

Simulação Hidrológica de Pequena Bacia na Amazônia Tropical

Clovis M. do Espírito Santo

MCT - INPE/DCM - Caixa Postal 515
12201-970 São José dos Campos, SP - clovis@met.inpe.br

Benedito Braga

Department of Civil Engineering - Colorado State University
Fort Collins, CO 80523-1272 - USA - benbraga@engr.colostate.edu

Gre de Araujo Lobo

DAEE/CTH - Av. Prof. Lucio Martins Rodrigues, 120 - Cid. Universitaria
05508-900 São Paulo, SP - joao@cth.usp.br

M. C. Forti

MCT - INPE/DMS - NUPEGEL/USP - Caixa Postal 515
12201-970 São José dos Campos, SP - forti@met.inpe.br

A. J. Melfi

ESALQ/USP; NUPEGEL/USP - Caixa Postal 09
13418-900 Piracicaba, SP - ajmelfi@usp.br

Recebido: 05/11/99 - revisão: 03/02/00 - aceito: 05/03/01

RESUMO

Para se estimar as vazões de água nos diversos compartimentos da Bacia do Igarapé Pedra Preta (Amapá - AP), utilizou-se um modelo hidrológico simplificado, onde apenas os principais processos físicos foram considerados. Este procedimento justificou-se plenamente ao levar-se em conta que o uso de modelos mais complexos exigiriam, por sua vez, uma quantidade de dados hidro-meteorológicos muito superior ao disponível. Calibrou-se o modelo hidrológico aos dados de vazão medidos em um dos compartimentos da bacia no período de Nov/97 a Fev/98. A partir dessa calibração inferiu-se, de uma forma empírica, os parâmetros para os outros compartimentos. Em seguida utilizou-se o modelo para calcular as vazões nos diversos compartimentos da bacia, desde Jan/96, durante o período em que se tinha dados meteorológicos mas nenhum dado hidrológico.

Palavras-chave: simulação; Amazônia; modelo hidrológico.

INTRODUÇÃO

Trabalhos desenvolvidos nos últimos anos têm mostrado que o ambiente (urbano, rural e natural) vem sofrendo importantes alterações com conseqüente deterioração dos recursos naturais (Loucks, 1994; Fernside, 1993; Moran et al., 1994). Essa deterioração tem trazido preocupação em diferentes esferas de governo tanto quanto junto à sociedade civil organizada (Myers, 1991).

O presente trabalho de modelagem hidrológica está inserido dentro de um projeto mais amplo, cujo objetivo principal foi a realização de um estudo que permitisse compreender o ciclo do mercúrio (ou sua parte principal) em região de floresta

tropical úmida (Melfi, 1997). Este projeto, com início em maio de 1995 e término em janeiro de 1998, envolveu além de componentes geoquímicas uma componente hidrológica importante para o conhecimento do ciclo do mercúrio. Foram instalados linígrafos e pluviômetros. O meio ambiente da floresta tropical úmida se mostrou extremamente hostil ao funcionamento de equipamentos desenvolvidos para condições temperadas do hemisfério norte.

Após longo período de testes finalmente, a partir de novembro de 1998, um dos linígrafos funcionou satisfatoriamente. A partir dessas medidas tentou-se reconstruir, através de um modelo hidrológico, as séries temporais de vazão para o restante do período.

A circulação da água através dos diferentes compartimentos da bacia, desde a sua entrada pela chuva até sua saída pela foz, fornece subsídio importante para a quantificação dos fluxos das espécies químicas na forma solúvel (Lesack, 1993a), e possibilita através de um balanço de massa (Lesack, 1993b; Fostier, 1999), estimar-se o impacto dessas espécies nos vários corpos de água superficiais e subterrâneos.

REGIÃO ESTUDADA

A área selecionada para o presente estudo localiza-se no Estado do Amapá município de Serra do Navio (Figura 1).

O Estado do Amapá, com área de 136.450 km², localiza-se na parte nordeste da Amazônia brasileira. Suas características fisiográficas (estrutura geológica, padrões oro-hidrográficos, clima e vegetação) e sociais são relativamente únicos dentro do complexo amazônico, bem como um de seus sub-sistemas menos conhecidos. Encontra-se situado inteiramente na zona equatorial, apresentando limites balizados pelas coordenadas 1°S e 4°N e 50°O e 55°O. Limita-se a nordeste com o oceano Atlântico, a sudeste com o estuário do rio Amazonas, a noroeste faz divisa com a Guiana Francesa, através do rio Oiapoque e a sudoeste com o Estado do Pará, através do rio Jari.

A área de Serra do Navio

A bacia hidrográfica escolhida, a do igarapé Pedra Preta, está localizada no vale do rio Amapari, dentro da área de concessão da ICOMI (Figura 2). A bacia selecionada tem uma área total de 164 ha e encontra-se situada a montante da cidade de Serra do Navio. Apresenta um relevo bastante variado, com cotas que variam de 320 m (ponto mais alto do divisor de águas) a 80 m, na região da foz do igarapé Pedra Preta. A bacia hidrográfica, embora não contendo minério, foi parcialmente alterada pelas atividades mineradoras. Na sua parte montante, com cerca de 34 ha, a floresta é natural, sem sinais de alteração; a parte média da bacia, embora com vegetação natural, tem um lago que foi formado devido ao deslizamento de um bota-fora (área de depósito de material estéril resultante da lavra); na parte jusante da bacia, a topografia original foi totalmente alterada devido à construção de estradas, bota-fora e lagoa de decantação.

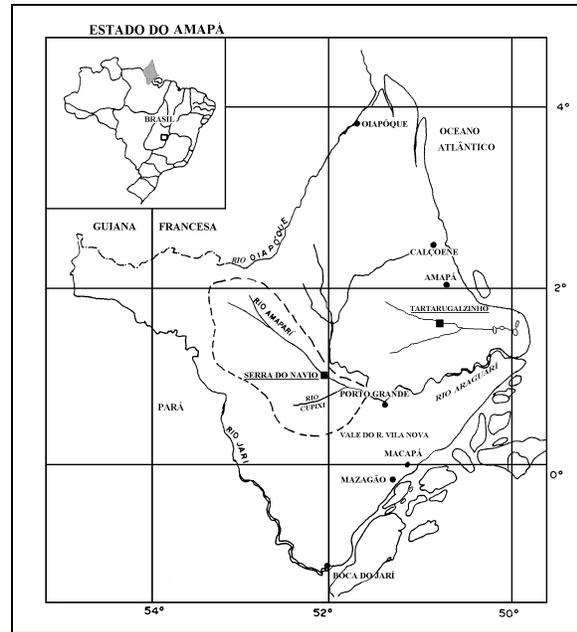


Figura 1. Mapa do Estado do Amapá e localização do município de Serra do Navio.

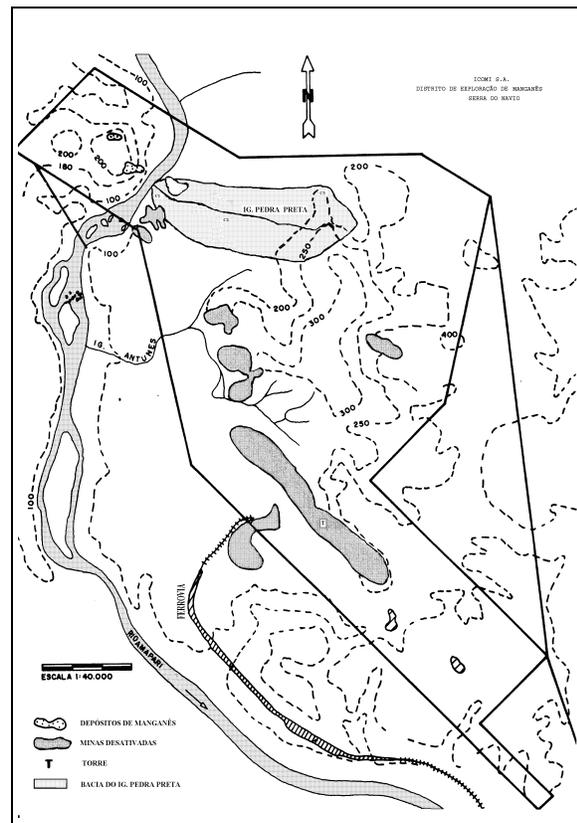


Figura 2. Área de concessão da ICOMI S.A.

A vegetação da área é típica de região de floresta tropical úmida, apresentando dois extratos principais: as árvores de grande porte, com alturas de até 40 m e um extrato inferior composto principalmente por palmeiras. A vegetação rasteira praticamente inexistente. Os solos da região são altamente evoluídos e representam estágios de equilíbrios com as condições locais de alta precipitação pluvial, clima tropical com alternância anual de estações seca e chuvosa e floresta amazônica densa, que é responsável pela espessa cobertura vegetal, produtora de grandes quantidades de ácidos orgânicos. A cobertura pedológica na área estudada caracteriza-se por apresentar um perfil com espessura variável de 1 a 3 metros. Trata-se de um latossolo amarelo-amarronzado, que capeia um horizonte ferruginoso endurecido com 4 a 6 metros de espessura que, por sua vez, recobre um pacote saprolítico de 30 a 45 metros, originário da decomposição das rochas da região.

O clima da região é tropical ocorrendo a estação chuvosa entre fevereiro e abril e a estação seca entre junho e setembro (Ratisbona, 1976; Nimer, 1979). A temperatura média varia pouco ao longo do ano sendo de 20°C durante o período chuvoso e 30°C durante o período seco.

HIDROLOGIA DA BACIA DO IGARAPÉ PEDRA PRETA

Como esquematizado na Figura 3, a bacia do Igarapé Pedra Preta pode ser dividida, para fins de modelagem, em duas sub-bacias. Uma delas representa uma região de floresta natural, e a outra uma região alterada devido à exploração mineral intensa, com o solo praticamente descoberto. O igarapé que atravessa a região de floresta alimenta um lago no interior da sub-bacia 1. O igarapé localizado logo abaixo, drena a sub-bacia 2 e a água excedente do lago, para fora da bacia do Igarapé Pedra Preta.

Com o objetivo de estudar o balanço hidrológico na bacia do Igarapé Pedra Preta (Figura 3), instalou-se equipamentos de medida de vazão em dois pontos da bacia. Um deles foi instalado na região de floresta natural em um ponto acima do lago. A área de drenagem do igarapé neste ponto (PN) é de aproximadamente 34 hectares. O outro equipamento foi instalado à saída da bacia cuja área total de drenagem é de 164 hectares.

Deste equipamento todavia, apenas o linígrafo localizado no ponto (PN) funcionou satisfato-

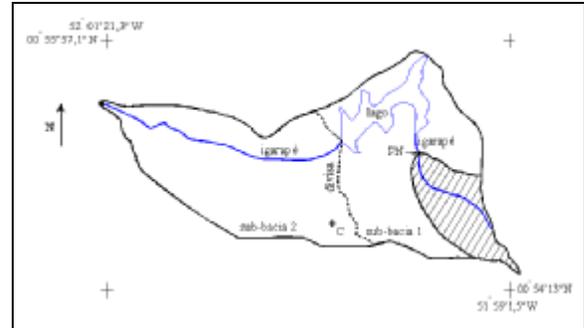


Figura 3. Bacia do Igarapé Pedra Preta. A área hachurada representa a sub-bacia onde se aplicou o modelo hidrológico. O linígrafo está localizado no ponto PN e o pluviômetro no ponto C.

riamente por um curto período, o que possibilitou a coleta de dados entre novembro de 1997 a fevereiro de 1998. Portanto apenas para este período foi possível o monitoramento contínuo da vazão superficial da sub-bacia acima do referido ponto. A chuva sobre a bacia foi registrada por um pluviômetro automático localizado em uma clareira na região de floresta alterada (Figura 3).

A equação de balanço de água para uma bacia hidrológica pode ser escrita como:

$$P = ET + R + G + \Delta S \cong ET + Q \quad (1)$$

onde P é a entrada de água na bacia via precipitação, ET é a evapotranspiração, R é o fluxo superficial mais subterrâneo, G é a recarga subterrânea, ΔS é a variação anual do armazenamento de água na bacia, e Q é o fluxo de água medido no canal (Milly, 1994; Ponce 1995a, b). Desta equação conhecemos a precipitação (considerada homogênea) que cai sobre a bacia e a vazão de água no igarapé medida no ponto PN. A evapotranspiração pode também ser estimada utilizando-se a temperatura do ar e a radiação solar incidente (Tucci, 1993).

As outras grandezas hidrológicas presentes na equação de balanço, e que são úteis para a compreensão da dinâmica do movimento da água entre os diversos compartimentos do sistema, deverão ser estimados. Para isto, será utilizado um modelo hidrológico que, apesar de sua simplicidade e restrições, poderá fornecer subsídios para auxiliar nos cálculos da hidroquímica dos elementos que circulam pela bacia.

Modelo hidrológico

O balanço e transporte de água através dos diversos compartimentos da bacia foi realizado através de um modelo hidrológico bastante simples em sua concepção, cujas principais componentes estão mostradas na Figura 4.

Evapotranspiração potencial

Vários métodos são disponíveis para o cálculo da evapotranspiração potencial (Crago, 1992; Spittlehouse, 1980). Neste trabalho, devido aos dados disponíveis, a evapotranspiração potencial será calculada pela equação de Jensen e Haise (Tucci, 1993):

$$ETP = \frac{(0,025 \cdot T + 0,08) \cdot G}{59} \quad (2)$$

onde ETP é a taxa de evapotranspiração potencial (mm/dia), T é a temperatura do ar à superfície (°C) e G é a radiação incidente de onda curta (cal.cm⁻².dia⁻¹).

Camada superficial do solo

A camada superficial do solo é representada no modelo por uma camada cuja espessura (profundidade de raízes) depende do tipo de solo e da vegetação presente.

Sendo η a porosidade do solo e h_{raízes} a profundidade das raízes, a capacidade máxima de armazenamento de água F_c [mm] na camada superficial do solo será:

$$F_c = 1000 \cdot \eta \cdot h_{raízes} \quad (3)$$

O cálculo da umidade de água no solo considera a sua capacidade máxima de armazenamento (F_c) e a sua resistência (α) à perda de água quando submetido a um déficit hídrico (Vörösmarty, 1989).

Sendo W o teor de água (mm) contida nesta camada, pode-se escrever:

$$\frac{dW}{dt} = (P - ETP) \quad ; \quad P \geq ETP \text{ e } W < F_c \quad (4a)$$

$$\frac{dW}{dt} = 0 \quad ; \quad P \geq ETP \text{ e } W = F_c \quad (4b)$$

$$\frac{dW}{dt} = \alpha \cdot W \cdot (P - ETP) \quad ; \quad P < ETP \quad (4c)$$

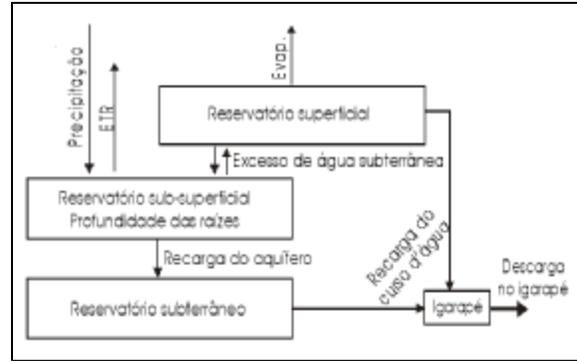


Figura 4. Principais componentes do ciclo hidrológico representadas no modelo aplicado à bacia do Igarapé Pedra Preta.

Evapotranspiração real

A evapotranspiração real (ETR) foi calculada combinando-se a evapotranspiração potencial e as condições de umidade no solo.

$$ETR = ETP \quad ; \quad P \geq ETP \quad (5a)$$

$$ETR = P + |\Delta W| \quad ; \quad P < ETP \quad (5b)$$

Se a precipitação for menor do que ETP, e o solo atingir o ponto de murcha (W_{murcha}), então o reservatório subterrâneo contribuirá com a ETR de forma a manter o balanço hídrico na camada de solo.

Recarga do reservatório subterrâneo

A dinâmica do reservatório linear aqui utilizado é descrita por uma equação diferencial, que estabelece um fluxo de saída (Q_{saída}) proporcional (K_{sub}) ao volume armazenado (V_{sub}), ou seja:

$$\frac{d}{dt} V_{sub} + k_{sub} \cdot V_{sub} = R_{exc} \quad (6)$$

Impondo como condição inicial (t = 0) que V_{sub} é igual a V₀, tem-se:

$$V_{sub}(t) = \frac{R_{exc}}{k_{sub}} + \left(V_0 - \frac{R_{exc}}{k_{sub}} \right) \cdot e^{-(k_{sub} \cdot t)} \quad (7)$$

Reservatório superficial

A velocidade de infiltração (I) da água através da camada superficial do solo foi parametrizada utilizando-se a equação:

$$I = I_{\text{máx}} \cdot e^{-\alpha \cdot \theta} \quad (8)$$

onde os parâmetros α e θ são definidos como:

$$\alpha = \ln \left(\frac{I_{\text{máx}}}{I_{\text{min}}} \right) ; \quad \theta = \frac{(W - W_{\text{murcha}})}{(F_c - W_{\text{murcha}})} \quad (9)$$

O reservatório linear de superfície será alimentado pelo excesso de água (R_{sup}) acima da capacidade máxima de infiltração de água no solo. A equação que o descreve é:

$$\frac{d}{dt} V_{\text{sup}} + k_{\text{sup}} \cdot V_{\text{sup}} = R_{\text{sup}} \quad (10)$$

Canais superficiais

Os canais superficiais (Freeze, 1974) serão alimentados pelos reservatórios subterrâneos (escoamento lento) e superficiais (escoamento rápido) a uma taxa R_{rio} . Os rios também são representados por reservatórios lineares, onde a vazão Q_{rio} é proporcional ao volume de água V_{rio} contido no seu leito:

$$\frac{d}{dt} V_{\text{rio}} + k_{\text{vaz}} \cdot V_{\text{rio}} = R_{\text{rio}} \quad (11)$$

APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

Para efeito de modelagem, a bacia do Igarapé Pedra Preta é representada por quatro compartimentos (Figura 5), a saber: sub-bacia acima de PN (floresta natural), sub-bacias de floresta natural e de floresta alterada, e lago. Cada uma das sub-bacias apresentam reservatórios subterrâneos e superficiais que drenam suas águas para um rio ou diretamente para o lago. Os principais fluxos de água envolvidos dentro e entre os compartimentos, também estão representados na Figura 5.

As medidas do linígrafo no ponto PN serão utilizadas para a calibração do modelo chuva-vazão. É importante lembrar que a calibração será

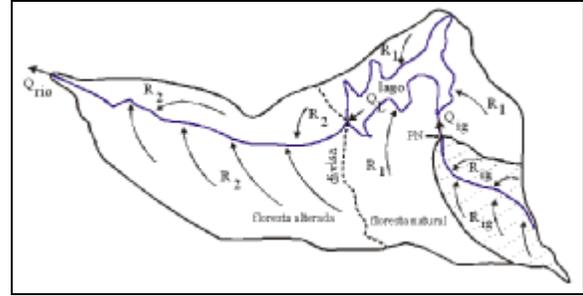


Figura 5. Bacia do Igarapé Pedra Preta com os principais fluxos de água entre os seus compartimentos.

representativa apenas da sub-bacia acima do ponto PN (região pontilhada), embora o modelo hidrológico seja estendido a toda bacia.

As cotas registradas H (em cm) pelo linígrafo no ponto PN podem ser convertidas para vazão Q (em l/s) através das equações características do vertedor (flat-V) a saber:

$$Q = 0,157 \cdot H^{2,50} ; \quad H \leq 16 \quad (12a)$$

$$Q = 12,8 \cdot (H - 9)^{1,30} ; \quad 16 < H \leq 25 \quad (12b)$$

$$Q = 6,8 \cdot (H - 9)^{1,53} ; \quad 25 < H \leq 42 \quad (12c)$$

Para o vertedor à saída da bacia, embora com poucas medições realizadas, pode-se estabelecer a seguinte equação chave:

$$Q = 7,2 \cdot H^{1,3} \quad (12d)$$

No ponto de medição PN as cotas H foram registradas pelo linígrafo a cada minuto. Para o cálculo da vazão no igarapé considerou-se o valor médio da cota durante intervalos de 30 min. A Figura 6 mostra os valores de vazão calculados através das Equações (12a, b, c).

Levando-se em conta a geometria da seção transversal do vertedor e do comprimento aproximado do curso do rio em cada sub-bacia correspondente, as Equações (12a, b, c, d) foram modificadas de forma a representarem os rios como reservatórios lineares, compatível com a Equação (11). As equações linearizadas podem ser escritas, para o igarapé (13a) e para a saída da bacia (13b), como:

$$Q = 0,00998 \cdot V_{\text{rio}} \quad (13a)$$

$$Q = 0,00263 \cdot V_{\text{rio}} \quad (13b)$$

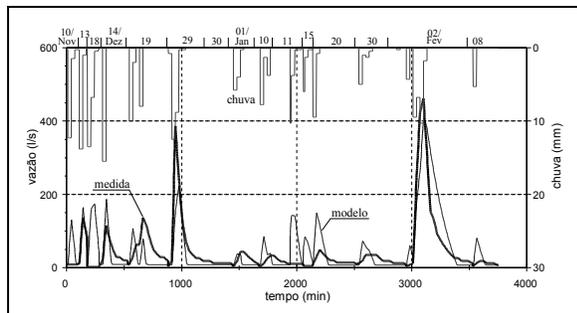


Figura 6. Vazões medidas e calculadas (l/s) pelo modelo hidrológico calibrado no ponto PN para o período Nov/97 a Feb/98. A escala à direita refere-se à chuva (mm) que ocorreu em cada evento (os dias estão representados na abscissa superior da figura).

O modelo hidrológico foi inicialmente calibrado para reproduzir os valores de vazão medidos pelo linígrafo durante eventos no período de Dez/97 a Feb/98 (Figura 6).

Partindo-se de uma configuração onde todos os reservatórios da bacia estavam vazios, o sistema foi alimentado com valores mensais climatológicos de precipitação, temperatura e radiação (Tabela 1) durante o tempo necessário para que o sistema atingisse um estado dinâmico estacionário.

Em seguida ao estado dinâmico estacionário, o sistema foi alimentado com valores também mensais de precipitação, temperatura e radiação solar correspondentes ao ano de 1997 (Tabela 1). Finalmente, a partir de novembro de 97 utilizou-se, para alimentar o modelo, valores de precipitação, temperatura e radiação solar com resolução temporal de 30 min. Para a calibração do modelo hidrológico comparou-se os valores de vazão (Q_{calc}) calculados pelo modelo a cada 30 minutos, no ponto PN, com os valores de vazão (Q_{medida}) calculados com as Equações (12a, b, c) a partir dos registros do linígrafo.

Os parâmetros hidrológicos do modelo foram selecionados por múltiplas tentativas, de forma a minimizar a diferença quadrática média Dif, calculada para toda a série de dados pela relação:

$$Dif = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_{calc}^i - Q_{medida}^i}{Q_{medida}^i} \right)^2}}{N} \quad (14)$$

onde o índice “i” representa os valores individuais dos N termos da série de dados.

Além da diferença “Dif” ser minimizada, também foi imposto para a calibração que a razão

Tabela 1. Valores mensais climatológicos e do ano de 1997 (período anterior ao das medidas com o linígrafo no ponto PN), da precipitação (mm), temperatura (°C), e radiação solar incidente ($cal.cm^{-2}.dia^{-1}$).

Mês	Chuva (mm)		Temperatura (°C)		Radiação (cal/cm/dia)	
	clima	1997	clima	1997	clima	1997
Jan	80	333	24,9	24,4	218	371
Fev	201	198	24,7	24,0	220	352
Mar	219	608	25,0	23,5	218	250
Abr	180	205	25,2	23,8	209	250
Mai	194	365	25,1	24,2	245	306
Jun	115	72	25,0	24,6	279	362
Jul	143	165	25,3	24,6	321	371
Ago	154	123	25,5	25,4	353	420
Set	92	56	26,1	26,0	381	480
Out	147	117	26,2	26,3	393	511
Nov	223	109	26,0	25,8	327	449
Dez	185	108	25,3	25,3	268	402

Tabela 2. Valores das variáveis encontradas para o modelo hidrológico calibrado à bacia do Igarapé Pedra Preta, para o período de Nov/97 a Feb/98. Solo, vegetação e área representam características físicas de cada compartimento da bacia.

Parâmetro	Igarapé	Floresta natural	Floresta alterada	Lago
$k_{sub} (d^{-1})$	0,004	0,004	0,008	---
$k_{sup} (h^{-1})$	0,54	0,54	0,36	---
$k_{vaz} (h^{-1})$	36	36	7,2	$6,8.10^{-5}$
$I_{min} (mm/h)$	30	30	30	---
$I_{max} (mm/h)$	7,5	7,5	5	---
Solo	Argila porosa	Argila porosa	Argila porosa	---
Vegetação	Floresta	Floresta	Palmeira	---
Área (ha)	34	34	82	14

saída de água pelo igarapé/entrada de água na sub-bacia fosse conservada. Esta razão para a sub-bacia do igarapé, durante o período de calibração, é de 0,50.

A Tabela 2 fornece os valores dos parâmetros hidrológicos para o modelo calibrado, os tipos de solo e vegetação utilizada para cada compartimento da bacia, e as suas respectivas áreas. A Figura 6 compara a vazão medida no ponto PN com a calculada pelo modelo hidrológico calibrado. Pode-se ver que vários picos de vazão medidos não são reproduzidos pelo modelo, muito provavelmente

devido a uma parametrização grosseira do processo de infiltração de água no solo e da representação linear do reservatório de superfície. O formalismo utilizado seria mais apropriado para sub-bacias de médio e grande porte. Apesar dessas discrepâncias, o balanço hídrico entre os diversos compartimentos da sub-bacia e o valor da razão “saída de água pelo igarapé/entrada de água pela chuva”, foram respeitados pelo modelo. A Tabela 3 é um resumo das entradas e saídas de água durante o período analisado.

Em virtude do interesse maior em estimar valores médios mensais de vazão para um período anterior ao da calibração (quando não existem medidas disponíveis), durante esta deu-se maior ênfase aos valores da vazão de base do igarapé e também da relação entrada/saída de água da bacia, dando uma prioridade menor para a reprodução fiel das alturas dos picos de vazão ocorridos no igarapé devido a eventos de precipitação.

A hidrógrafa calculada pelo modelo à saída da bacia do Igarapé Pedra Preta juntamente com a chuva que a originou, são mostradas na Figura 7. Infelizmente não são disponíveis medidas de linígrafo para comparação.

Tabela 3. Componentes do balanço hídrico obtidas com o modelo hidrológico para o período de Nov/97 a Fev/98. Os valores correspondem aos pontos PN e à saída da bacia do Igarapé Pedra Preta. A saída total de água das sub-bacias leva em conta a saída através da evaporação.

Parâmetro	PN	Foz
Chuva na sub-bacia (mm)	515	515
Vazão no igarapé (mm)	260	231
Evapotranspiração real (mm)	355	360
Variação da umidade do solo (mm)	-89	-56
Coefficiente de escoamento	0,50	0,45

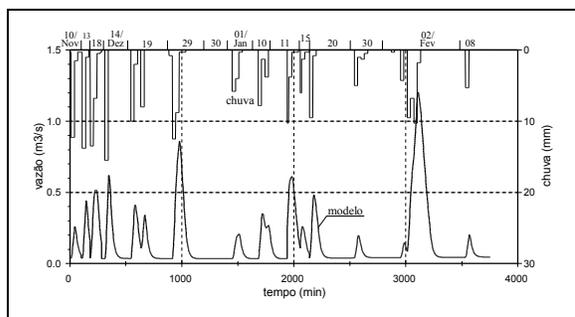


Figura 7. Vazão estimada pelo modelo à saída da bacia do Igarapé Preta e a chuva que a originou.

Com o modelo hidrológico assim calibrado para o período de Nov/97 a Fev/98, estimou-se os fluxos de água nos vários compartimentos da bacia para um período anterior a este da calibração (Dez/95 a Jan/98). Para esse período, dispõe-se de valores diários das variáveis precipitação, temperatura e radiação solar incidente. Todavia não se dispõe de séries temporais de vazão em nenhum dos corpos d'água para serem comparadas às estimativas do modelo. Considerando-se que as características físicas e hidráulicas da bacia não se alteraram significativamente durante esse período, pode-se considerar como válidas as estimativas de fluxos encontradas pelo modelo.

A Tabela 4 apresenta as entradas e saídas de água na bacia para o período de Dez/95 a Jan/98. Para esse mesmo período, as Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, as vazões diárias e mensais, nos pontos PN, à saída do lago, e à foz da bacia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho com a aplicação do modelo hidrológico à bacia do Igarapé Pedra Preta, devem ser tomados com bastante cautela. Em primeiro lugar calibrou-se o modelo considerando-se apenas dados observados numa região de floresta, cuja área representa apenas 20% do total da bacia. Para o restante da bacia, os parâmetros do modelo foram inferidos empiricamente.

Espera-se todavia que, ao utilizar-se os resultados do modelo considerando-se apenas valores médios mensais, ou mesmos semanais, a integração temporal mascare o conhecimento exato dos parâmetros hidrológicos em cada compartimento da bacia. Com essa idéia em mente, e movi-

Tabela 4. Componentes do balanço hídrico obtidas com o modelo hidrológico para o período de Dez/95 a Jan/98. Os valores correspondem aos pontos PN e à saída da bacia do Igarapé Pedra Preta. A saída total de água das sub-bacias leva em conta a saída através da evaporação.

Parâmetro	PN	Foz
Chuva na sub-bacia (mm)	5004	5004
Saída pelo igarapé (mm)	2712	2626
Evapotranspiração real (mm)	2456	2473
Variação de água na camada superficial do solo (mm)	-167	-98
Coefficiente de escoamento	0,54	0,52

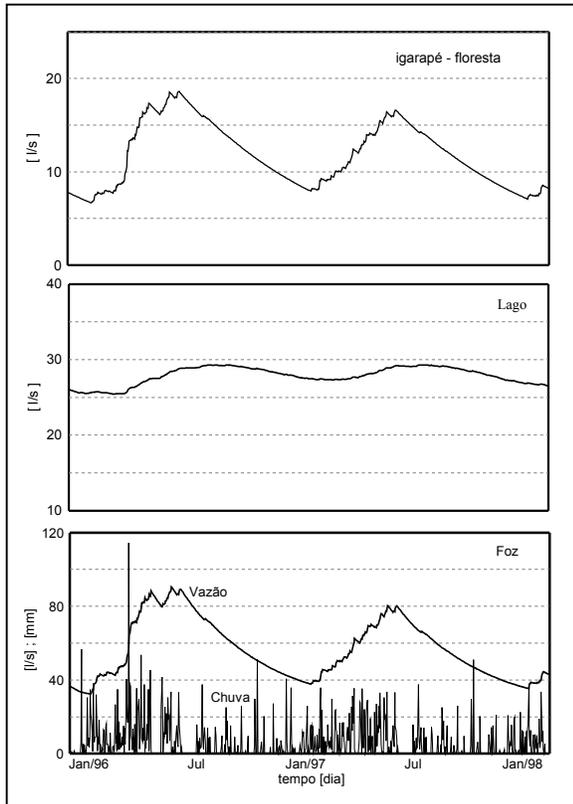


Figura 8. Vazões diárias calculadas pelo modelo hidrológico para os pontos PN, saída do lago, e foz da bacia do Igarapé Pedra Preta. O período abrangido vai desde Dez/95 até meados de Fev/98.

dos pela necessidade de complementar os dados de concentrações das espécies químicas com os fluxos de água nos diversos compartimentos da bacia (Melfi, 1997), é que este trabalho foi realizado.

REFERÊNCIAS

CRAGO, R. D.; BRUTSAERT, W. (1992). A comparison of several evaporation equations, *Water Resources Research*, 28 (3), 951-954.

FERNSIDE, P. M. (1993). Deforestation in Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. *Ambio* 22 (8):537-545.

FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; GUIMARÃES, J. R.; MELFI, A. J.; BOULET, R.; OLIVEIRA, S. M. B.; ESPÍRITO SANTO, C. M.; KRUG, J. F. (1999). *Mercury fluxes in a tropical forested small catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil)*, apresentado na “Mercury as a Global Pollutant – 5th International Conference”, 23-28 de Maio, Rio de Janeiro, Brasil.

FREEZE, R. A. (1974). Streamflow generation, *Reviews of Geophysics*, 12 (4), 627-647.

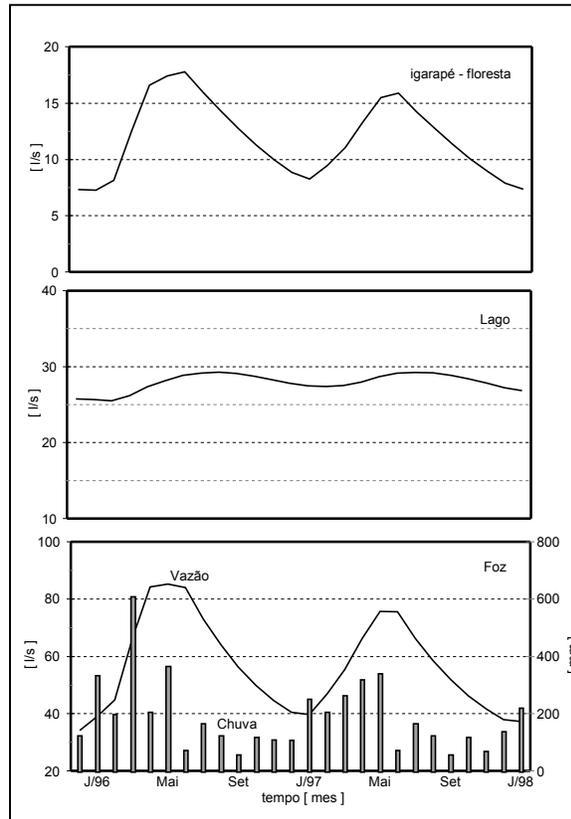


Figura 9. Vazões mensais calculadas pelo modelo hidrológico para os pontos PN, saída do lago, e foz da bacia do Igarapé Pedra Preta. O período abrangido vai desde Dez/95 até meados de Fev/98.

LESACK, L. F. W. (1993a). Export of nutrients and major ionic solutes from a rain forest catchment in the Central Amazon Basin, *Water Resources Research*, 29 (3), 743-758.

LESACK, L. F. W. (1993b). Water balance and hydrologic characteristics of a rain forest catchment in the Central Amazon Basin, *Water Resources Research*, 29 (3), 759-773.

LOUKS, P. (Ed.) (1994). Water resources management: focusing on sustainability. *International Hydrological Programme, IHP-IV Project M-4-3*, UNESCO, Paris, p. 46.

MELFI, A. J. (Coordenador) (1997). *Estudo do ciclo do mercúrio no ecossistema da floresta Amazônica: Avaliação do impacto da mineração de ouro com utilização de mercúrio*. Relatório Científico Final, Jan. 1998, PADCTII/CIAMB - CNPq No. 620375/92.2, p. 206.

MORAN, E.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; WU, Y. (1994). Deforestation in Amazonia: land use change from ground and satellite level perspective. *BioScience*, 44 (5):329-338.

- MILLY, P. C. D. (1994). Climate, soil water storage, and the average annual water balance, *Water Resources Research*, 30 (7), 2143-2156.
- MYERS, N. (1991). Tropical forests: present status and future outlook, *Climatic Change*, 19, 3-32.
- NIMER, E. (1979). Climatologia do Brasil. Editado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 421.
- PONCE, V. M.; SHETTY, A. V. (1995a). A conceptual model of catchment water balance: 1. Formulation and calibration, *Journal of Hydrology*, 173, 27-40.
- PONCE, V. M.; SHETTY, A. V. (1995b). A conceptual model of catchment water balance: 2. Application to runoff and baseflow modeling, *Journal of Hydrology*, 173, 41-50.
- RATISBONA, L. R. (1976). The Climate of Brazil. in: *World Survey of Climatology V.12, Climates of Central and South America*. Elsevier Scientific Publ. CO. New York, cap. 5, p. 219-269.
- SPITTLEHOUSE, D. L.; BLACK, T. A. (1980). Evaluation of the Bowen ratio/energy balance method for determining forest evapotranspiration, *Atmosphere-Ocean*, 18 (2), 98-116.
- TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. (1993). Evaporação e Evapotranspiração, em Hidrologia – Ciência e Aplicação, cap. 7, p. 253-287.
- VÖRÖSMARTY, C. J.; MOORE III, B.; GRACE, A.; GILDEA, M. P.; MELILLO, J. M.; PETERSON, B. J.; RASTETTER, E. B.; STEUDLER, P. A. (1989). Continental-scale models of water balance and fluvial transport: an application to South America, *Global Biogeochemical Cycles*, 3 (3), 241-265.

Hydrological Simulation of a Small Basin in Tropical Amazonia

ABSTRACT

A simplified hydrological model was used to estimate the water flows in the Igarapé Pedra Preta compartments Basin (Amapá-Ap). Only the main physical processes were considered in the hydrological model. This procedure was justified due to the scarcity of the hydrological data set available. The hydrological model was calibrated using fluvimetric data measured at a gauge for the Nov/97 to Feb/98 period. Based on basin calibration results, the parameters for the other compartments were empirically inferred. The hydrological model was also used to calculate the water discharges throughout the basin, beginning in Jan/96, during a period when only meteorological data (but no hydrological data) were available.

Key-words: simulation; Amazonia; hydrological model.