

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Hidrologia da Bacia do Rio Amazonas

* Michel Molinier
* Jean Loup Guyot

** Eurides de Oliveira
** Valdemar Guimarães
** Adriana Chaves

Resumo

Os resultados obtidos no âmbito do programa HIBAM (Hidrologia da Bacia Amazônica, DNAEE/CNPq-ORSTOM) permitiram precisar o regime do rio Amazonas e de seus principais tributários. A produção de água das várias sub-bacias e o módulo do rio Amazonas na sua foz foram avaliados com uma boa precisão, o que tornou possível a regionalização das vazões médias anuais.

Introdução

As primeiras estimativas da vazão do rio Amazonas datam do século passado (Spix & Martius, 1831; Reclus, 1877; Siemens, 1896; Katzer, 1898 *In* Oltman *et al.*, 1964). Esses resultados, que correspondem mais freqüentemente a medidas pontuais, eram baseados na estimativa da velocidade média da corrente e da área da secção do rio. Pardé estima em seguida a vazão do Amazonas (aproximadamente 100.000 m³/s) a partir das observações de Le Cointe e do cálculo de um balanço hídrico rudimentar (Le Cointe, 1935; Pardé, 1936, 1954). As primeiras medições de descarga do Amazonas, realizadas em 1963-64 pelo US Geological Survey, permitiram enfim ter uma idéia correta da vazão do Amazonas na estação de referência de Óbidos que drena uma bacia de 4.620.000 km². As contribuições deste rio no oceano Atlântico oscilarão segundo os autores e os períodos considerados, de 175.000 a 212.000 m³/s (Oltman, 1968; Nordin & Meade, 1985; Richey *et al.*, 1986).

O cálculo da vazão do rio Amazonas, bem como o de seus principais tributários, é

complicado devido à fraca declividade da linha d'água, que não passa de 2 cm/km e as fortes velocidades observadas. Não se trata de um escoamento clássico de montante para a jusante, mas de um deslocamento das águas empurradas pela onda de cheia dos rios de origem andina. Assim, as relações cotas-vazões são raramente unívocas, e apresentam curvas em forma de laço. Por esta razão, as contribuições de alguns tributários importantes, como o rio Negro, eram até hoje mal conhecidas.

O programa HIBAM (Hidrologia da Bacia Amazônica: DNAEE/CNPq-ORSTOM) iniciou em 1982 um estudo sobre a hidrologia da bacia amazônica, focalizando suas pesquisas sobre:

- ❑ a realização de medição de descarga precisa por exploração completa do campo das velocidades na secção de algumas estações chaves (Jaccón & Cudó, 1987b);
- ❑ o estabelecimento de curvas-chave levando-se em conta o gradiente limnimétrico (Jaccón & Cudó, 1987a);
- ❑ a consistência e a homogeneização dos dados hidroclimáticos do DNAEE (Hiez & Rancan, 1983; Costa Barros *et al.*, 1985), permitindo o cálculo de balanços hídricos precisos por sub-bacias (Molinier, 1992; Molinier *et al.*, 1991, 1993; Guyot & *et al.*, 1993);
- ❑ a teletransmissão por satélite de dados hidrológicos (Callède *et al.*, 1986; Guimarães *et al.*, 1993).

Um dos objetivos do programa HIBAM, exposto neste trabalho, é melhor conhecer as vazões e suas variações sazonais nos diferentes afluentes do rio Amazonas, bem como fazer uma melhor estimativa das contribuições hídricas no oceano Atlântico.

* ORSTOM
** Coordenação Geral de Recursos Hídricos - DNAEE

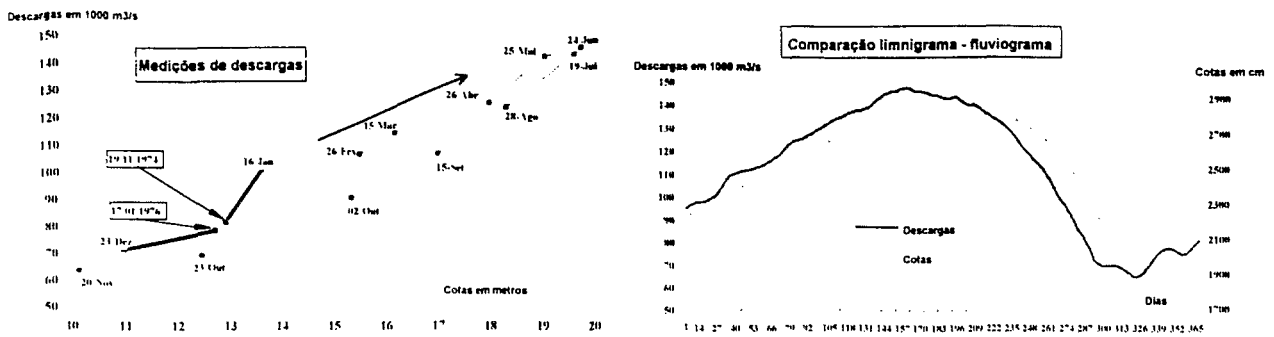


Figura 2 – Rio Solimões em Manacapuru – Ano 1975

cada sub-bacia, um balanço hídrico de boa qualidade, num período de vinte anos.

As medições de descarga efetuadas pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e pela Hidrologia SA por conta do DNAEE foram analisadas e criticadas. Para algumas estações chaves (Manacapuru e Óbidos), novas medições de descarga foram realizadas a fim de melhor definir as curvas-chave. Essas medições de descarga foram realizadas por exploração completa do campo das velocidades na secção, de 2 a 6 pontos por verticais e vinte verticais na secção (Jacon & Cudo, 1987b). As tabelas de calibragem de todas as estações hidrométricas foram revistas, sobretudo as das estações que apresentam uma relação cota-vazão não-unívoca. A utilização do método do gradiente limnimétrico (Guimarães & Jaccon, 1983; Jaccon & Cudo, 1987a), permitiu estabelecer curvas-chave aceitáveis para essas estações não-unívocas (Figura 2):

$$Q = (H, i)$$

com

Q = vazão

H = altura da água

i = $\delta H / \delta t$ (gradiente limnimétrico)

Resultados

As variações sazonais

Os afluentes meridionais do rio Amazonas se caracterizam por um máximo de cheia em março (Xingu, Tapajós, Madeira), abril (Juruá) ou maio (Purus). Este máximo hidrológico é observado em fevereiro nos formadores do rio Madeira, nos Andes bolivianos e peruanos. Na bacia do rio Madeira, a relação [R] entre vazões

médias mensais extremas [Q_{mmMax}/Q_{mmMin}] varia de 7,0 no piemonte andino (rio Beni em Angosto del Bala) a 5,7 (rio Madeira em Manicoré). Os outros grandes tributários da margem direita têm valores R comparáveis (rio Juruá: 7,6; rio Purus: 6,0; rio Tapajós: 4,7), exceto o rio Xingu que apresenta um valor muito mais alto ($R = 15,7$), ligado à existência de um período seco bem marcado em sua bacia.

Devido a uma distribuição da pluviometria mais regular durante o ano, o regime dos afluentes da margem esquerda é bem mais regular, com valores de R geralmente inferiores a 3 (rio Iça: 1,9; rio Japurá: 2,5; Rio Negro: 2,5). Somente os cursos d'água provenientes do escudo guianense apresentam uma variabilidade comparável à dos rios andinos (Rio Branco: 8,0; rio Jari: 8,1). Os máximos hidrológicos são observados em maio (rio Jari), junho (rio Iça) ou julho (rio Japurá, rio Negro, rio Branco).

Ao longo da travessia da planície brasileira, o rio Solimões-Amazonas é caracterizado por um regime bastante regular, com uma relação entre as descargas médias mensais extremas sempre próxima de 2 (São Paulo de Olivença: 2,3; Manacapuru: 2,0; Óbidos: 2,0). As contribuições sucessivas dos rios da margem esquerda e da margem direita, de variabilidade sazonal mais forte, combinam-se para dar, mais a jusante, a grande enchente anual do rio Amazonas (Figura 3).

O balanço hídrico

Um primeiro balanço hídrico sumário foi calculado para a totalidade da bacia amazônica (Tabela 1) utilizando os dados de 90 estações hidrométricas, que correspondem a 11 sub-bacias entre as quais à do rio Tocantins, bem como os resultados precisos do balanço

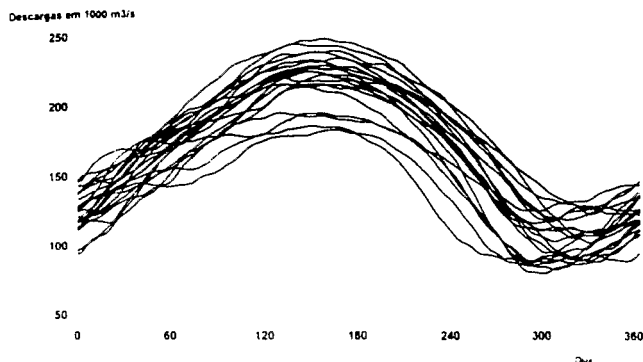


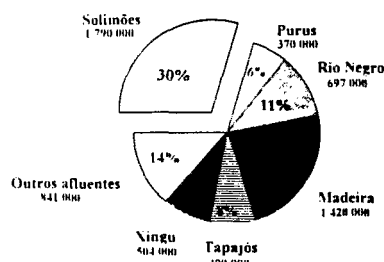
Figura 3 – Descargas médias diárias do rio Amazonas em Óbidos

das bacias dos rios Purus, Negro e Madeira (Molinier *et al.*, 1991, 1993; Guyot *et al.*, 1993). Estes resultados, que serão aprimorados pela continuação do cálculo dos balanços hídricos precisos para cada uma das sub-bacias, já permitem avaliar algumas grandes tendências regionais.

As sub-bacias dos rios Negro e Solimões recebem as mais fortes precipitações (2.500 mm/ano) e, devido aos fortes coeficientes de escoamento observados (50%) proporcionam vazões específicas elevadas (40 l/s/km²). Assim, o rio Negro, cuja superfície total só representa 11% da totalidade da bacia do Amazonas, produz 13% do fluxo hídrico, enquanto que para o rio Madeira estes valores são respectivamente de 23% e 15% (Figura 4). Os afluentes meridionais do Amazonas são submetidos a precipitações mais fracas (de 1.900 a 2.300 mm/ano), seus coeficientes de escoamento variam de 30 a 40% e as vazões específicas de 20 a 30 l/s/km².

Para o período 1973-1990, a vazão média anual na foz do rio Amazonas é de 209.000 m³/s.

Área de drenagem em km²



Área total : 6 112 000 km²

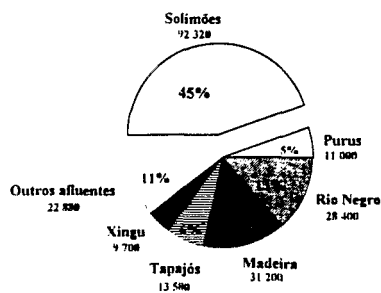
Regionalização das vazões

A partir dos valores obtidos nestas 11 bacias, aos quais foram acrescentados os resultados adquiridos em 24 bacias intermediárias dos rios Purus, Madeira e Negro, foi pesquisada uma relação ligando a vazão média anual [Q] à superfície da bacia [A] e à pluviometria anual [P]. Uma análise da variância efetuada nesta amostra de 35 vazões médias anuais evidenciou o papel preponderante da área de drenagem da bacia hidrográfica. De fato, nessa região onde a repartição da pluviometria varia relativamente pouco, tanto no espaço quanto no tempo, parece normal que o fator principal da variabilidade da vazão seja a superfície da bacia. Uma primeira regressão entre estas duas variáveis permitiu definir uma equação média: $Q = A/29,2$. As bacias cujo valor da vazão é inferior ao valor calculado por esta relação correspondem aos totais pluviométricos médios anuais inferiores a 2.460 mm, e as outras bacias com vazão maior se referem aos totais superiores a 2.460 mm. O valor de 2.460 mm representa a pluviometria média anual da bacia amazônica. Um estudo mais fino demonstrou que o desvio entre as vazões observadas e calculadas estava estreitamente correlacionado com a pluviometria. O que permitiu estabelecer uma regressão entre os desvios observados e a pluviometria média anual e, desta maneira, definir uma relação entre a vazão média anual (Q em m³/s), a superfície da bacia (A em km²) e a pluviometria média (P em mm/ano)

$$Q = (A/236) \cdot e^{P/1178}$$

Dois pontos se afastam de um pouco mais do que 10% da média regional (Figura 5). Trata-se do rio Negro, como estava previsto por causa da

Descargas médias anuais em m³/s



Descarga média anual total : 209 000 m³/s

Figura 4 – Área de drenagem e descargas das bacias hidrográficas amazônicas

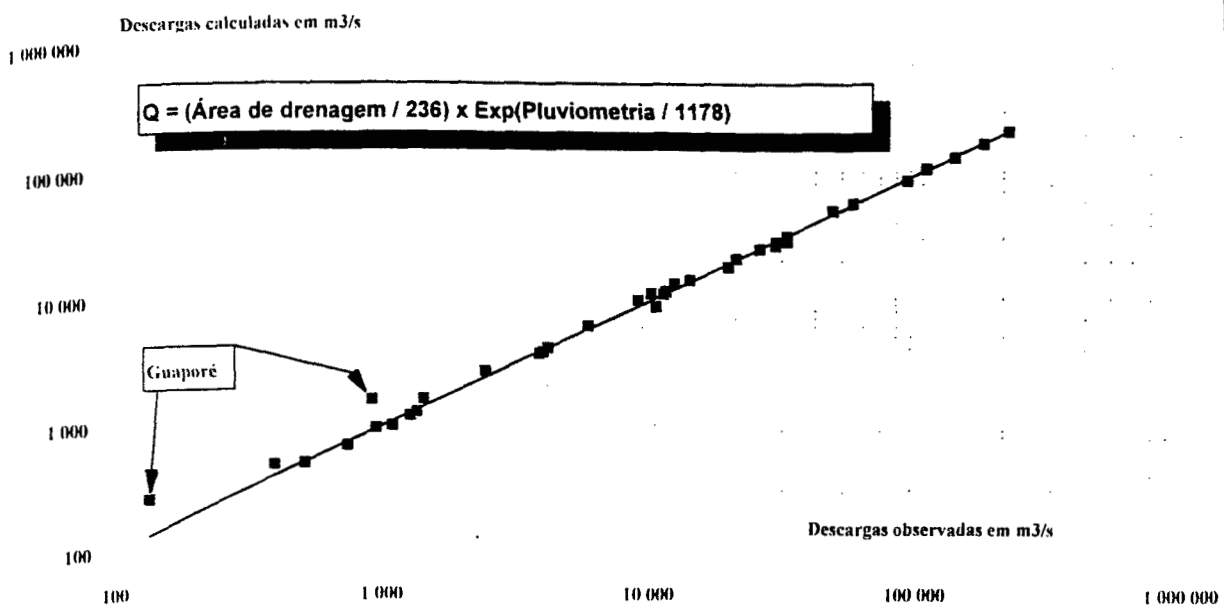


Figura 5 – Descarga calculadas vs Descargas observadas

observação anterior, e do rio Madeira. Neste último caso, a relativa heterogeneidade da bacia pode explicar esta diferença. Pois, na Bolívia onde se encontram 60% da bacia, este rio desce, primeiro, dos Andes (15% da bacia) para, depois, cruzar zonas alagadas antes de chegar ao escudo brasileiro e à grande floresta amazônica, onde o regime torna-se semelhante ao do Purus.

Apesar disso, esta relação pode ser considerada como satisfatória para as grandes bacias da região amazônica cuja área de drenagem é superior a 10.000 km².

Conclusão

Os resultados obtidos permitiram conhecer com boa precisão as contribuições dos diferentes tributários do rio Amazonas (Tabela 1), melhor compreender a distribuição regional dessas contribuições e determinar a vazão média anual do rio Amazonas em sua embocadura, que é de 209.000 m³/s no período de 1973-1990.

A continuação do cálculo dos balanços hídricos precisos por sub-bacias vai permitir ao programa HIBAM adquirir informações de qualidade sobre a totalidade da bacia amazônica, a maior bacia hidrográfica do mundo. Esses resultados permitirão afinar a estimativa das contribuições do Amazonas e seus tributários bem como sua variabilidade espacial e temporal.

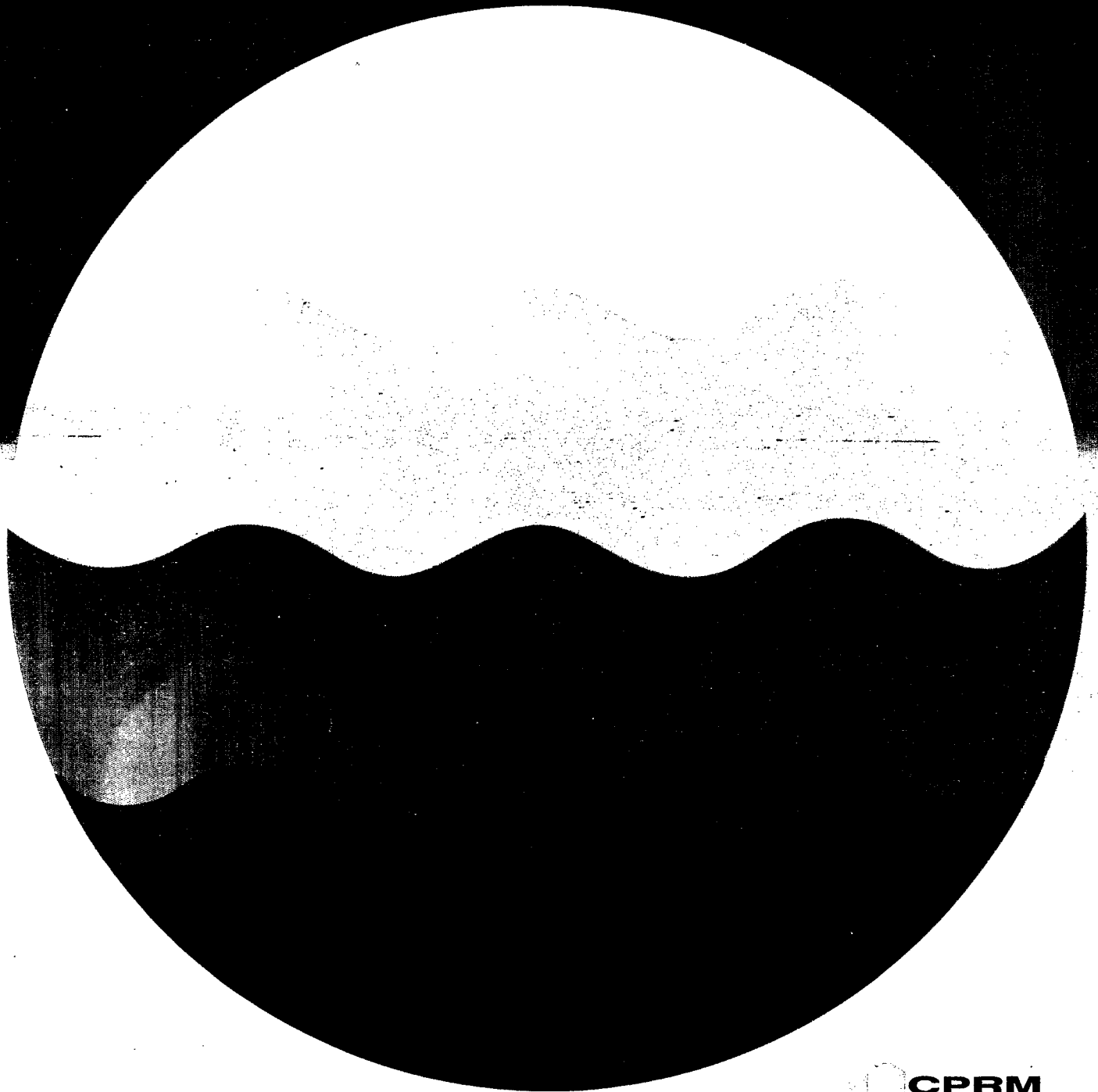
Rio	Área de Drenagem (Km ²)	Plúvio (mm/ano)	Descarga (m ³ /s)	Descarga específica (l/s/Km ²)	Escoamento (mm/ano)	Déficit (mm/ano)
Solimões em São Paulo de Oliv.	990.780	2.900	46.500	46,9	1.481	1.419
Purus (confluência)	370.000	2.336	11.000	29,7	938	1.398
Solimões em Manacapuru	2.147.740	2.880	103.000	48,0	1.513	1.367
Rio Negro em Manaus	696.810	2.566	28.400	40,8	1.286	1.280
Amazonas em Jatuarana	2.854.300	2.780	131.600	46,1	1.455	1.325
Madeira (confluência)	1.420.000	1.940	31.200	22,0	693	1.247
Amazonas em Óbidos	4.618.750	2.520	168.700	36,5	1.153	1.367
Tapajós (confluência)	490.000	2.250	13.500	27,6	869	1.381
Xingu (confluência)	504.300	1.930	9.700	19,2	607	1.323
Amazonas (foz)	6.112.000	2.460	209.000	34,2	1.079	1.381
Tocantins (foz)	757.000	1.660	11.800	15,6	492	1.168

Tabela 1 – Características hidrológicas anuais dos principais rios da bacia amazônica

Referências Bibliográficas

- CALLÈDE J.; CLAUDINO L.J.; FONSECA V. 1986. Transmission par satellite des hauteurs d'eau de l'Amazonie et de ses affluents. *Hydrologie Continentale*, 1(2): 95-110.
- COSTA BARROS, M.; PRACIANO GARCIA, L.M.; HIEZ, G.; RANCAN, L.; de OLIVEIRA, E. 1985. Bacia do Rio Amazonas. *Boletim Pluviométrico*, P-1.01. DNAEE Brasília, 116 p.
- GUIMARÃES, V.S.; JACCON, G. 1983. Calibragem em estações fluviométricas da bacia amazônica. aplicação do método do gradiente linimétrico, 473-479. In *V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Blumenau, Nov. 1983.
- GUIMARÃES V.; CUDO K.J.; CALLÈDE J. 1993. Os avanços da gestão da rede hidrométrica brasileira através da telemetria por satélite, 219-226. In *X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Gramado, Nov. 1993, Vol. 4.
- GUYOT, J.L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; CUDO K.J.; de OLIVEIRA E. 1993. Balanço hídrico da bacia do Rio Negro, 535-544. In *X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Gramado, Nov. 1993, Vol. 2.
- HIEZ, G. 1977. L'homogénéité des données pluviométriques. *Cahiers ORSTOM série Hydrologie*, 14(2): 129-172.
- HIEZ, G.; RANCAN, L. 1983. Aplicação do método do vetor regional no Brasil, 242-266. In *V Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Blumenau, Nov. 1983.
- JACCON, G.; CUDO, K.J. 1987a. Calibragem de posto fluviométrico: roteiro, cuidados e recomendações, 279-288. In *VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Salvador, Nov. 1987.
- JACCON, G.; CUDO, K.J. 1987b. Medições de descarga líquida dos rios Solimões e Amazonas pelo método do barco em movimento, 358-368. In *VII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Salvador, Nov. 1987.
- LE COINTE, P. 1935. Les crues annuelles de l'Amazonie et les récentes modifications de leur régime. *Annales de Géographie*, 44: 614-619.
- MOLINIER, M. 1992. Régionalisation des débits du bassin amazonien. *VIII Journées Hydrologiques, Régionalisation en hydrologie et application au développement*, ORSTOM, Montpellier.
- MOLINIER, M.; de SILVA MAIA, A. C.; FERREIRA dos SANTOS, D. 1991. Balanço hídrico da bacia Amazônica, metodologia e primeiros resultados, 158-167. In *IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Rio de Janeiro, Nov. 1991, Vol. 1.
- MOLINIER, M.; CUDO, K.J.; GUIMARÃES, V. 1992. Disponibilidade de água na bacia amazônica. In *II Simpósio Internacional de Estudos Ambientais em Florestas Tropicais Unidas, Forest'92*, Rio de Janeiro.
- NORDIN, C.F.; MEADE, R.H. 1985. The Amazon and the Orinoco. *River*: 385-390.
- OLTMAN, R.E. 1968. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon river. *US Geological Survey Circular 552*, 16 p.
- OLTMAN, R.E.; STERNBERG, H.O'R.; AMES, F.C.; DAVIS, L.C. 1964. Amazon river investigations reconnaissance measurements of July 1963. *US Geological Survey Circular 486*, 15 p.
- PARDÉ, M. 1936. Les variations saisonnières de l'Amazonie. *Annales de Géographie*, 45: 502-511.
- PARDÉ, M. 1954. Sur le régime et spécialement sur les variations saisonnières des cours d'eau brésiliens. *La Houille Blanche*, 6: 823-846.
- RICHEY, J.E.; MEADE, R.H.; SALATI, E.; DEVOL, A.H.; NORDIN, C.F.; SANTOS, U. dos. 1986. Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon river: 1982-1984. *Water Resources Research*, 22(5) 756-764.
- SIOLI, H. 1967. Studies in Amazonian waters, 9-50. In *Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, Volume 3 (Limnologia)*, Belém.

A ÁGUA EM REVISTA



 **CPRM**
**COMPANHIA DE PESQUISA
DE RECURSOS MINERAIS**