

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO BARIGÜI, PR

Water balance of the Barigüi river basin in Paraná State - Brazil

Heinz Dieter FILL¹
Irani dos SANTOS²
Cristovão FERNANDES³
André TOCZECK⁴
Mariana Fiorin de OLIVEIRA⁵

RESUMO

O presente trabalho estabelece o balanço hídrico mensal da bacia do rio Barigüi para o período de 1985 a 2000, determinando para cada mês o armazenamento ativo de água na bacia. Foi utilizado um método de ajuste de evapotranspiração calculado com dados meteorológicos observados fora da bacia em análise. Para a evapotranspiração utilizaram-se estimativas médias de longo prazo da diferença entre precipitação e deflúvio, que foram ajustadas adotando a proporcionalidade entre armazenamento na bacia e evapotranspiração real. A contribuição do despejo de esgoto doméstico foi estimada a partir de dados demográficos sobre a população residente na bacia. Os fluxos de água subterrânea para dentro e fora da bacia foram desprezados. Os resultados obtidos foram coerentes com estudos similares realizados na mesma região e mostram uma precipitação média no período de 1.251 mm e um deflúvio médio de 751 mm com um coeficiente de escoamento médio de 0,50.

Palavras-chave:

Balanço hídrico, evapotranspiração, rio Barigüi.

ABSTRACT

This paper consolidates the water balance of the Barigüi River in the Metropolitan Area of Curitiba for the period of time 1985-2000, defining for each month the watershed storage. It is proposed an evapotranspiration approximation based upon meteorological data measured close to the watershed. Evapotranspiration is estimated using long term averages of the differences between precipitation and streamflow data adjusted by assuming that storage and real evapotranspiration are proportional. The sewage contribution was estimated by watershed demographic data. The results are consistent with similar studies and show an average precipitation amplitude of 1251 mm and streamflow of 751 mm over the period analyzed.

Key-words:

Water balance, evapotranspiration, Barigüi river.

¹ Professor adjunto da UFPR, PhD em Recursos Hídricos <heinzfill@yahoo.com>

² Pesquisador do Lactec e professor substituto da UFPR, Mestre em Ciências do Solo <irani@lactec.org.br>

³ Professor adjunto da UFPR, PhD em Recursos Hídricos <cris.dhs@ufpr.br>

⁴ Geólogo pela UFPR <tozeque@yahoo.com.br>

⁵ Engenheiro agrônomo pela UFPR <marianafiorin@hotmail.com>

INTRODUÇÃO

Entre os recursos naturais indispensáveis no desenvolvimento humano, a água ocupa uma posição de destaque, por sua importância no equilíbrio de vida no planeta. O crescimento demográfico, a urbanização e a expansão industrial tem originado significativas demandas de recursos hídricos disponíveis, muitas vezes acima da disponibilidade dos respectivos cursos de água. O resultado desse impacto é o comprometimento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis.

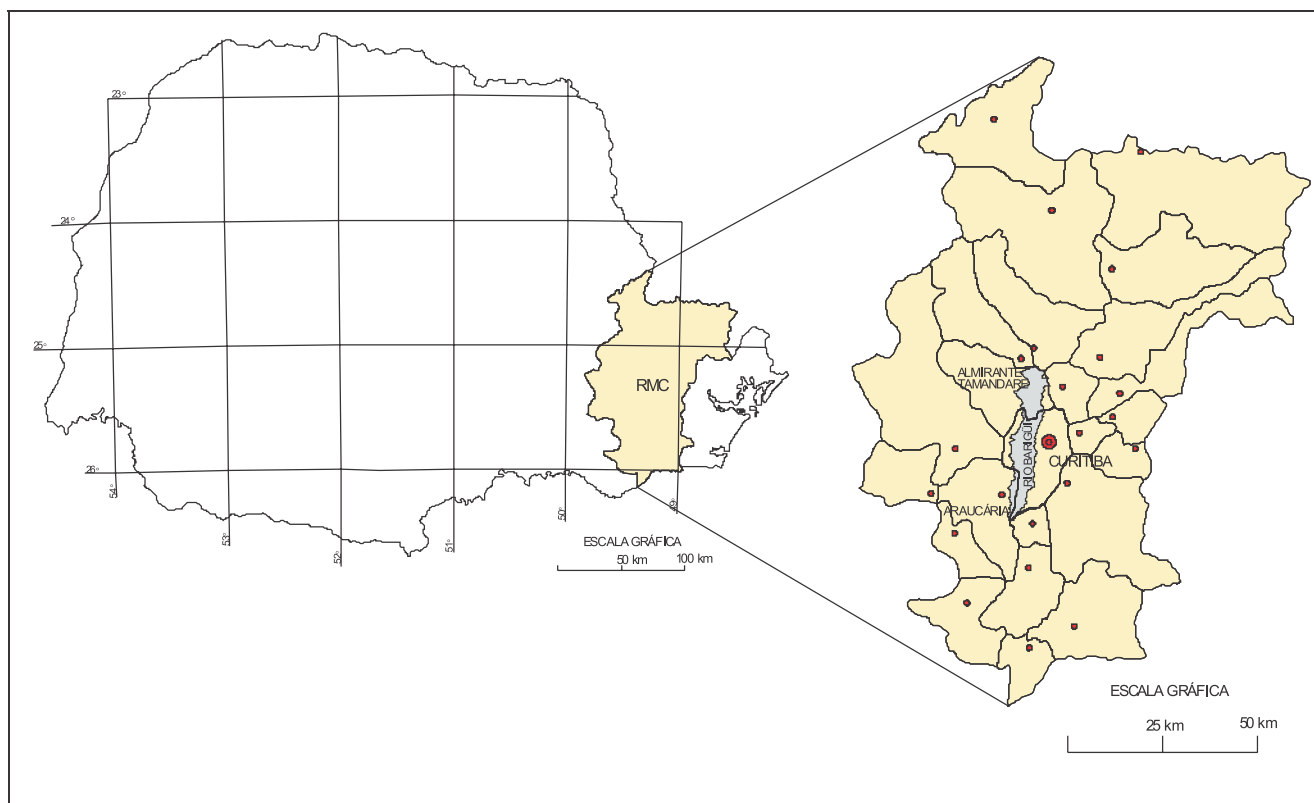
Assim, para uma correta avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos de uma região e a sua variabilidade espacial e temporal, os balanços hídricos da bacia como nível regional constituem-se em valiosos instrumentos tanto do ponto de vista teórico como prático (UNESCO, 1982). Neste contexto, o balanço hídrico de uma bacia permite avaliar a variação no tempo da quantidade de água armazenada (superficial e subterrânea) e dos respectivos fluxos (precipitação, escoamento e evapotranspiração), o que permite tirar conclusões importantes sobre o regime hidrológico e das possibilidades de utilização dos recursos hídricos.

Também, com a consolidação do balanço hídrico, se consolida a possibilidade da modelagem dos vários processos hidrológicos presentes na transformação chuva-vazão.

Uma questão bastante atual e de abordagem complexa se configura quando da consideração dos efeitos da urbanização e outras alterações antrópicas em bacias hidrográficas, o que se constitui em um elemento de motivação em termos de linha de pesquisa na área de hidrologia e recursos hídricos. Uma outra aplicação destes estudos diz respeito à regionalização de variáveis hidrológicas (CEHPAR, 1995).

O presente artigo procura estabelecer mensalmente o balanço hídrico do rio Barigüi, uma bacia urbana de médio porte (260 km²) situada na região metropolitana de Curitiba. Esta bacia se insere num contexto maior dentro da perspectiva de entendimento dos impactos ambientais causados por significativos processos de uso e ocupação do solo. As marcantes e compartimentadas características da bacia, com atividades rurais, urbanas e industriais, dão um caráter original ao entendimento dos efeitos sobre o balanço hídrico da bacia.

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO BARIGÜI NO ESTADO DO PARANÁ



ÁREA DO ESTUDO

A bacia do rio Barigüi localiza-se na região metropolitana de Curitiba e drena até a sua foz 279 km² em uma extensão de 66 km. As suas nascentes situam-se no município de Almirante Tamandaré e sua foz, no rio Iguaçú, na divisa entre os municípios de Araucária e Curitiba, como ilustram as figuras 1 e 2. A bacia do rio Barigüi está inserida numa área relativamente privilegiada em termos de observações hidrometeorológicas, como mostram a figura 2 e a tabela 1. Conforme indicado na tabela 1, as estações hidrológicas são as que foram implantadas com recursos do Rehidro, visando à consolidação da bacia experimental do rio Barigüi.

METODOLOGIA PARA O BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico, aqui entendido balanço hídrico superficial para uma região ou bacia hidrográfica pode ser escrito como (UNESCO, 1982):

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - (ET + Q_{SO} + Q_{UO}) = \Delta S \quad (1)$$

onde P é a precipitação média no período (em mm); Q_{SI} é a vazão de entrada superficial (mm); Q_{UI} é a contribuição subterrânea (mm); ET é a evapotranspiração (mm); Q_{SO} é a vazão de saída de água superficial (mm) e Q_{UO} é a vazão de saída de água subterrânea (mm).

Entre os vários elementos da equação (1) os termos referentes aos fluxos subterrâneos Q_{UI} e Q_{UO} são sem dúvida os mais difíceis de serem avaliados. Entretanto, para bacias que não estejam localizadas em áreas de recarga de aquíferos profundos ou em regiões cársticas, como é o caso do rio Barigüi, esses fluxos são pequenos e podem ser desprezados na presença dos demais termos, resultando em:

$$\Delta S = P + Q_{SI} - ET - Q_{SO} \quad (2)$$

O deflúvio superficial (Q_{SO}) e a precipitação (P) puderam ser estimados a partir de registros de estações fluvio-pluviométricas situadas na bacia ou nas suas vizinhanças listadas na tabela 1. A estimativa do influxo superficial (Q_{SI}), no caso representando o despejo de águas residuárias, pode ser feito a partir de correlações com dados demográficos.

No presente artigo, a evapotranspiração potencial de referência foi estimada através da expressão proposta por Doorenbos e Pruitt (1992), utilizando dados observados na estação meteorológica de Pinhais. A transposição para a bacia do rio Barigüi foi feita estimando-se a evapotranspiração real média sobre o período 1977-2000

pela expressão $ETR = P - Q_{SO} + Q_{SI}$, sendo Q_{SI} a contribuição do despejo de esgotos. Tratando-se de um período bastante longo (24 anos) a variação do armazenamento na bacia pode ser desprezada. Este valor foi comparado com o resultado da expressão de Doorenbos e Pruitt (1992) sobre o mesmo período para estabelecer um fator de correção médio. A partir daí a evapotranspiração real mensal foi estimada como sendo proporcional ao armazenamento na bacia (S) em cada mês.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evapotranspiração potencial de referência é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água (PENMAN, 1956).

Evapotranspiração real é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial. Existem vários métodos para obter tanto ETP como ETR (TUCCI, 1993; UNESCO, 1982; CHOW et al., 1988).

Para o cálculo da evapotranspiração potencial, foi utilizado o método de Doorenbos e Pruitt (1992), dado por:

$$E_p = F \cdot [W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_s - e)] \quad (3)$$

onde E_p é a evapotranspiração potencial (mm/dia); F é o fator de correção para a região em questão; W é um fator de ponderação função da temperatura e pressão atmosférica ou altitude; R_n é a radiação líquida convertida para mm/dia pelo calor latente de evaporação e que resulta da soma da radiação de ondas curtas (proveniente do sol) e de ondas longas (emitidas pela terra e pela atmosfera); $f(u)$ é a função da velocidade do vento; e_s é a tensão de saturação; e e é a tensão de vapor real. Para maiores detalhes da determinação de cada um dos termos da equação (3), recomenda-se a consulta a textos específicos como, por exemplo, Doorenbos e Pruitt (1992) e Chow et al. (1988).

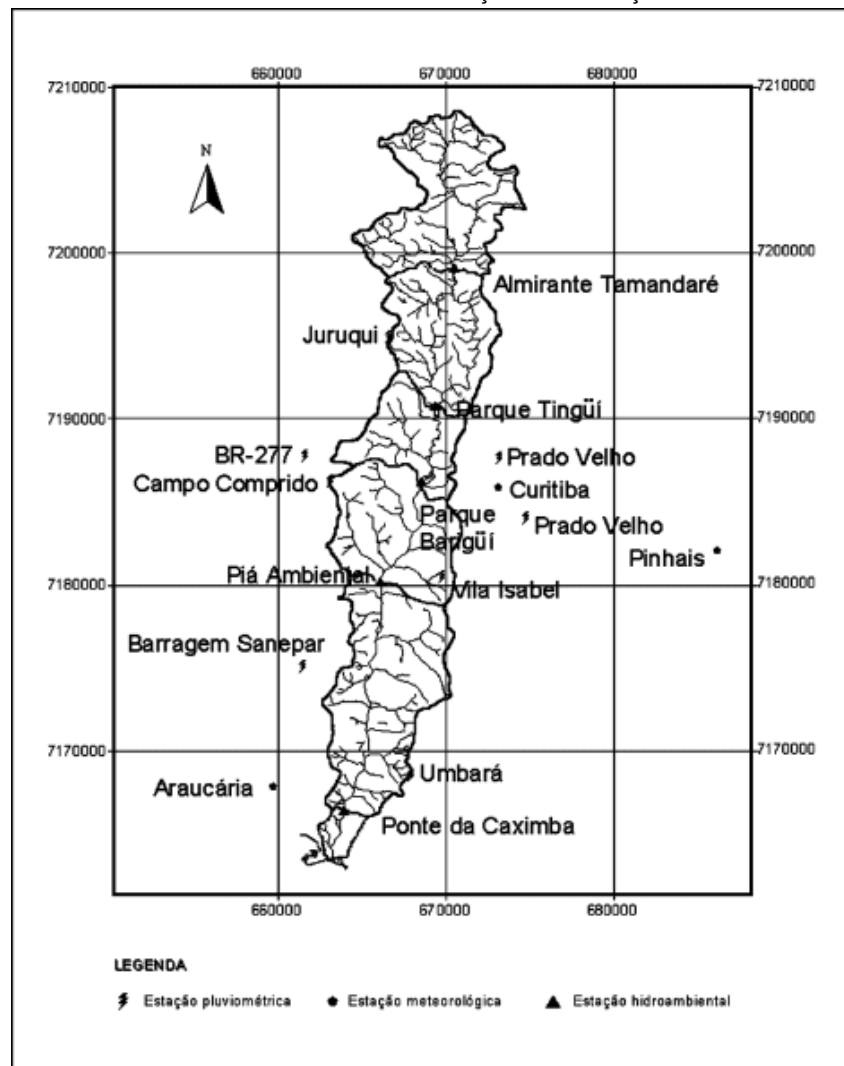
Uma questão interessante na definição do balanço hídrico está associada com a estimativa do fator de correção F . Este fator é utilizado para compensar vários efeitos que influem localmente na magnitude da evapotranspiração como a radiação solar, a umidade relativa, a velocidade do vento, tipo de solo e vegetação.

Neste estudo considerou-se F como a relação entre a evapotranspiração média de longo termo na bacia hidrográfica, a partir do balanço hídrico simplificado,

TABELA 1 - ESTAÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS

Estação	Tipo	Latitude	Longitude	Área (km ²)
Alm. Tamandaré	Hidrológica	25° 19' S	49° 18' W	60,01
Parque Tingüi	Hidrológica	25° 23' S	49° 18' W	105,85
Parque Barigüi	Hidrológica	25° 26' S	49° 19' W	135,60
Piá Ambiental	Hidrológica	25° 29' S	49° 20' W	185,20
Ponte da Caximba	Hidrológica	25° 37' S	49° 21' W	259,33
Araucária	Meteorológica	25° 36' S	49° 24' W	
Curitiba	Meteorológica	25° 26' S	49° 16' W	
Pinhais	Meteorológica	25° 28' S	49° 08' W	
Juruqui	Pluviométrica	25° 21' S	49° 20' W	
BR-277 Campo Largo	Pluviométrica	25° 25' S	49° 23' W	
Colégio Estadual do PR	Pluviométrica	25° 25' S	49° 16' W	
Umbará	Pluviométrica	25° 35' S	49° 19' W	
Curitiba - Vila Isabel	Pluviométrica	25° 29' S	49° 18' W	
Barragem Sanepar	Pluviométrica	25° 32' S	49° 23' W	
Prado Velho	Pluviométrica	25° 27' S	49° 15' W	

FIGURA 2 - BACIA DO RIO BARIGÜI E LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES



desprezando a variação do armazenamento ($ET = P - Q$) e a calculada pela expressão (3) no período de dados disponíveis (maio 1977 – novembro 2000). Para a região estudada resultou o valor de 0,69.

A evapotranspiração potencial de referência foi calculada a partir dos dados meteorológicos diários da estação meteorológica Piraquara/Pinhais do Iapar/Simepar (02549041), localizada no município de Pinhais com 25° 25' de latitude Sul e 49° 08' de longitude Oeste e altitude de 930 m. A transferência para a bacia do rio Barigüi foi efetuada através do fator $F=0,69$, obtido como descrito anteriormente e que considera evapotranspiração real média e já leva em conta o tipo e uso do solo na área de interesse, além da variação de fatores climáticos e valores médios de disponibilidade de água no solo.

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O BALANÇO HÍDRICO

Para obter a evapotranspiração real a partir da evapotranspiração de referência, esta deve ser multiplicada por um fator que depende do tipo de vegetação (k_c) e outro que depende da disponibilidade de água no solo (k_s) (CHOW et al. 1988). No presente estudo, o fator de cultura já está implicitamente considerado no fator F e o fator referente à umidade do solo k_s foi assumido como sendo proporcional a quantidade de água armazenado no solo de modo que

$$k_s = \frac{S}{\bar{S}} \quad (4)$$

onde \bar{S} é a média de água armazenada no período.

Com base nessas hipóteses e considerando a água armazenada no solo em um mês típico igual à média aritmética entre os valores armazenados no início e final do mês, resulta o seguinte modelo para simular o balanço hídrico na bacia:

$$\Delta S = S_i - S_{i-1} = P_i - Q_i + Q_i^* - ETr_i \quad (5)$$

onde S_i é a água armazenada no fim do mês i ; P_i , Q_i , Q_i^* e ETr_i são, respectivamente, a precipitação, o deflúvio natural, a contribuição de esgoto e a evapotranspiração durante o mês i .

Assumiu-se, de acordo com o exposto acima que a evapotranspiração real seja dada por

$$ETr_i = \frac{(S_i + S_{i-1})/2}{\bar{S}} \overline{ET}_i \quad (6)$$

onde \overline{ET}_i é a evapotranspiração média da bacia, equivalente a 69 % da evapotranspiração de referência da estação meteorológica de Piraquara.

Substituindo (6) em (5), resulta:

$$S_i - S_{i-1} = P_i - Q_i + Q_i^* - \frac{S_i}{2\bar{S}} \overline{ET}_i - \frac{S_{i-1}}{2\bar{S}} \overline{ET}_i \quad (7)$$

ou

$$S_i = \left[\frac{1}{1 + \frac{\overline{ET}_i}{2\bar{S}}} \right] P_i - Q_i + Q_i^* + S_{i-1} \left[1 - \frac{\overline{ET}_i}{2\bar{S}} \right] \quad (8)$$

Na falta de melhores informações, assumiu-se que no início do período de simulação o armazenamento na bacia fosse igual ao seu valor médio, de modo que

$$S_0 = \bar{S} \quad (9)$$

Com um valor de \bar{S} arbitrado, aplicaram-se as equações (8) e (9) ao longo do período obtendo S_i e os seus valores médios, mínimos e máximos. Com o novo valor de \bar{S} , repete-se a operação até que o erro $|S_0 - \bar{S}| / \bar{S} \approx 0.05$ respeitando a restrição $S_{\min} > 0$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Adotou-se para a simulação do balanço hídrico o período de janeiro de 1985 a dezembro de 2000, período este que permitiu uma avaliação mais precisa da precipitação e do escoamento em função da disponibilidade de dados na bacia, como mostrado na tabela 1.

Utilizando a metodologia acima exposta pode-se estimar para \bar{S} o valor de 200 mm que convergiu dentro de um erro igual a 5 %, considerado satisfatório e que não violou a restrição de $S_{\min} > 0$. Os armazenamentos mínimos e máximos foram 78 mm e 338 mm, respectivamente.

A figura 3 mostra os resultados da simulação mensal, podendo-se observar a grande variabilidade do regime de chuvas e, como consequência, flutuações importantes do armazenamento mensal. A evapotranspiração segue um padrão bastante regular refletindo a sazonalidade anual da radiação solar. O deflúvio varia também consideravelmente sem que se possa perceber um padrão definido.

A figura 4 apresenta as médias sazonais do período simulado e reforça as observações da figura 3. A evapotranspiração tem um forte caráter sazonal, variando de 83,6 mm em janeiro a 29,5 mm em junho.

A precipitação mostra dois picos, um no verão (dezembro a março) e outro no inverno/primavera (setembro a outubro). Isto reflete os dois períodos distintos de possíveis

cheias: (1) o verão, quando predominam chuvas convectivas de grande intensidade, o que é crítico no caso de cheias urbanas da região metropolitana (e.g., cheias de 1995 e 1999) e (2) o período de julho a outubro, épocas de chuvas intensas provocadas por frentes frias críticas na bacia do rio Iguaçu médio e baixo (e.g., cheias de 1983 e 1992). Ademais, particularmente os meses de julho e agosto são

FIGURA 3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO 1985-2000

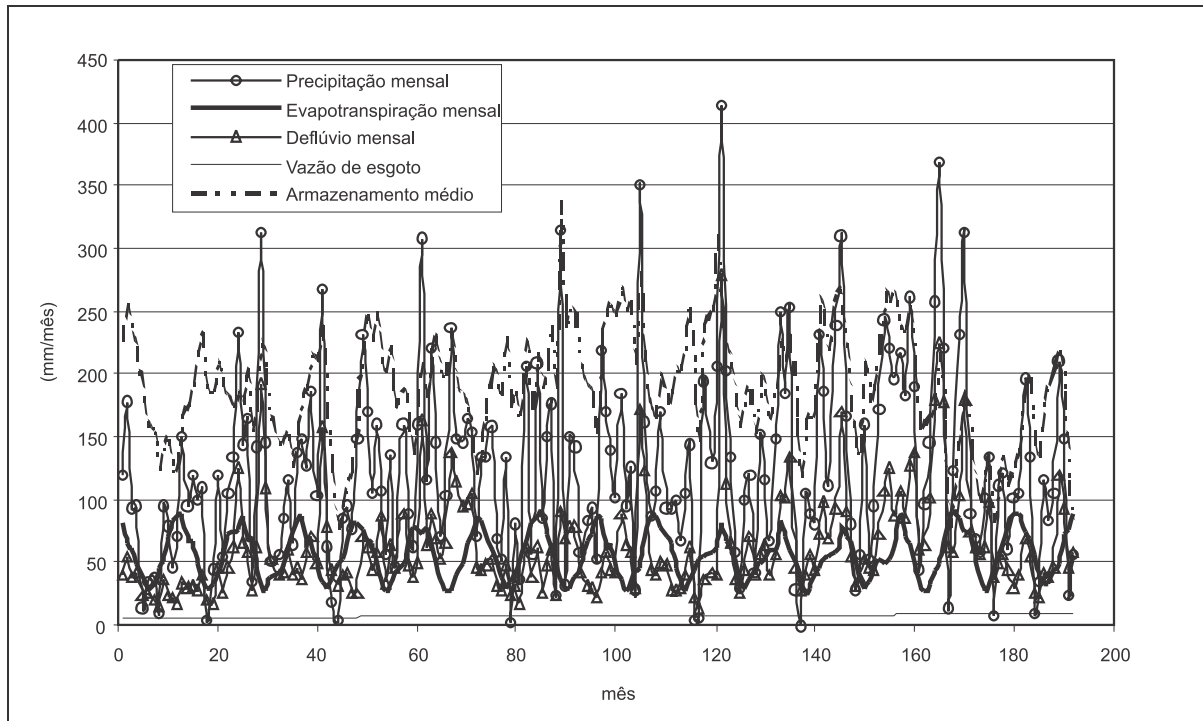


TABELA 2 – VALORES ANUAIS DO BALANÇO HÍDRICO

Ano	Precipitação (mm)	Vazão (mm)	Evapotranspiração real (mm)	Armazenamento (mm)	Coefficiente de deflúvio
1985	874,8	363,8	699,5	175,0	0,416
1986	1271,0	514,3	687,0	191,6	0,405
1987	1454,2	803,7	685,0	169,7	0,553
1988	1326,1	666,5	700,5	160,4	0,503
1989	1483,8	701,2	699,5	202,5	0,473
1990	1882,9	1102,5	679,0	191,4	0,586
1991	1274,4	495,0	695,7	189,4	0,388
1992	1359,7	608,7	687,8	220,1	0,448
1993	1768,4	808,4	697,2	233,0	0,457
1994	1311,6	450,7	639,4	216,2	0,344
1995	1585,2	900,6	636,5	190,0	0,568
1996	1760,6	893,3	610,1	203,6	0,507
1997	1782,4	923,7	630,6	210,3	0,518
1998	2124,4	1390,7	705,3	179,7	0,655
1999	1399,8	861,7	720,6	125,9	0,616
2000	1221,6	657,8	725,9	165,0	0,538
Média	1492,5	758,9	679,3	189,0	0,498

FIGURA 4 – SAZONALIDADE DAS VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

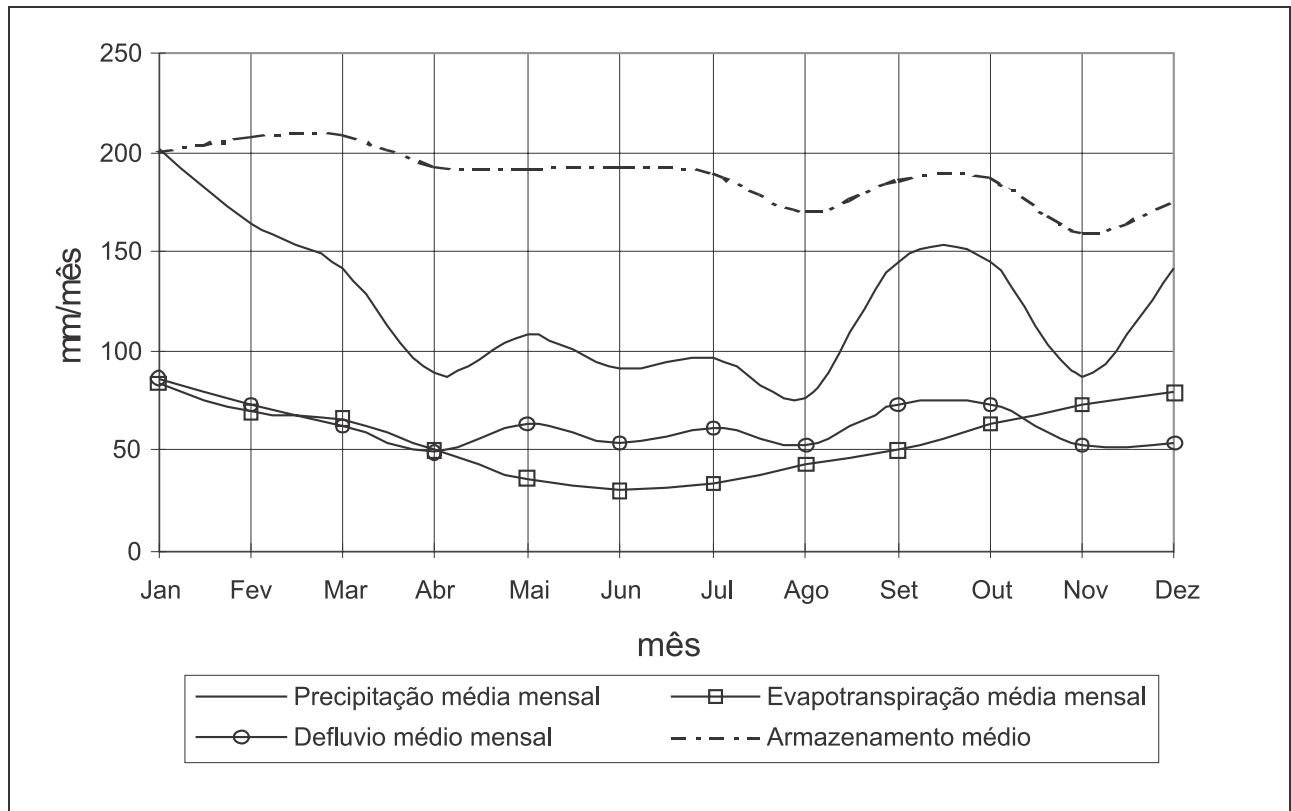
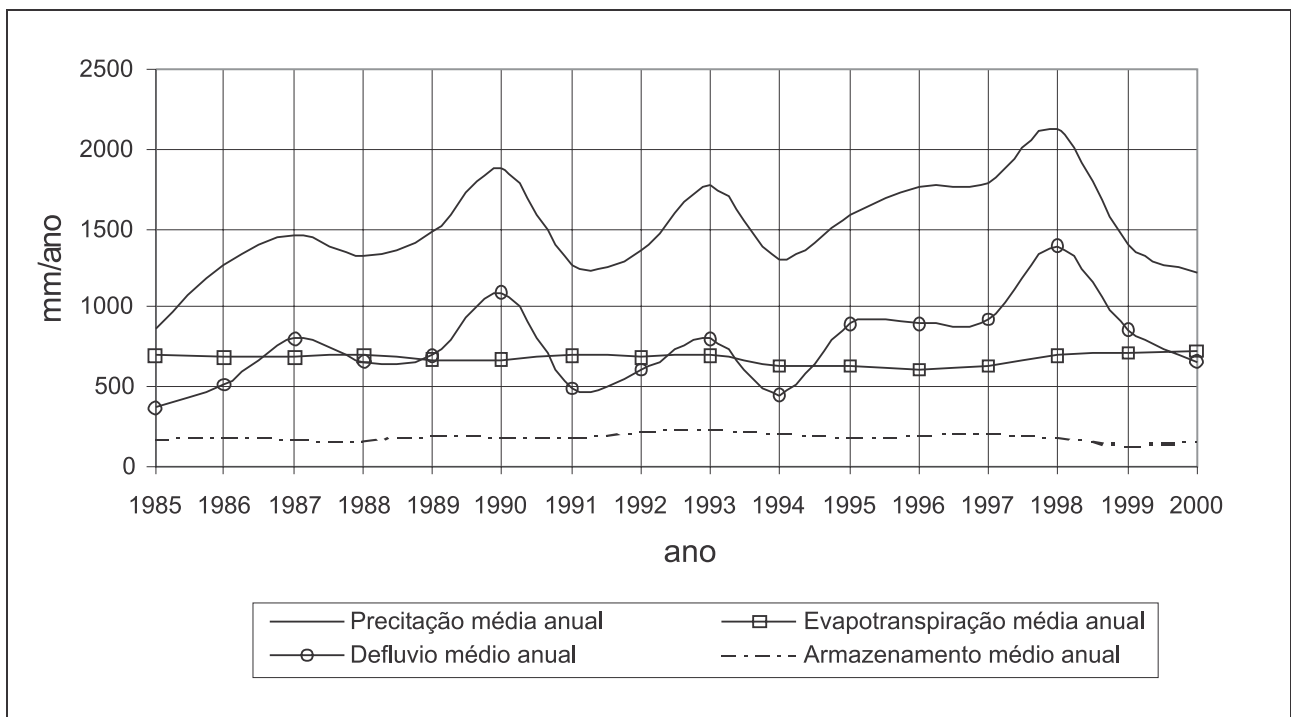


FIGURA 5 – RESULTADOS MÉDIOS ANUAIS



caracterizados por uma grande variabilidade na precipitação correspondente a invernos secos ou chuvosos (este período apresenta ao mesmo tempo as vazões mais altas e também as mais baixas observadas na bacia do Iguaçu). Para as vazões médias mensais não se observa nenhuma sazonalidade evidente. O armazenamento tende a reduzir-se ligeiramente no segundo semestre provavelmente em função do aumento da evapotranspiração, recuperando-se rapidamente nos meses de dezembro a fevereiro face às fortes precipitações no período.

A figura 5 e a tabela 2 mostram a evolução dos totais anuais ao longo do período simulado, não se observando tendências visíveis.

As flutuações na precipitação total anual parecem mais de caráter aleatório, caracterizando-se os anos de 1990, 1993 e 1998 como úmidos, e os anos de 1985, 1991, 1994 e 2000 como secos.

O escoamento total anual segue de perto a tendência da precipitação, evidenciando a pequena capacidade regularizadora da bacia, o que se explica pela ausência de grandes lagos, áreas alagadiças ou aquíferos importantes. A tabela 2 mostra ainda o coeficiente de escoamento anual da bacia e que varia entre 0,344 (1994) e 0,655 (1998), com uma média de 0,498. Esse valor é coerente com que se espera de uma bacia urbana como a do rio Barigüi (SILVEIRA, 1999; TIUMAN, 2002).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar do caráter pioneiro do presente estudo na bacia do rio Barigüi, algumas conclusões importantes sobre o regime hidrológico deste curso de água puderam ser estabelecidas:

- A capacidade de armazenamento da bacia é bastante limitada, conduzindo a um regime de escoamento no nível anual que segue de perto as variações da precipitação;
- Regime de escoamento apresenta muito pouca sazonalidade intra-anual com possíveis picos tanto no verão como no período inverno/primavera;

REFERÊNCIAS

BENSON, M. A. *Factors influencing the occurrence of floods in a humid region of diverse terrain*, USGS Water Supply. Paper 1 580-B, 1964.

CENTRO DE HIDRÁULICA E HIDROLOGIA PROFESSOR PARIGOT DE SOUZA. *Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas do Estado do Paraná*. Curitiba: CEHPAR, 1995, (PROJETO HG-77).

- A evapotranspiração, dominada pelo termo de radiação, apresenta uma sazonalidade que segue de perto a variação da radiação solar;
- Não houve ao longo do período analisado, ao menos como totais anuais. Uma alteração significativa no regime hidrológico do rio Barigüi (a menos do aumento da contribuição da carga de esgotos). O que leva a crer que os efeitos da urbanização tais como impermeabilização, retificação e canalização do leito, ocupação da planície de inundação, se dêem mais nas características com escala de tempo menor (vazões diárias). Na escala anual, talvez estes efeitos foram neutralizados por ações mitigadoras, como a criação de vários parques ao longo do rio.

Recomenda-se dar continuidade a este estudo procurando: (1) analisar o balanço hídrico em escalas de tempo menores; (2) utilizar modelos alternativos para a estimativa da evapotranspiração; e (3) estabelecer balanços para subáreas da bacia com tipos de ocupação diferenciados. Recomenda-se ainda a realização de estudos similares para outras bacias urbanas para possibilitar comparações e análises sobre a influência da urbanização no balanço hídrico de bacias hidrográficas. Também a realização de experimentos para medida direta da evaporação (método das covariâncias turbulentas) é recomendada. Finalmente, recomenda-se a realização do balanço sedimentométrico e o seu acoplamento com o balanço hídrico na bacia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Suderhsa (Superintendência de Desenvolvimento em Recursos Hídricos e Saneamento) e ao Simepar (Sistema Meteorológico do Paraná) pelo fornecimento de dados hidrometeorológicos usados no presente trabalho e à Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo apoio financeiro.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. *Applied hydrology*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1988.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. *Crop water requirements*. Roma: FAO, 1992.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. *Netherland Journal of Agriculture Science*, Wageningen, v. 4., 1956.

SILVEIRA, A. L. L. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: 1999. 1 CD-ROM.

TIUMAN, S. M. *Impacto hidrológico da urbanização na bacia do rio Belém, Curitiba, Paraná*. Curitiba, 2002. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Geografia) - Departamento de

Geografia, Universidade Federal do Paraná.

TUCCI, C. E. M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, 1993.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA - UNESCO. *Guia metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*, 1982.