

Estimativa do balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Sorocaba – São Paulo

Estimate of the water balance of the Sorocaba river watershed – SP

Marcio Costa Abreu^{1(*)}
Kelly Cristina Tonello²

Resumo

Tendo como objetivo contribuir com a caracterização das disponibilidades de água na bacia hidrográfica do rio Sorocaba – SP, realizou-se o cálculo de seu balanço hídrico climatológico a partir de dados cedidos pelo INMET e DAEE, de 1974 a 2012. As informações sobre pluviometria permitiram a elaboração das isoietas de precipitação acumulada na bacia, a qual indicou diminuição do volume das chuvas, da cabeceira para o seu exutório. As chuvas concentram-se, principalmente, no período entre outubro a março, no qual se acumula 70% da precipitação anual. O excedente hídrico médio anual foi estimado em 392 mm, o que corresponde a 29% da precipitação média anual da bacia que, multiplicado por sua área total (5.273 km²) equivale a 65,5 m³.s⁻¹ ou 2 x 10⁹ m³.ano⁻¹. Considerando-se todo o volume do excedente hídrico e a população total da bacia, obtém-se uma disponibilidade *per capita* de 1.600 m³.hab⁻¹.ano⁻¹, o que indica uma situação de estresse hídrico. Devido ao aumento populacional e degradação da qualidade da água, esse cenário tende a piorar, com a redução da oferta de água de qualidade, gerando maiores pressões sobre os mananciais e se tornando (cada vez mais) fundamental o planejamento e uso adequado desse recurso.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica; UGRHI 10; recursos hídricos.

Abstract

In order to contribute to the characterization of water availability in the watershed of the river Sorocaba - SP, it was held the calculation of its climatic water balance from data provided by INMET and DAEE from 1974 to 2012. Information

-
- 1 Aluno do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos / Campus Sorocaba-SP; Endereço: Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP 264, Itinga, CEP: 18052-780 - Sorocaba, São Paulo - Brasil; E-mail: marcioc.abreu@gmail.com (*) Autor para correspondência
 - 2 Dra.; Engenheira Florestal; Professora da Universidade Federal de São Carlos / Campus Sorocaba-SP, Pesquisadora Colaboradora da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP; Endereço: Rodovia João Leme dos Santos, km 110, SP 264, Itinga, CEP: 18052-780 - Sorocaba, São Paulo – Brasil; E-mail: kellytonello@ufscar.br

Recebido para publicação em 16/03/2015 e aceito em 14/05/2015

Ambiência Guarapuava (PR) v.11 n.3 p. 513 - 527 Set./Dez. 2015 ISSN 1808 - 0251
DOI:10.5935/ambiencia.2015.03.01

on rainfall led to the drafting of the precipitation isohyets accumulated in the watershed which indicated decreased volume of rainfall from the headwaters to the river mouth. Rains are mainly concentrated in the period from October to March, where they accumulate 70% of the annual precipitation. The average annual water surplus is estimated at 392 mm, which corresponds to 29% of the average annual precipitation in the watershed, which multiplied by its total area (5,273 km²) is equivalent to 65.5 m³.s⁻¹ or 2 x 10⁹ m³. year⁻¹. Considering all the excess water volume and the total population of the basin, you get a per capita availability of 1,600 m³.hab⁻¹.year⁻¹, which indicates a water stress situation. Due to population growth and degradation of water quality this scenario tends to worsen, with reduced quality of water supply, generating greater pressure on stocks and becoming increasingly important proper planning and use of this resource.

Key words: water resources; UGRHI 10; water availability.

Introdução

A água, essencial para a manutenção da vida e utilizada para os mais diversos fins pela sociedade, é um recurso renovável, porém finito. Estima-se que a quantidade de água no planeta foi sempre constante, sendo que a maior parte está acumulada nos mares e oceanos. De toda a água existente, aproximadamente 2,5% é doce, sendo que, dessa parcela, as águas superficiais encontradas nos rios e lagos representam 0,3% e as águas subterrâneas 30% (REBOUÇAS et al., 1999). Além disso, a água não está igualmente distribuída pela superfície terrestre, sendo um recurso escasso em diversos locais. No Brasil, cerca de 80% do volume de água está concentrado na região amazônica (ANA, 2013), distante dos principais centros urbanos.

Diante da tendência do contínuo aumento populacional e de produção de alimentos, a demanda e captação da água tendem a crescer ao longo do tempo (HESPANHOL, 2008), enquanto que a disponibilidade se mantém constante, ou até

mesmo diminui para alguns usos, em razão da deterioração da sua qualidade, podendo gerar uma crise de abastecimento. Conforme destacado por Rogers et al. (2006), diversos autores indicam que, em muitos locais, já está instalada uma crise da água que, em vários casos, está muito mais relacionada à falta de planejamento e gerenciamento do que à escassez de origem natural. Somlyodi e Varis (2006) associam o agravamento da crise da água aos problemas de disponibilidade e aumento da demanda e a um processo de gestão setorial, sem ações preditivas ou abordagens sistêmicas. Como solução para essa situação, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008, in TUNDISI, 2008) destacam a necessidade de uma abordagem sistêmica, integrada e preditiva na gestão das águas, no qual uma base de dados consolidada e transformada em um sistema de gestão pode ser a melhor maneira para se tratar do problema de escassez e deterioração da qualidade da água.

Entre as diversas informações fundamentais para a elaboração de um bom

sistema de gestão, pode ser destacado o conhecimento do limite de oferta dos recursos hídricos. As questões referentes à qualidade e quantidade de água apresentam, inclusive, implicações de saúde pública, seja por limitar um consumo mínimo desejável (demanda essencial), seja por causar problemas de intermitência do abastecimento. Tal situação pode acarretar a deterioração da qualidade da água no sistema de distribuição e/ou induzir a população ao uso de fontes de qualidade duvidosa (BRASIL, 2006), o que representará riscos à saúde. Assim, a gestão dos recursos hídricos deve garantir a sua utilização sustentável, de forma que sejam aproveitados, dentro de padrões de consumo que não comprometam a sua disponibilidade atual e futura para os diversos fins a que se destina, incluindo manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, antes mesmo de se iniciarem os conflitos entre usuários e estabelecerem-se as crises hídricas.

No Brasil algumas regiões já apresentam forte escassez dos recursos hídricos, seja por causas naturais, como o semiárido nordestino, ou pelo adensamento populacional, como o evidente caso da Região Metropolitana de São Paulo, onde o volume disponível é insuficiente para atender toda a população dessa bacia (HESPANHOL, 2008). Estudos, conduzidos pelo Comitê da Bacia Hidrográfica-Sorocaba/Médio Tietê – CBH-SMT, indicam que a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Sorocaba e Médio Tietê – UGRHI 10, encontra-se em situação de deficiência hídrica, tendo vários municípios com disponibilidade de água abaixo de $1.750 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (CBH-SMT, 2013). Estimativas realizadas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SMA (2006) indicam que a disponibilidade

de água superficial na UGRHI 10 é crítica, enquanto que SÃO PAULO (2005) indica uma baixa disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para essa unidade de gerenciamento.

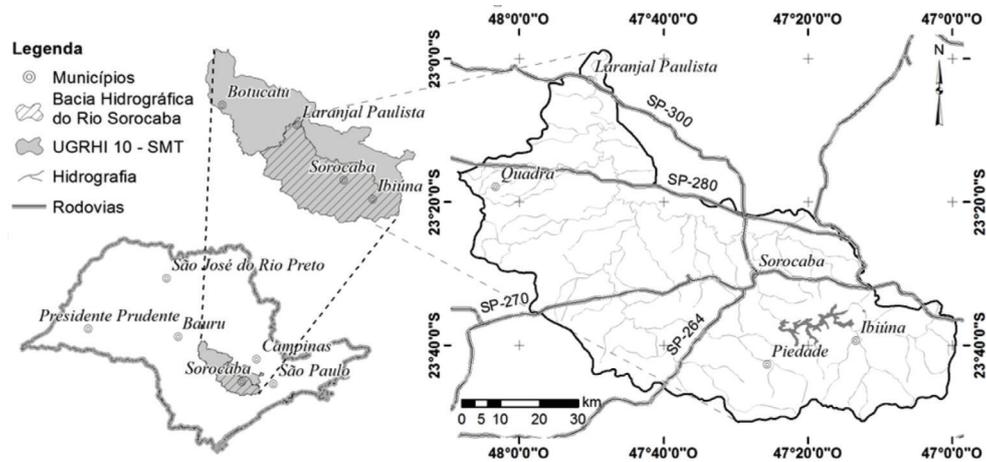
De acordo com Amorim Neto (1989), o balanço hídrico é o método mais eficiente de se estimar o potencial hídrico de uma região, por considerar os fatores: edáfico, que interfere no armazenamento de água no solo e depende de suas características físicas; e o climático, associado à precipitação e à evapotranspiração. A avaliação do balanço hídrico permite, ainda, identificar as condições de excedente ou deficiência de água no solo. Tal avaliação constitui importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos, principalmente, no que tange à predição de: vazões, recarga de aquíferos, processos de outorga de uso de água, abastecimento humano, geração de energia, índices de umidade no solo para culturas agrícolas e vegetação natural, demandas de irrigação de culturas, entre outros (ANA, 2005).

Este trabalho tem como objetivo contribuir com a caracterização das disponibilidades de água na bacia hidrográfica do rio Sorocaba - BHS, pertencente à UGRHI 10, por meio do cálculo de seu balanço hídrico, a partir de dados de normais climatológicas mensais, de modo a estimar os volumes excedentes e os períodos de deficiência hídrica na bacia, a temporalidade desses eventos, assim como estimativas de evapotranspiração potencial e real.

Material e Métodos

A BHS está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo (Figura 1). Possui uma área de 5.273 km^2 (IPT, 2006), abrange 28 municípios, dos quais 20 com sede

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba – São Paulo



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

em seu território e inserida na terceira UGRHI mais populosa do Estado, atrás apenas das bacias do Alto Tietê e do Capivari/Piracicaba/Jundiá. O rio Sorocaba, com aproximadamente 230 km, é o maior afluente da margem esquerda do rio Tietê, sendo formado pelos ribeirões Sorocamirim e Sorocabuçu, e sua foz está no município de Laranjal Paulista. Os principais afluentes do rio Sorocaba são os rios Sarapuí, Tatuí e da Onça e os ribeirões Aleluia e Guarapó. A represa de Itupararanga, localizada no alto curso do rio Sorocaba, próximo à cabeceira, é o principal reservatório da bacia (CBH-SMT, 2013).

Os resultados do monitoramento das águas superficiais, realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2013), apontam que o Índice de Qualidade da Água – IQA anual médio, para o ano de 2012, variou entre bom e regular, no rio Sorocaba. Nos rios Sarapuí e Tatuí o IQA foi bom e regular, respectivamente; nos ribeirões Sorocabuçu e Sorocamirim, foi bom; e no reservatório de Itupararanga foi ótimo (CETESB, 2013). A cobertura vegetal natural predominante é o bioma Mata Atlântica, que corresponde a 13% da área da bacia. Pastagens, entremeadas por

campos antrópicos, cobrem 65% da BHS; as áreas de culturas e lavouras diversas representam 12%; silvicultura 6,5% e as manchas urbanas representam cerca de 3,5% (SMA/IF, 2005; IPT, 2006; FAVERO, 2006).

A BHS detém uma economia dinâmica, representada pelos mais diversos setores produtivos. A pecuária é uma atividade importante, com destaque para a avicultura de corte, assim como a pecuária de corte e leite. Os setores de comércio e serviços se sobrepõem ao industrial, sendo que no período de 2007 a 2010 todos apresentaram crescimento (CBH-SMT, 2013). A produção agrícola também tem uma importante participação na economia, principalmente na porção superior da bacia.

A estimativa do balanço hídrico climatológico foi realizada a partir da metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955), adaptado conforme simplificações propostas por Pereira (2005), com periodicidade mensal. Segundo essa técnica, por meio da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP), e com

um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (CAMARGO, 1971; PEREIRA et al., 1997). A equação do balanço hídrico, segundo essa metodologia, é dada por (Equação 1):

$$P = ESC + \Delta ARM + ETR + I \quad (1)$$

Onde P é a precipitação (mm), ESC o escoamento superficial (mm), ETR a evapotranspiração real (mm), ΔARM a variação no armazenamento de água no solo (mm) e I é a infiltração ou recarga (mm).

O escoamento superficial (ESC) e a infiltração (I) correspondem ao excedente hídrico e não foram desmembrados nesse estudo. O armazenamento (ARM) foi calculado com base nas simplificações propostas por Pereira (2005), segundo a equação:

$$ARM_n = ARM_{n-1} \exp\left[\frac{(P-ETP)_n}{CAD}\right] \quad (2)$$

em que ARM_n é o armazenamento para o mês de interesse (mm), ETP a evapotranspiração potencial (mm) e CAD capacidade de água disponível no solo (mm).

A capacidade de água disponível no solo (CAD) adotada foi de 100 mm, por ser capaz de atender uma grande variedade de culturas e diversas aplicações hidrológicas (D'ANGIOLELLA E SILVA, 2014). A metodologia prevê que, para os meses nos quais $P - ETP > 0$, mas insuficiente para atingir o valor da CAD atribuído, o ARM deve ser obtido a partir de:

$$ARM_n = ARM_{n-1} + (P - ETP)_n \quad (3)$$

A inicialização do balanço hídrico seguiu o critério recomendado por Mendonça (1958), descrito em Pereira (2005), devido à facilidade de sua informatização em relação ao método original (SENTELHAS et al., 2014), dada pela equação a seguir:

$$ARM_i = \frac{M}{1 - \exp\left(\frac{N}{CAD}\right)} \quad (4)$$

Sendo que ARM_i é o armazenamento no mês de início dos cálculos (mm), M corresponde a $\Sigma[P-ETP]_+$ (mm) e N é $\Sigma[P-ETP]_-$ (mm).

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método proposto por Thornthwaite³ (1948, in PEREIRA, 2005), o qual apresenta bons resultados para a escala mensal (PEREIRA et al., 2002), por meio da equação 5:

$$ETP = 16b \left(10 \frac{T}{I}\right)^a, 0^\circ\text{C} \leq T \leq 26^\circ\text{C} \quad (5)$$

Onde T é a temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$), I representa o índice de calor disponível para a região; a é a função cúbica de I, calculado a partir da soma dos índices de calor dos 12 meses; b é o fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude do local de estudo. Os cálculos de I e b são realizados a partir das seguintes equações:

$$I = \sum_{\eta=1}^{12} (0,2T_\eta)^{1,514}, T_x > 0^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (7)$$

$$b = \left(\frac{ND}{30}\right) \times \left(\frac{N}{12}\right) \quad (8)$$

Em que ND é o número de dias no mês e N o fotoperíodo (h).

A evapotranspiração real (ETR) foi obtida a partir de:

3 THORNTHWAITTE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, v. 1, p. 55-94, 1948.

$$ETR = ETP \text{ (se } P - ESC - ETP - I > 0 \text{)} \quad (9)$$

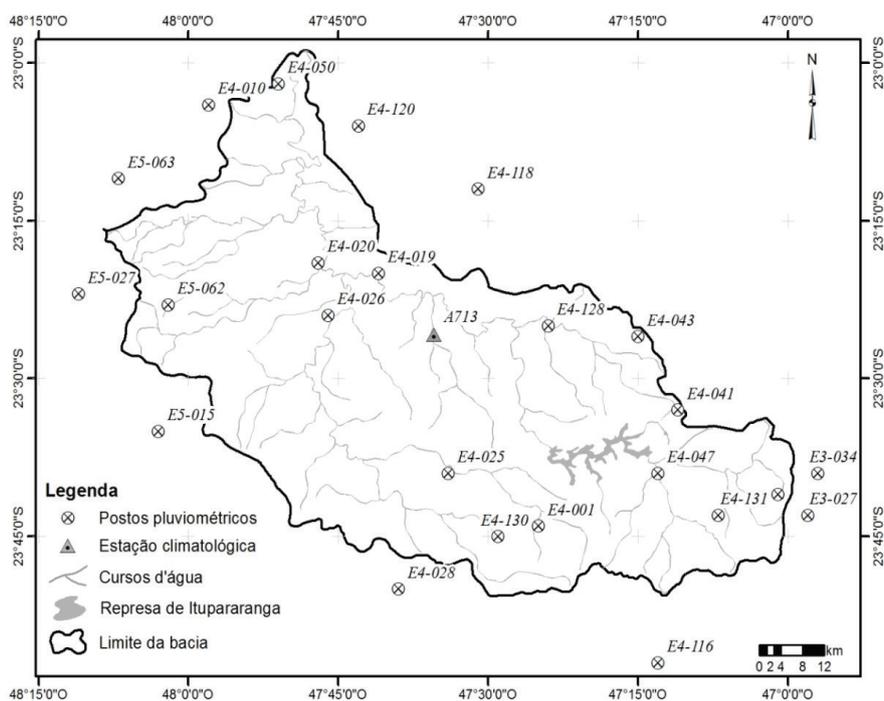
$$ETR = P - ESC - \Delta ARM \text{ (se } P - ESC - ETP - I < 0 \text{)} \quad (10)$$

Os dados utilizados para o cálculo das normais climatológicas foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2013), por meio do portal “Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMet)”. A estação utilizada foi a de código A713, localizada no município de Sorocaba, com registros de 35 anos, referentes ao período compreendido entre 1978 a 2012.

Os registros de chuvas na BHS foram obtidos a partir do levantamento dos postos pluviométricos existentes na área de estudo

e em seu entorno, com a interpretação dos dados mensais. Foram selecionados, nessa avaliação, os postos que apresentaram série histórica com registros de 30 anos, conforme recomendado por UTFPR (2010) e Pereira et al. (1997), para o período comum de 1974 a 2003, a partir da qual foi calculada a normal climatológica de chuvas, com o objetivo de se obter a precipitação média de longo período. Foram selecionados 24 postos pluviométricos (Figura 2), cujos registros diários foram obtidos no banco de dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), disponível no “Portal do Sistema Integrado de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2014)”. A precipitação média mensal de longo

Figura 2 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos e estação climatológica na bacia hidrográfica do rio Sorocaba, São Paulo



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

período foi calculada por média aritmética dos valores médios de precipitação em cada posto pluviométrico estudado.

As lacunas observadas nos registros históricos dos postos pluviométricos foram preenchidas pelo método da ponderação, usualmente utilizado para o preenchimento de séries mensais ou anuais de precipitações, visando à homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações (UTFPR, 2010), como segue:

$$y = \frac{1}{3} \left[\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] y_m \quad (11)$$

Onde y é a precipitação do posto a ser estimada (mm), x_1 , x_2 e x_3 são as precipitações correspondentes ao mês que se deseja preencher, observadas em três estações vizinhas (mm); x_{m1} , x_{m2} e x_{m3} são as precipitações médias nas três estações circunvizinhas (mm); e y_m é a precipitação média do posto com lacuna (mm).

Com base nos dados da série histórica de chuvas, foi elaborado o mapa de precipitação média acumulada anual para a BHS, a partir da interpolação das médias anuais dos postos pluviométricos. Como os trabalhos desenvolvidos até o momento não demonstram de forma conclusiva qual o melhor método de interpolação espacial a ser aplicado para essa variável climática (MAZZINI; SCHETTINI, 2009; VIOLA

et al., 2010) e, como este estudo não tem como objetivo fazer essa avaliação, optou-se por utilizar o método de *krigagem* ordinária. Este, por sua vez, é amplamente utilizado e apresentou bons resultados nos trabalhos de Loureiro e Lisboa (2014), Mello et al. (2003) e Carvalho e Assad (2002).

Resultados e Discussão

As médias aritméticas mensais da temperatura e a precipitação para a série histórica de 35 anos (Tabela 1) indicam que a temperatura média anual na área de estudo é de 20,8 °C, com as menores temperaturas médias mensais ocorrendo em junho e julho (17,0 °C) e a maior no mês de fevereiro (23,9 °C). Nota-se ainda que os meses mais frios ocorrem entre maio e setembro, nas quais a temperatura média mensal não ultrapassa 20 °C. Para a pluviometria, observa-se uma variação temporal ao longo do ano hidrológico, sendo que a normal climatológica de longo período indica a ocorrência de um período chuvoso, entre outubro e março, com precipitação média mensal superior a 100 mm, e que corresponde a mais de 70% da precipitação acumulada anual, e uma estação seca, com o menor volume médio no mês de agosto. A série histórica de 30 anos dos postos pluviométricos reforça essa

Tabela 1 - Dados das normais climatológicas mensais¹ da estação de Sorocaba (código A713) para o período de 1978 a 2012

	Latitude: -23,43					Longitude: -47,59					Altitude: 645 m		
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
P (mm)	265	159	133	65	79	60	54	31	61	102	131	182	1.322
T (°C)	23,4	23,9	23,3	21,5	18,6	17,0	17,0	18,4	19,4	21,2	22,3	23,1	20,8

Fonte: Abreu; Tonello (2015).

Nota: P: precipitação; T: temperatura média; I: obtido no banco de dados do INMET (acessado em 05/12/2013)

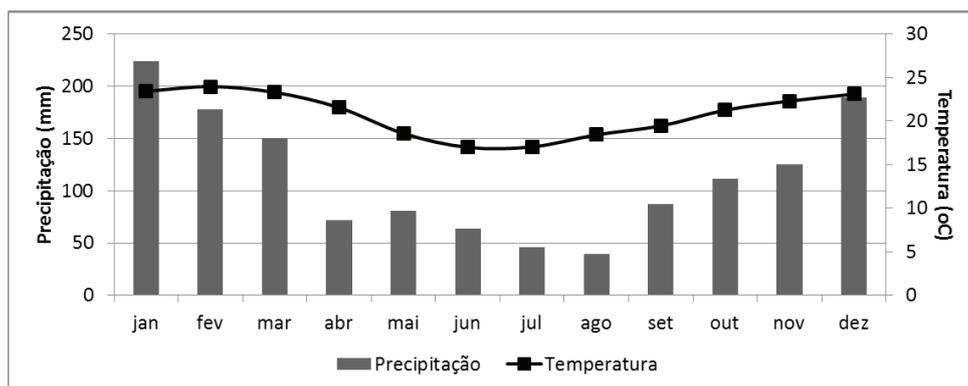
observação (Figura 3). Duas estações bem definidas podem ser identificadas a partir dos dados climatológicos (Figura 3), sendo uma estação quente e úmida (outubro a março) e outra fria e seca (abril a setembro).

Nos anos de 1975, 1979, 1981, 1984, 1985, 1994, 1999 e 2003 a precipitação média acumulada anual, considerando-se todos os postos pluviométricos avaliados, foi inferior a 1.200 mm, sendo que os anos de 1984 e 1985 apresentaram os menores valores médios da série histórica avaliada (Figura 4), respectivamente de 1.102 mm e 1.003 mm. A menor precipitação anual acumulada absoluta

foi 642 mm no posto E4-010, no município de Pereiras, no ano de 2003.

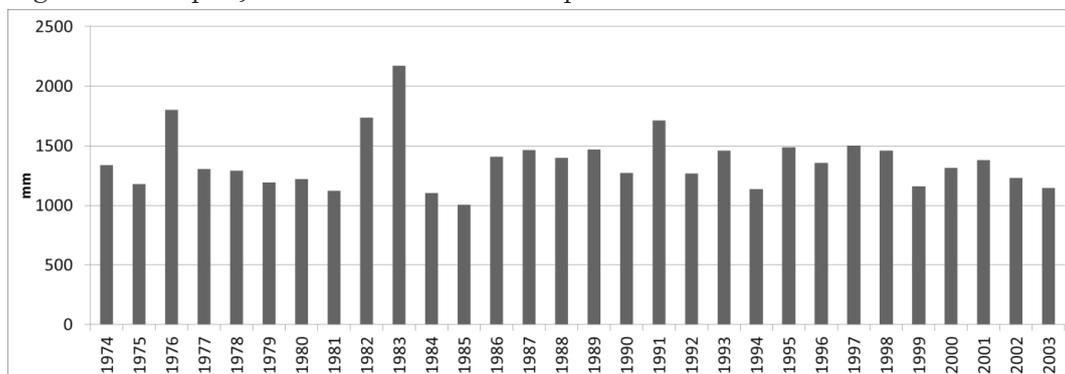
As maiores precipitações médias acumuladas anuais foram observadas nos anos de 1976, 1982, 1983 e 1991, com valores acima de 1.700 mm (Figura 4) e máximo de 2.171 mm no ano de 1983. Considerando os valores absolutos de precipitação anual, o maior valor registrado foi de 2.756 mm no posto E4-043, no município de Mairinque, no ano de 1983, coincidente com o ano mais chuvoso da série histórica. A tabela 2 apresenta um resumo estatístico dos dados dos postos pluviométricos avaliados.

Figura 3 - Normais climatológicas de temperatura (1978 a 2012) e precipitação (1974 a 2003)



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

Figura 4 - Precipitação média anual acumulada para a série histórica (1974 a 2003) na BHS



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

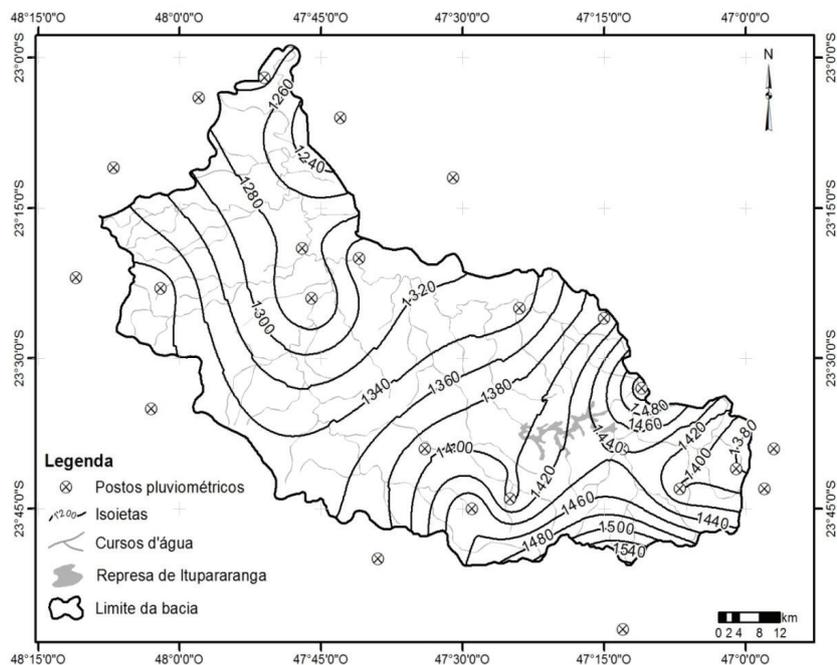
A precipitação acumulada anual (Figura 5), gerada a partir dos dados dos postos pluviométricos, aponta a diminuição dos volumes de chuva da cabeceira, onde a precipitação ultrapassa 1.500 mm, em direção ao exutório da bacia, com lâmina acumulada inferior a 1.300 mm, ou seja, uma redução de aproximadamente 15%. Esta é uma informação importante para a gestão dos recursos hídricos na bacia, pois as cabeceiras

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de precipitação para os postos pluviométricos analisados (período de 1974 a 2003)

Id. Posto	Município	Precipitação (mm)				
		Média	Mediana	Máxima	Mínima	Desvio Padrão
E4-120	Tietê	1.185	1.137	2.126	708	288
E5-062	Tatuí	1.372	1.374	2.184	983	280
E4-026	Tatuí	1.248	1.267	1.881	807	242
E4-020	Tatuí	1.280	1.241	1.904	826	253
E4-128	Sorocaba	1.327	1.254	2.343	889	308
E4-025	Salto de Pirapora	1.377	1.382	2.209	782	307
E4-118	Porto Feliz	1.291	1.240	1.921	858	255
E5-063	Porangaba	1.340	1.365	2.018	877	271
E4-028	Pilar do Sul	1.358	1.362	1.883	697	272
E4-130	Piedade	1.466	1.477	2.388	902	305
E4-001	Piedade	1.390	1.371	2.225	989	292
E4-010	Pereiras	1.276	1.235	2.091	642	294
E4-043	Mairinque	1.398	1.319	2.756	968	359
E4-041	Mairinque	1.519	1.517	2.481	938	305
E4-050	Laranjal Paulista	1.300	1.239	1.856	934	223
E5-015	Itapetininga	1.374	1.341	1.985	942	245
E4-019	Iperó	1.312	1.276	2.054	884	273
E4-131	Ibiúna	1.400	1.389	2.232	874	276
E4-116	Ibiúna	1.725	1.680	2.700	1.198	384
E4-047	Ibiúna	1.437	1.379	2.421	873	322
E5-027	Guareí	1.361	1.341	2.054	1.047	215
E3-034	Cotia	1.338	1.282	2.047	960	254
E3-027	Cotia	1.394	1.360	2.171	955	282
E4-012	Cotia	1.384	1.327	2.174	972	245
Média		1.368	1.326	2.171	1.003	243

Fonte: Abreu; Tonello (2015).

Figura 5 - Precipitação média acumulada na bacia hidrográfica do rio Sorocaba, São Paulo



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

são áreas fundamentais para a recarga hídrica do solo. Além disso, o maior reservatório de água da BHS, a represa de Itupararanga, está localizado na porção da bacia com maior concentração de chuvas.

Os resultados do balanço hídrico climatológico podem ser observados na tabela 3 e nas figuras 6 e 7. A CAD adotada para toda a área de estudo foi de 100 mm; a precipitação média acumulada anual foi de 1.368 mm, enquanto que a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR) foram, respectivamente, de 979 e 977 mm.ano⁻¹. Nota-se que apenas nos meses de abril e agosto a ETP e a ETR foram maiores que a precipitação (P) acumulada no mês, resultando numa variação negativa no armazenamento de água no solo. Ao longo do ano hidrológico, apenas os meses de abril e agosto apresentaram deficiência

hídrica de 1 mm, enquanto que os demais meses apresentaram excedente hídrico, com o valor máximo de 106 mm em janeiro, e total de 392 mm.ano⁻¹, o que corresponde a, aproximadamente, 29% da precipitação média anual. Devido à disponibilidade de água pela precipitação, a ETR foi igual à ETP em todos os meses do ano, exceto em abril e agosto.

Ao se admitir o excedente hídrico de 392 mm.ano⁻¹ e a área total da BHS de 5.273 km², obtém-se um volume aproximado de 2 x 10⁹ m³.ano⁻¹ (65,5 m³.s⁻¹) de água que escoia pela bacia até o seu exutório ou contribui para a recarga dos aquíferos. Considerando a população urbana e rural dos 20 municípios que possuem sede na bacia que, segundo o censo 2010 do IBGE é de 1.291.629 habitantes, obtém-se uma disponibilidade *per capita* de 1.600 m³.hab⁻¹. ano⁻¹. Salienta-se que todo o excedente

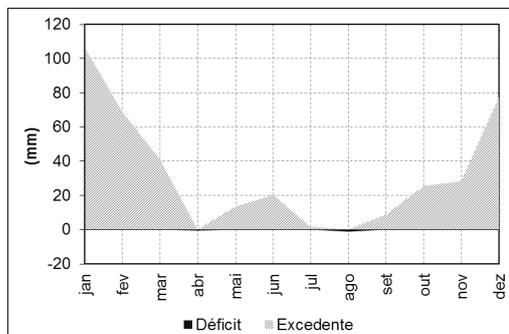
Tabela 3 - Resultado do balanço hídrico climatológico na BHS – 1974 a 2003

Mês	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	ARM (mm)	Δ ARM (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
jan	224	118	106	100	0	118	0	106
fev	177	109	69	100	0	109	0	69
mar	150	108	41	100	0	108	0	41
abr	72	83	-11	90	-10	82	-1	0
mai	81	57	24	100	10	57	0	14
jun	64	43	20	100	0	43	0	20
jul	46	45	2	100	0	45	0	2
ago	40	55	-15	86	-14	54	-1	0
set	87	64	23	100	14	64	0	9
out	111	86	26	100	0	86	0	26
nov	126	98	28	100	0	98	0	28
dez	190	113	77	100	0	113	0	77
Total	1.368	979	-	-	-	977	-2	392

Fonte: Abreu; Tonello (2015).

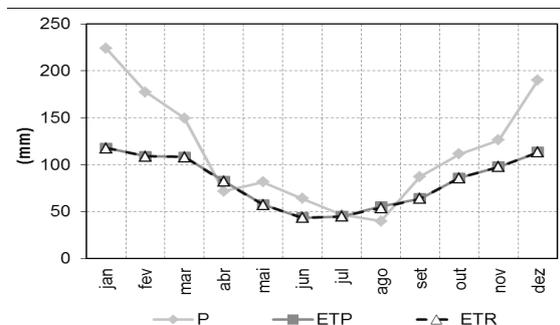
Nota: P: precipitação; ETP: evapotranspiração potencial; ARM: armazenamento de água no solo; Δ ARM: variação do armazenamento de água no solo; ETR: evapotranspiração real; DEF: déficit hídrico; EXC: excedente hídrico

Figura 6 - Extrato do balanço hídrico mensal



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

Figura 7 - Balanço hídrico normal mensal



Fonte: Abreu; Tonello (2015).

hídrico foi contabilizado na estimativa de disponibilidade da bacia, sem considerar o volume necessário para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, assim como não foram abordadas as características de qualidade da água, as quais limitam o seu uso

de acordo com as finalidades, e as demandas dos diversos setores usuários.

De acordo com o índice de criticidade de recursos hídricos proposto por Falkenmark (1989, in BROWN; MATLOCK, 2011), o qual considera a disponibilidade *per capita*, a

BHS está na situação de estresse hídrico, cuja disponibilidade é inferior a $1.700 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. E caso não sejam tomadas medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, esse cenário tende a piorar, devido ao crescimento populacional na bacia que, entre 2000 e 2010, apresentou taxa média de 19% (estimado com base nos dados dos censos de 2000 e 2010 do IBGE (2014)), o que causaria maiores demandas e pressões sobre os mananciais.

O relatório de situação da bacia, publicado pelo CBH-SMT (2013), indica que, para toda a UGRHI 10, onde está inserida a BHS, a disponibilidade *per capita* média é de $1.786 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. Portanto, conforme os resultados obtidos pela metodologia aplicada, a BHS apresenta disponibilidade inferior ao da unidade de gerenciamento na qual está inserida. Dessa maneira, é de suma importância a continuidade dos estudos das características hidrológicas e demais variáveis que influenciam na disponibilidade de água para a BHS, de forma a contribuir para a gestão dos recursos hídricos e garantir o abastecimento de toda a população e demais usuários.

Conclusões

O balanço hídrico climatológico, na bacia hidrográfica do rio Sorocaba, indica um

excedente hídrico anual de 392 mm, o que corresponde a $2 \times 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ($65,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), considerando-se a área de drenagem de 5.273 km^2 . Ocorrem duas estações bem definidas: uma quente e úmida, e outra seca e fria. As chuvas concentram-se no período entre outubro e março, com a precipitação de mais de 70% do acumulado anual. Especialmente, é possível observar uma diminuição de aproximadamente 15% dos volumes de chuva da cabeceira da bacia em direção ao seu exutório. As evapotranspirações potencial e real são semelhantes, respectivamente, de 979 e $977 \text{ mm} \cdot \text{ano}^{-1}$.

A partir da análise das informações, conclui-se que a bacia hidrográfica do rio Sorocaba está em situação de estresse hídrico, com disponibilidade *per capita* de $1.600 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. E, devido ao crescimento populacional, o aumento pela demanda e a degradação da qualidade da água, esse cenário tende a piorar, resultando no aumento da pressão sobre os mananciais, podendo estabelecer uma crise hídrica na bacia.

Por fim, recomenda-se a continuidade dos estudos referentes à disponibilidade e demandas na bacia, de forma a auxiliarem o planejamento e o uso sustentável dos recursos hídricos.

Referências

ANA. Agência Nacional de Águas. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Aperfeiçoamento em Gestão de Recursos Hídricos. 2005. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – 2012**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, ANA, 2013. 432 p.

AMORIM NETO, M. S. A. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955). **Comunicado Técnico Embrapa**, n. 34, p. 1-89, 1989.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água**. Brasília, DF, 2006. 84 p.

BROWN, A.; MATLOCK, M. D. A review of water scarcity indices and methodologies. University of Arkansas. **The Sustainability Consortium**, White Paper, nº 106, 2011.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. **Instituto Agrônomo**. 3. ed. Campinas: IA, 1971. 28 p. Boletim 116.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. **Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. 6 p. Comunicado Técnico.

CBH-SMT. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Sorocaba-médio Tietê. **Relatório de situação dos recursos hídricos**. UGRHI 10. Ano base 2012. 2013. 36 p.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo 2012**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, 2013. 370 p.

D'ANGIOLELLA, G.; SILVA, J. F. **Balanço hídrico climatológico do Brasil**. Disponível em: <<http://www.cbmet.com>>. Acesso em: 6 abr. 2014.

FALKENMARK, M. The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed. **Ambio**, v. 18, n. 2, p. 112-118, 1989.

FAVERO, O. F. **Paisagem e sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Sorocaba (SP)**. São Paulo: Dep. de Geografia, Fac. de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. Escala 1:1.000.000. Nota Explicativa. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. DAEE-IG-IPT-CPRM. São Paulo. 2005. 119 p.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, n. 22, v.63, p. 131-158, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. 2014. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 ago. 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa** – BDMet. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 5 dez. 2013.

IPT. Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10)**. São Paulo, 2006. Relatório Técnico nº 91 265-205.

LOUREIRO, E.; LISBOA, E. G. Comparação dos métodos de interpolação espacial aplicados a dados pluviométricos da região hidrográfica Tocantins-Araguaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011. P. 1-20.

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal Aquatics Science Technology**, n. 13, v. 1, p. 53-64, 2009.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n.5, p. 925-933, 2003.

MENDONÇA, P. V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., 1958, Madrid. **Anais...** Madri: [S.I.], 1958. p.271-282.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(trans)piração**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 183 p.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Acad. Bras. Cien./IEA-USP, 1999. 717 p.

ROGERS, P. P.; LLAMAS, M. R.; MARTÍNEZ-CORTINA, L. Water crises: Myth or reality? In: MARTÍNEZ-CORTINA, L.; ROGERS, P. P. LLAMAS, R. (Ed.). **Water Governance, water security and water sustaninability**. London: Taylor e Francis plc., 2006. p. 3-37. ISBN: 978-1-4398-3427-5

SMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo de 2006**. São Paulo, 2006. 498 p. (Informações Referentes a 2005).

SMA/IF. Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo, Instituto Florestal. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: IF, 2005. 199 p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **BHBRASIL – Balanço Hídrico Climatológico de 500 Localidades Brasileiras**. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/bhbrasil/Saopaulo>>. Acesso em: 12 abr.2014.

SIGRH. Sistema Integrado de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Banco de dados hidrológicos**. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

SOMLYODI, L.; VARIS, O. Freshwater under pressure. **International Review for Environmental Strategies**, v.6, n. 2, p.181-204, 2006.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, n. 22, v. 63, p.7-16, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC. **Apostila de hidrologia aplicada**. Curitiba: UTFPR, 2010.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n.9, p. 970-978, 2010.