nº 168TP82. Genebra, Suíça.
- Portter, G. L.; Ellsaesser, H. W.; MacRacken, M. C.; Eliis, J. Albedo. - 1981. Albedo change by man: test of climatic effects. **Nature**, 291: 47 - 49.
- Salati, E. & Ribeiro, M. N. G. - 1979. Floresta e clima. **Acta Amazonica**, 9(4): 15-22. (suplemento).
- Sellers, A. - 1984. **Effects of the albedo change in the amazon forest**. Conference at Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, Brasil. May.

(Aceito para publicação em 19.11.1986)