

## Disponibilidade e demanda hídrica na bacia do rio Sorocaba, Brasil: um alerta à gestão dos recursos hídricos

### Water availability and demand in the Sorocaba river watershed, Brazil: an alert to the management of water resources

Marcio Costa Abreu<sup>1</sup>  
Kelly Cristina Tonello<sup>2</sup>

#### Resumo

Este trabalho teve como objetivo contribuir para o entendimento da dinâmica dos recursos hídricos na bacia do rio Sorocaba e estabelecer relações entre a disponibilidade e as demandas, fornecendo subsídios para a tomada de ações dos órgãos gestores. A disponibilidade hídrica foi calculada adotando-se a  $Q_{95\%}$  do tempo na série estudada no exutório da bacia. As vazões das demandas consuntivas foram obtidas com base nos dados dos processos de outorga e diferentes metodologias. Foram calculadas as demandas para o abastecimento humano (urbano e rural), dessedentação animal, industrial e irrigação. As demandas foram estimadas em  $11,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sendo a maior vazão destinada ao abastecimento humano ( $6,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), seguida pela irrigação ( $3,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e industrial ( $1,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), corroborando com as características urbanas e industriais da bacia. A demanda atual na bacia corresponde a 49% da disponibilidade hídrica baseada. Essa relação entre oferta e demanda aponta que a bacia encontra-se em situação muito crítica referente ao uso dos recursos hídricos, com potencial para a ocorrência de conflitos. E essa condição tende a piorar caso sejam consideradas as questões referentes à qualidade da água, a qual não foi objeto desse estudo, e que certamente restringiria a disponibilidade para determinados usos.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos. Hidrologia. Balanço hídrico. Usos consuntivos.

#### Abstract

We aimed to contribute to the understanding of the dynamics of water resources in the Sorocaba river watershed and to elucidate the relationships between water supply and water demand therein, thereby providing subsidies for governmental action plans. Water supply was calculated by the  $Q_{95\%}$  of the time in the studied series at the basin mouth. The flows of each consumptive demand were obtained from data on the permit-granting processes, by different methods. The demands for human consumption (urban and rural populations), animal feed, industrial use and irrigation were calculated. The demands were estimated at  $11.86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

<sup>1</sup> Serviço Geológico do Brasil/CPRM, Superintendência Regional de Goiás, Brazil. Serviço Geológico do Brasil/CPRM, Superintendência Regional de Goiás.

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, SP, Brazil. E-mail: [kellytonello@ufscar.br](mailto:kellytonello@ufscar.br)

Artigo recebido em: 08/06/2017. Aceito para publicação em: 01/10/2018.

<sup>1</sup>, with the highest flow for human supply ( $6.20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), followed by irrigation ( $3.59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) and industrial ( $1.83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), corroborating with the urban and industrial characteristics of the basin. The current demand in the basin corresponds to 49% of the water availability based. Such relationship between supply and demand indicates that the basin is at a highly critical state regarding the use of its water resources, thus showing potential for the occurrence of conflicts. The situation is even worse when we consider water quality issues, which were not object of our study, yet would certainly restrain water availability for certain uses.

**Keywords:** Consumptive use. Hydrology. Water balance. Water resources management. Environmental management.

## Introdução

A demanda global de água é em grande parte influenciada pelo crescimento populacional, pelas políticas de urbanização, segurança alimentar e energética, e por processos macroeconômicos, como a globalização do comércio e a alteração nos padrões de consumo, conforme destaca a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2015). 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.

A capacidade do planeta de sustentar a crescente demanda por água doce está sendo contestada, e não pode haver desenvolvimento sustentável sem que a relação entre demanda e oferta esteja em equilíbrio (UNESCO, 2015).

Com isso, a relação entre oferta e demanda de água se constitui em uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas críticas quanto à quantidade (Pereira Júnior e Nicácio, 2014) e qualidade (Queiroz e Oliveira, 2013). Essa avaliação permite indicar se os recursos hídricos disponíveis suportam as demandas desejadas (Branco, 2006).

Conforme destaca Branco (2006), em regiões com conflitos pelo usos recursos hídricos ou no caso de conflito potencial, é fundamental conhecer as disponibilidades disponíveis, de modo a melhor compatibilizar seus usos múltiplos e reduzir os riscos de um conflito pelo uso da água.

Segundo Schmitz e Bittencourt (2015) a grande maioria dos estudos econômicos não aborda as bacias hidrográficas como unidade de análise. Isso tem importantes desdobramentos, pois a disponibilidade de água é dada nas unidades geográficas e não em unidades administrativas. Portanto, é importante identificar as demandas referentes às bacias, bem como é essencial averiguar a oferta dos recursos hídricos numa perspectiva de bacias hidrográficas.

Estudos contratados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE (São Paulo, 2013) indicam que a Macrometrópole Paulista é uma região que apresenta crescente risco de enfrentar problemas de escassez de água ou ficar vulnerável a eventualidades climáticas, de seca ou de excesso de chuvas. Nessa área estão inseridas oito Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), que compõem a organização estadual para a gestão de recursos hídricos (São Paulo, 1994).

Tanto para o DAEE (São Paulo, 2013) como para Schmitz e Bittencourt (2015), há indicações de que a UGRHI 10, que compreende a bacia hidrográfica do rio Sorocaba e do Médio Tietê, encontra-se em situação de escassez hídrica, tornando-se uma área vulnerável para a ocorrência de uma crise de abastecimento.

Por esse motivo, o presente estudo tem como objetivo estimar e estabelecer relações entre as demandas e disponibilidades hídricas na bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS), totalmente incluída na UGRHI 10, de forma a contribuir para um melhor entendimento dessa relação e auxiliar na definição de políticas para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

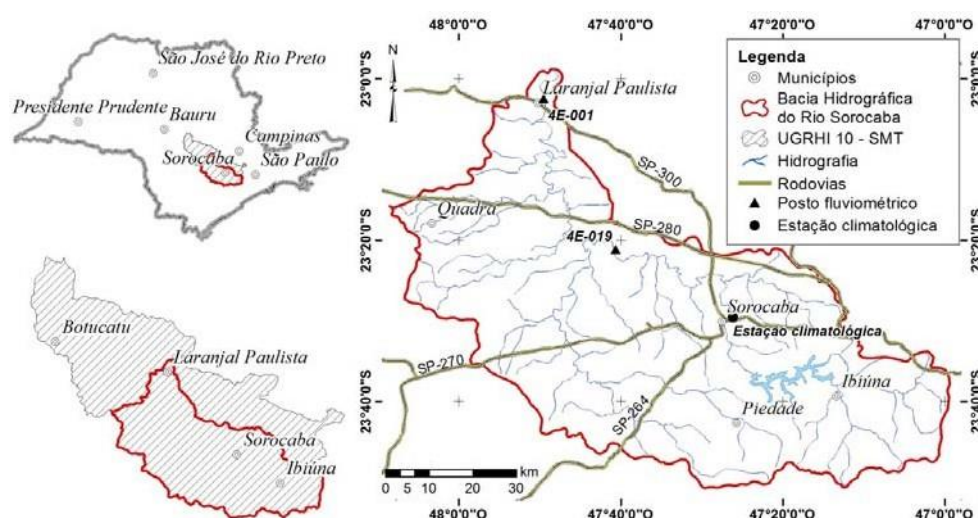
## Procedimentos metodológicos

A BHS está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo. Com 5.273 km<sup>2</sup> (IPT, 2006), abrange 28 municípios, dos quais 20 possuem sede em seu território. Os rios Sorocabuçu e Sorocamirim dão origem ao rio Sorocaba e contribuem com o Reservatório de Itupararanga, principal manancial da bacia, que regulariza o regime hidráulico do rio Sorocaba.

Os municípios inseridos na bacia apresentam uma economia diversificada, com destaque para as atividades industriais, localizadas principalmente no médio curso do rio Sorocaba, agropecuária no alto e baixo curso, além da área de serviços (CBHSMT, 2013; Salles et al., 2008, Abreu e Tonello, 2015). De acordo com IBGE (2014a), considerando-se os 20 municípios com sede na bacia, a população total é de 1.291.629, onde a população urbana representa 88% desse levantamento.

A disponibilidade hídrica (ou oferta) adotada neste trabalho foi de 24,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> que corresponde a Q<sub>95%</sub> obtida por Abreu e Tonello (2017), com base nos dados de vazão média diária do posto fluviométrico 4E-001, localizado no rio Sorocaba (Figura 1), para o período de 2006 a 2012.

**Figura 1.** Localização da bacia hidrográfica do rio Sorocaba (BHS) – SP e instrumentos utilizados no estudo.



Org.: do Autor, 2018.

Para a estimativa das demandas foram considerados os principais usos consuntivos da bacia, ou seja, aqueles onde há perdas de água entre o volume derivado (ou captado) e o volume de retorno (descartado), conforme definido no Plano Estadual de Recursos Hídricos (São Paulo, 1990). Portanto, foram considerados os usos para abastecimento humano (urbano e rural), dessedentação animal, industrial e irrigação.

Inicialmente foram calculadas as demandas com base na vazão outorgada na bacia, porém, devido à existência de derivações clandestinas, esta não representa a sua totalidade. Estudos conduzidos por São Paulo (2006) estimam que, aproximadamente, 27% dos poços tubulares existentes no território paulista são outorgados. Apesar de não existirem dados referentes às captações superficiais, acredita-se que a relação de clandestinidade seja inferior àquela das subterrâneas, entretanto, com um volume de retirada superior, na bacia hidrográfica do rio Sorocaba. Por esse motivo, foram estimadas as vazões de derivação com base em outras informações, a partir de metodologias amplamente utilizadas, que posteriormente foram comparadas aos valores obtidos por meio dos processos de outorga.

### Estimativa das demandas a partir dos dados de vazão outorgada

A partir dos dados dos processos de outorga de concessão de uso dos recursos hídricos disponibilizados em meio eletrônico pelo DAEE (São Paulo, 2015b), foram calculadas as vazões de retirada com base na vazão outorgada e no regime de operação, ambos descritos nos processos, conforme metodologia aplicada pela Agência Nacional de Águas - ANA (2012) e pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (Rio Grande do Norte, 2012a e 2012b).

Primeiramente, foi realizada uma consistência do banco de dados, eliminando-se as outorgas indeferidas e os processos em duplicata. Os

processos sem informação de vazão outorgada não foram utilizados nessa estimativa, enquanto que as lacunas existentes nas informações sobre regime de operação do sistema foram preenchidas com os dados apresentados na Tabela 1, que correspondem às médias dos registros que possuem a informação. Por exemplo, para uma captação para o abastecimento urbano, cujo processo não há informação de quantas horas por dia o sistema de bombeamento opera, foi adotado 13 horas, que corresponde à média de todos os processos para essa finalidade.

Com os dados consistidos e as lacunas preenchidas, foram calculados os volumes anuais de retirada para cada uma das outorgas concedidas (Eq. 1). Após esse cálculo, foram somados os volumes para cada uma das classes de uso, correspondendo ao volume total anual dessas classes.

$$Q_{uso} = Q_{out} \cdot h \cdot d \cdot m \quad (1)$$

Onde  $Q_{uso}$  é o volume total captado ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ );  $Q_{out}$  é a vazão indicada no processo de outorga ( $m^3 \cdot h^{-1}$ );  $h$  são as horas em que ocorre captação;  $d$  são os números de dias no mês em que o sistema opera;  $m$  a quantidade de meses no ano.

**Tabela 1.** Dados médios de operação dos processos outorgados.

Uso	Horas/dia	Dias/mês	Meses/ano
Abastecimento urbano	13	30	12
Abastecimento rural	10	30	12
Dessedentação animal	16	30	12
Industrial	13	28	12
Irrigação	7	21	12

Fonte: São Paulo (2015b)

Org.: do Autor, 2018.

### Abastecimento urbano e rural

O volume de água derivado dos mananciais com a finalidade de abastecimento humano foi estimado a partir do número de habitantes dos municípios com sede na bacia multiplicado pela taxa per capita de consumo. As populações urbana e rural foram obtidas no censo demográfico realizado no ano de 2010 (IBGE, 2014a).

Os perfis de consumo de água, principalmente da população urbana, variam em função de diversas particularidades tais como o número de habitantes, das características sociais e econômicas do município, abrangência da rede de abastecimento, entre outras. Por esse motivo, foram realizadas estimativas com base em dois cenários distintos para a demanda para abastecimento urbano na bacia. O primeiro utiliza as taxas per capita definidas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2005) para os municípios do Estado de São Paulo, que variam de acordo com as faixas populacionais (Tabela 2), adicionado ao volume perdido pelas redes de abastecimento.

**Tabela 2.** Coeficientes de retirada urbana per capita no Estado de São Paulo segundo a faixa de população do município.

<b>Faixa populacional</b>	<b>Consumo per capita (l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>)</b>
< 10.000	231
10.000 a 100.000	270
100.000 a 500.000	309
> 500.000	363

Fonte: ONS, 2005.

Org.: do Autor, 2018.

O segundo cenário utiliza a taxa média per capita dos municípios com sede na bacia do rio Sorocaba, calculada a partir dos dados de consumo de água micromedido pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2014) para o ano de 2012, também acrescido do volume perdido por fugas na rede de abastecimento (Tabela 3).

A estimativa de demanda para abastecimento urbano para toda a bacia hidrográfica do rio Sorocaba, foi então obtida pelas Eq. 2 e 3:

Para o cenário 1 utilizando os coeficientes per capita da ONS (2005):

$$Q1_{aburb} = \frac{popurbk_1P_{rede}365}{1.000} \quad (2)$$

Onde  $Q1_{aburb}$  é a demanda para abastecimento urbano ( $m^3.ano^{-1}$ );  $popurb$  a população urbana do município;  $k_1$  o coeficiente per capita segundo a faixa populacional ( $l.hab^{-1}.dia^{-1}$ );  $P_{rede}$  média das perdas da rede de abastecimento público dos municípios, estimada em 40% segundo dados do SNIS (Tabela 3)

Para o cenário 2 com base nos dados do SNIS:

$$Q2_{aburb} = \frac{popurbk_2P_{rede}365}{1.000} \quad (3)$$

Sendo  $Q2_{aburb}$  a demanda para abastecimento urbano ( $m^3.ano^{-1}$ );  $k_2$  de  $163 l.hab^{-1}.dia^{-1}$ , que corresponde ao coeficiente per capita médio dos municípios inseridos na bacia.

Para a estimativa de demandas para atendimento da população rural foi utilizada a taxa de derivação de  $125 l.hab^{-1}.dia^{-1}$  sugerida em ANA (2003a) para o Estado de São Paulo. A demanda total para abastecimento humano foi obtida através da soma da demanda da população urbana e da rural.

A estimativa da demanda para criação animal foi realizada através da metodologia apresentada no Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste do Brasil (SUDENE, 1980), amplamente usada em estudos realizados nas mais diversas regiões do Brasil (ANA, 2005; ANA, 2012; AGEVAP, 2011; Rio Grande do Norte, 2012a, 2012b). Essa



metodologia agrega a projeção dos rebanhos de animais de grande e médio portes em uma unidade denominada Bovinos Equivalentes para a Demanda de Água (BEDA), onde o consumo de água de cada espécie animal é ponderada em relação ao bovino (Eq. 4). O consumo médio por unidade BEDA adotado neste trabalho foi de 50 l.dia<sup>-1</sup>, conforme recomendado por ANA (2005), chegando-se a demanda para criação animal através das Eqs. 4 e 5.

$$\sum \text{BEDA} = \sum \text{Bovinos} + \sum \text{Equídeos} + \sum \text{Suínos} \times 0,25 + \sum \text{Caprinos} \cdot 0,2 \quad (4)$$

Onde Bovinos é a quantidade de bovinos e bubalinos; Equídeos a quantidade de equinos, asininos e muares; Suínos o número de suínos; Caprinos os caprinos e ovinos

$$D_{\text{BEDA}} = \sum \text{BEDA} * C_m * 365 / 1.000 \quad (5)$$

Sendo  $D_{\text{BEDA}}$  a demanda de água para o rebanho total (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>);  $C_m$  o consumo médio para 1 BEDA, adotado como 50 l.dia<sup>-1</sup>

Em relação às aves, que inclui galos, galinhas, frangos, pintos e codornas, a demanda foi obtida através da multiplicação do número de animais por uma determinada taxa per capita (Eq. 6). Na literatura são indicadas diversas taxas per capita para as aves, desde 0,20 l.dia<sup>-1</sup> (Lanna e Rocha, 2000), até 0,40 l.dia<sup>-1</sup> (ANA, 2005), sendo esta última adotada neste estudo, por ser um número mais conservador.

$$D_{\text{Aves}} = \sum \text{Aves} * C_{\text{aves}} * 365 / 1.000 \quad (6)$$

Onde  $D_{\text{Aves}}$  é a demanda de água total para aves (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>);  $\sum \text{Aves}$ : número total de aves e  $C_{\text{aves}}$ : taxa per capita, adotada como 0,40 l.dia<sup>-1</sup>.ave<sup>-1</sup>.

Os números de animais utilizados nos cálculos foram obtidos na Produção da Pecuária Municipal 2012 (IBGE, 2014b).

**Tabela 3.** Coeficientes de retirada urbana per capita por município segundo volume de água micromedido e perdas da rede de abastecimento na BHS.

Município	$Q_{\text{micromedida}}$ ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ) <sup>a</sup>	População total atendida <sup>a</sup>	$Q_{\text{percapita}}$ ( $\text{l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	Perdas <sup>a</sup> (%)
Quadra	80.480	823	268	27
Jumirim	135.250	2.889	128	29
Alambari	225.250	3.653	169	25
Sarapuá	494.940	8.254	164	(b)
Cesário Lange	722.980	13.319	149	28
Alumínio	620.620	12.853	132	50
Capela do Alto	855.730	15.164	155	46
Iperó	1.147.000	24.908	126	(b)
Araçoiaba da Serra	1.815.700	23.340	213	35
Laranjal Paulista	1.532.500	24.003	175	48
Piedade	1.537.300	28.206	149	44
Ibiúna	1.850.870	29.362	173	51
Salto de Pirapora	2.258.680	40.897	151	48
Mairinque	2.037.140	43.277	129	55
Cerquilha	2.657.570	40.223	181	29
Vargem Grande Paulista	1.912.470	34.129	154	(b)
Boituva	2.932.660	40.054	201	22
Tatuf	6.136.600	109.425	154	51
Votorantim	3.392.900	110.755	84	47
Sorocaba	44.518.370	587.477	208	37
<b>Média</b>			163	40

$Q_{\text{micromedida}}$ : vazão micromedida;  $Q_{\text{percapita}}$ : vazão per capita; a: dados fornecidos por SNIS (2014); (b) valores muito discrepantes, abaixo de 10% não utilizados na estimativa da média.

Org.: do Autor, 2018.

### Abastecimento industrial

A demanda industrial é a mais difícil de ser obtida pela falta de informações adequadas que permitam relacionar parâmetros como tipologia da indústria, produção industrial e consumo de água para cada localidade (ANA, 2005). Metodologias amplamente aplicadas para a estimativa da demanda industrial utilizam dados de número de empregados, tipologia

industrial, produtividade média do setor, valor da produção industrial, índices de consumo médio de água por linha de produção, volume de efluente produzido, fator poluente entre outros. Como essas informações não foram obtidas em nível municipal, adotou-se neste trabalho os dados de vazão outorgada como a demanda atual para essa finalidade.

### Irrigação

Os dados sobre irrigação no Brasil são escassos, principalmente no nível de desagregação municipal, tornando-se necessária, muitas vezes, a utilização de fórmulas empíricas e aproximações com base em poucos dados disponíveis para se obter os parâmetros necessários para o cálculo das demandas para esse uso. Por esse motivo, foram utilizadas diferentes metodologias na estimativa da demanda de recursos hídricos na agricultura, com dados de entrada distintos, que permitissem uma comparação dos resultados obtidos. A estimativa de demanda foi realizada inicialmente a partir dos dados de água utilizada para irrigação (Christofidis, 1999) e pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF (1989), multiplicados pela área irrigada na bacia.

Estudos realizados por Christofidis (1999) indicaram uma derivação média de água dos mananciais de  $9.721 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}.\text{ha}^{-1}$  para uso na irrigação no Estado de São Paulo, cujo valor foi utilizado nas estimativas (Eq. 7).

$$Q_1 = A_i \cdot Q_{\text{der}} \quad (7)$$

Onde  $Q_1$  é a demanda para irrigação ( $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$ );  $A_i$  a área irrigada na bacia (ha);  $Q_{\text{der}}$  vazão média anual derivada dos mananciais de  $9.721 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}.\text{ha}^{-1}$

Nos trabalhos da CODEVASF (1989) foram calculadas as demandas de água anual para diversos tipos de culturas estudadas (Tabela 4), as quais foram aplicadas nesse estudo (Eq. 8). Na ausência de dados para culturas

listadas na bacia, foram adotadas taxas de culturas consideradas semelhantes.

$$Q_2 = A_i \cdot D_{cul} \quad (8)$$

Onde  $Q_2$  é a demanda para irrigação ( $m^3 \cdot ano^{-1}$ );  $A_i$  a área irrigada na bacia (ha); e  $D_{cul}$  demanda anual estimada para diferentes culturas.

**Tabela 4.** Demanda hídrica anual.

Cultura	Demanda ( $m^3 \cdot ano^{-1} \cdot ha^{-1}$ )	Cultura	Demanda ( $m^3 \cdot ano^{-1} \cdot ha^{-1}$ )
Alho	4.870	Melancia	11.729
Arroz	19.862	Melão	11.896
Batata	6.176	Milho	6.057
Cebola	5.348	Soja	2.824
Feijão	4.573	Tomate	5.900
Fruticultura	9.679	Trigo	3.640
Hortaliças	10.288	Uva	10.624

Fonte: CODEVASF, 1989.

Org.: do Autor, 2018.

Devido à inexistência de dados em âmbito municipal, as áreas irrigadas tiveram que ser calculadas, admitindo-se que os municípios inseridos na bacia possuem a mesma relação área irrigada/área colhida para cada cultura que o Estado de São Paulo. Os dados de áreas colhidas e irrigadas para cada tipo de cultura em âmbito estadual foi obtido no censo agropecuário de 2006 do IBGE (2009). Já os dados de área colhida e área irrigada de cada cultura nos municípios foram levantados na Produção Agrícola Municipal para o ano de 2012 do IBGE (2014c). O cálculo da área irrigada foi dado pela Eq.9:

$$A_{com} = \frac{A_{estc}}{A_{colh}} \cdot A_{colmun} \quad (9)$$

Onde  $A_{icm}$  é a área irrigada da cultura no município (ha);  $A_{icest}$  é a área irrigada da cultura no Estado de São Paulo (ha);  $A_{colest}$  a área colhida da cultura no Estado de São Paulo (ha); e  $A_{colmun}$  área colhida da cultura no município (ha)

A outra metodologia aplicada avalia a demanda real de água pelos cultivos, que é função do balanço hídrico nas áreas irrigadas, dos aspectos inerentes às culturas e das condições de manejo aplicadas, conforme apresentado por ONS (2005). Para isso, foi estimada a evapotranspiração potencial de cada cultura (ETpc) e a precipitação efetiva na bacia. A ETpc foi calculada com base na evapotranspiração de referência (ETo), através da metodologia elaborada por Allen et al. (1998) e recomendado pela Food and Agriculture Organization - FAO.

A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith, por meio da Eq. 10, a partir dos dados de normais climatológicas para o período de 1978a 2012 da estação climatológica de Sorocaba, operada pelo INMET (2015).

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T + 273} \right) \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \mu_2)} \quad (10)$$

Onde ETo é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ );  $\Delta$  a declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  o saldo da radiação ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ );  $G$  fluxo de calor no solo ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ );  $\gamma$  constante psicrométrica ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $T$  temperatura média ( $^\circ\text{C}$ ),  $\mu_2$  velocidade do vento a 2 m ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $e_s$  a pressão de saturação de vapor da água à temperatura do ar (kPa);  $e_a$  a pressão real de vapor da água (kPa)

Os valores estimados de evapotranspiração de referência foram convertidos em evapotranspiração potencial da cultura, com a utilização do coeficiente de cultura médio ( $K_{cmed}$ ), apresentado na Tabela 5 e Eq. 11.

$$ET_{pc} = E_{To} \cdot K_{cmed} \quad (11)$$

Onde  $ET_{pc}$  é a evapotranspiração potencial da cultura ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );  $E_{To}$  a evapotranspiração de referência ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ); e  $K_{cmed}$  o coeficiente da cultura (adim).

Ressalva-se que não foram estimadas as demandas para o cultivo de hortaliças, atividade de grande importância econômica principalmente nos municípios no alto da bacia e que demanda quantidade significativa de água, devido à falta de informações necessárias para a aplicação dessa metodologia.

**Tabela 5.** Coeficientes de cultura ( $K_{cmed}$ ) utilizados na estimativa da evapotranspiração potencial da cultura –  $E_{tpc}$ .

Cultura	$K_{cmed}$	Cultura	$K_{cmed}$	Cultura	$K_{cmed}$
Alho <sup>1</sup>	1,00	Milho <sup>1</sup>	1,20	Limão <sup>1</sup>	0,80
Cebola <sup>1</sup>	1,05	Arroz <sup>1</sup>	1,20	Goiaba <sup>2</sup>	0,75
Tomate <sup>1</sup>	1,15	Cana-de-açúcar <sup>1</sup>	1,25	Tangerina <sup>1</sup>	0,80
Trigo <sup>1</sup>	1,15	Banana <sup>1</sup>	1,20	Manga <sup>1</sup>	1,00
Melancia <sup>1</sup>	1,00	Café <sup>1</sup>	0,95	Maracujá <sup>3</sup>	1,10
Mandioca <sup>1</sup>	1,10	Soja <sup>1</sup>	1,15	Caqui <sup>1</sup>	1,15
Batata inglesa <sup>1</sup>	1,15	Uvas <sup>1</sup>	0,85	Abacate <sup>1</sup>	0,85
Batata doce <sup>1</sup>	1,15	Maçã e pera <sup>1</sup>	0,95	Laranja <sup>1</sup>	0,80
Feijão <sup>1</sup>	1,15	Pêssego <sup>1</sup>	0,90	Figo <sup>4</sup>	1,00

Fonte: <sup>1</sup> Doorenbos e Pruitt (1977); <sup>2</sup> Bassoi et al. (2002); <sup>3</sup> Alencar (2000); <sup>4</sup> Hernandez (1994)

Org.: do Autor, 2018.

A precipitação efetiva é definida por Bernardo (2006) como parte da precipitação total que é utilizada pela cultura para atender a sua demanda evapotranspirométrica. Neste trabalho foi obtida através da metodologia estabelecida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos descrita por Doorenbos e Pruitt (1977), conforme Eqs. 12 e 13.

$$P_{ef} = \frac{P_{total}(125 - 0,2.P_{total})}{125} \quad \text{para } P_{total} \leq 250 \text{ mm} \quad (12)$$

$$P_{ef} = 125 + 0,1.P_{total} \quad \text{para } P_{total} > 250 \text{ mm} \quad (13)$$

A partir dos dados de evapotranspiração potencial da cultura, da precipitação efetiva e da área irrigada, foi estimada a demanda hídrica para a irrigação pela Eq. 14 (ONS, 2005):

$$Q = A_{icm} \cdot \left( \frac{ET_{pc} - P_{ef}}{E_a} \right) \cdot 10 \quad (14)$$

Onde, Q é o volume de retirada para irrigação ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ );  $A_{icm}$  área irrigada de cada cultura (ha);  $ET_{pc}$  a evapotranspiração potencial da cultura avaliada ( $\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ );  $P_{ef}$  a precipitação efetiva ( $\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$ ); e  $E_a$  a eficiência média de irrigação para a cultura.

Com base nos dados do IBGE (2009) o método de irrigação por aspersão foi considerado como representativo para toda a área avaliada. A eficiência de aplicação adotada neste trabalho foi de 0,71, proposta por Ramos e Pruski (2003).

### Análise e discussão dos resultados

Considerando-se a Q95% de  $24,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a disponibilidade hídrica per capita da bacia corresponde a  $588 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{hab}^{-1}$ , situando-a em condição de escassez hídrica, adaptando-se a classificação proposta por Falkenmark (1989). Esse índice reflete situações insustentáveis de conflitos de uso e de escassez crônica de água. Salienta-se ainda que não foram consideradas as características qualitativas dos recursos hídricos, as quais limitam o seu uso de acordo com as finalidades, o que provavelmente reduziria a disponibilidade da bacia, visto o aporte de carga poluidora nos cursos d'água.

Em relação às demandas da bacia, as estimativas realizadas com base na vazão outorgada indicam que o uso para abastecimento urbano é o que apresenta atualmente maior volume de retirada na bacia, com um total de 203.245.560 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que corresponde a uma vazão de 6,44 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> sendo 91% dessa vazão captada em fontes superficiais (Tabela 6).

Estudos realizados pelo IPT (2008) indicaram uma demanda para abastecimento urbano de 5,29 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> com base nos dados cadastrados de outorga. Os resultados atuais, considerando-se os dados disponíveis no ano de 2014, representam um crescimento de 22% na demanda para esse uso em relação ao valor estimado pelo IPT no ano de 2008. São Paulo (2013) estimou para toda a UGRHI 10 demanda de 6,09 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para essa finalidade.

**Tabela 6.** Demanda dos recursos hídricos por tipo de uso segundo dados de outorga.

Uso	Subterrânea		Superficial		Total		
	N	Q(m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	N	Q(m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	N	Q(m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
Urbano	373	18.517.444	54	184.728.116	427	203.245.560	6,44
Rural	135	937.850	92	6.749.018	227	7.686.868	0,24
Dessedentação animal	12	335.412	14	1.074.715	26	1.410.127	0,04
Industrial	378	22.383.410	80	35.176.647	458	57.560.057	1,83
Irrigação	40	851.864	299	34.749.908	339	35.601.772	1,13
Outros	35	566.467	44	1.583.437	79	2.149.904	0,07
<b>Soma</b>	<b>973</b>	<b>43.592.447</b>	<b>583</b>	<b>264.061.841</b>	<b>1.556</b>	<b>307.654.288</b>	<b>9,75</b>

N: número de outorgas; Q: vazão outorgada conforme o uso.

Org.: do Autor, 2018.

O uso industrial é o segundo maior em vazão, 1,83 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e o maior em número de outorgas (458), o que corrobora com a característica industrial dessa bacia. Esta finalidade é a que mais se utiliza dos recursos hídricos subterrâneos, mas ainda em volume inferior a fonte superficial (Tabela 7). A irrigação é o outro uso com demanda significativa na bacia, apresentando vazão de retirada de 1,13 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>. Os demais usos (rural, dessedentação animal e outros) correspondem a uma vazão de 0,35 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.



A vazão total outorgada é de  $9,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ou um volume anual de  $307.654.288 \text{ m}^3$ . As fontes subterrâneas correspondem a 63% das outorgas concedidas pelo DAEE, entretanto, em volume, representa apenas 14% do total, o que indica a baixa potencialidade dos aquíferos inseridos na bacia, conforme destacado por CBHSMT (2013), IPT (2008) e DAEE (2005). Em contrapartida, os recursos hídricos superficiais são as principais fontes de água para atendimento da demanda na bacia, com volume captado total de  $264.061.841 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$  (vazão de  $8,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

A demanda com a finalidade de abastecimento urbano (Tabela 7), a partir da vazão per capita média dos municípios calculada com base nos dados do SNIS de  $163 \text{ l} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$  considerando-se a população do censo do ano de 2010, corresponde a uma vazão de  $3,01 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ou um volume total anual de  $101.841.808 \text{ m}^3$ . Adotando-se os coeficientes indicados por ONS (2005), com base na população dos municípios, o resultado obtido foi 42% superior, com uma vazão de  $4,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $141.689.162 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

**Tabela 7.** Estimativa das demandas dos recursos hídricos por tipo de uso.

Uso	Demanda			Q <sub>outorgada</sub>
	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>			
Abastecimento urbano	Q <sub>1ab</sub>	3,01 <sup>1</sup>	4,21 <sup>2</sup>	6,44
	Q <sub>2ab</sub>	4,27 <sup>1</sup>	5,98 <sup>2</sup>	
Abastecimento rural		0,22		0,24
Dessedentação animal		0,24		0,04
Industrial		-		1,83
Irrigação	Q <sub>1irr</sub>	2,21		1,13
	Q <sub>2irr</sub>	3,59		
	Q <sub>3irr</sub>	1,63		

Q<sub>1ab</sub>: vazão derivada para abastecimento urbano com base nos coeficientes do ONS (2005); Q<sub>2ab</sub>: vazão derivada para abastecimento urbano segundo dados do SNIS (2014); Q<sub>1irr</sub>: demanda para irrigação conforme vazão derivada calculada por Christofidis (1999); Q<sub>2irr</sub>: vazão derivada para irrigação conforme coeficientes definidos por CODEVASF (1989); Q<sub>3irr</sub>: vazão derivada para irrigação conforme metodologia recomendada por Allen et al. (1998); 1 valor obtido considerando-se apenas os dados de população; 2 valor obtido considerando-se as perdas pela rede de abastecimento, estimada em 40%.

Org.: do Autor, 2018.

A essas vazões foram acrescentadas as perdas da rede de abastecimento, estimada em 40% com base nos dados do SNIS, obtendo-se, respectivamente, os valores de  $4,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $5,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , aproximando-se principalmente para o segundo caso, ao valor obtido para a vazão outorgada de  $6,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

A demanda estimada para abastecimento rural foi de  $0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , vazão muito próxima àquela calculada com base nos processos de outorga, que foi de  $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Em IPT (2008), a vazão para esse uso foi também estimada em  $0,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  com base nos dados de outorga.

Somando-se o maior valor de vazão obtido para abastecimento urbano ( $5,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) à vazão para abastecimento rural, obtém-se uma demanda total para abastecimento humano de  $6,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , que corresponde a 93% da vazão outorgada para essa finalidade ( $6,68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Ressalva-se ainda que é prática comum das empresas de saneamento fazerem uma reserva de águas nos pedidos de outorga, solicitando uma vazão maior que a necessária, para poder utilizar em caso de aumento da demanda. Essa prática pode justificar a diferença observada entre a demanda calculada e a vazão outorgada para essa finalidade.

A demanda dos recursos hídricos para dessedentação animal foi estimada em  $0,24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , o que corresponde a um volume de  $7.370.575 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ . Desse valor,  $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  são utilizados para dessedentação de bovinos equivalentes (BEDA) e  $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para as aves. Nota-se na Tabela 8, que a demanda estimada para esse uso é superior à vazão outorgada, o que pode indicar a existência de captações clandestinas.

Conforme abordado anteriormente, a demanda atual para indústria foi adotada como o valor da vazão outorgada, que corresponde a  $1,83 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Este valor é 16% superior ao estimado por IPT (2008), também a partir dos dados de outorga, o que se justifica por ser um dado mais novo e inclui um número maior de outorgas requeridas.

Quanto às demandas para as diferentes culturas (Tabela 8), foram obtidas vazões de  $2,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  aplicando-se os dados da CODEVASF (1989),

3,59 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> com base em Crhistofidis (1999) e 1,63 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> pela ONS (2005). Todos os resultados obtidos foram superiores à vazão outorgada, de 1,13 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

Apesar de representar valores acima da vazão cadastrada, as estimativas pelos métodos utilizados são inferiores aos resultados apresentados pelo IPT (2008), que obteve uma demanda de 7,56 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para essa finalidade. A Opertec Engenharia (2008) realizou um cadastramento de irrigantes no alto curso da bacia do rio Sorocaba, onde chegou a uma demanda de 1,94 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para uso na irrigação.

Parte dessa diferença observada provavelmente corresponde ao cultivo de hortaliças, que é uma atividade bastante representativa na bacia, mas que não foi possível realizar as estimativas devido à falta de informações para aplicação das metodologias utilizadas.

Devido às disparidades entre as demandas estimadas para o uso na irrigação neste trabalho e nos estudos de IPT (2008) e Opertec Engenharia (2008), recomenda-se o cadastramento dos irrigantes e o cálculo das demandas para essa finalidade para toda a bacia, para se obter a vazão de derivação mais próxima a real.

A partir dos resultados alcançados neste estudo, adotando-se de forma conservadora as maiores vazões de derivação obtidas para cada um dos usos analisados, chega-se a uma demanda atual de 11,86 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> na BHS, 22% superior a 9,75 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> obtida a partir dos dados de outorga. Admitindo-se a Q<sub>95%</sub> como a disponibilidade total da bacia, com 24,1 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, a demanda atual de 11,86 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> representa 49% da oferta hídrica. Esta relação entre oferta e demanda aponta que a bacia encontra-se em situação muito crítica, adotando-se o indicador definido por ANA (2005).

**Tabela 8.** Demanda hídrica das culturas na BHS.

Cultura	Área colhida	Área irrigada	Q1 <sub>irr</sub>	Q2 <sub>irr</sub>	Q3 <sub>irr</sub>
	ha		m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup>		
Figo	5	1	14.070	14.131	3.100
Laranja	853	248	2.400.416	2.410.833	146.706
Feijão	2.883	1.692	7.736.216	16.445.169	6.650.480
Milho	24.108	4.362	26.422.207	42.405.527	20.378.143
Cana de açúcar	19.750	3.068	18.582.096	29.822.775	16.849.353
Mandioca	903	39	400.188	381.510	127.658
Melancia	552	86	1.013.386	839.894	184.263
Banana	25	2	15.207	15.273	7.339
Limão	35	9	86.777	87.153	5.304
Tomate	379	258	1.523.475	2.510.119	1.015.100
Maracujá	27	20	195.949	196.800	65.852
Tangerina	102	23	218.648	219.597	13.363
Uva	187	66	697.514	638.228	60.939
Soja	1.559	224	633.660	2.181.234	882.098
Arroz	95	62	1.237.113	605.477	290.964
Trigo	510	258	939.942	2.510.212	1.052.619
Abacate	26	3	24.525	24.632	2.352
Café	372	47	483.011	456.391	81.277
Caqui	159	22	213.034	213.958	86.525
Goiaba	4	2	23.799	23.902	1.247
Pera	5	3	29.330	29.458	5.246
Alho	2	1	6.386	12.747	2.797
Batata doce	53	47	291.724	459.173	185.691
Batata inglesa	362	323	1.992.533	3.136.239	1.268.305
Cebola	788	760	4.065.656	7.390.098	1.999.175
Pêssego	37	25	237.928	238.961	32.686
Maçã	15	9	87.991	88.373	15.738
Manga	4	0,4	3.773	3.789	831
<b>Total</b>	<b>53.800</b>	<b>11.662</b>	<b>69.576.555</b>	<b>113.361.652</b>	<b>51.415.152</b>
	<b>Total m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></b>		<b>2,21</b>	<b>3,59</b>	<b>1,63</b>

Q1: com base nas demandas médias indicadas por CODEVASF (1989); Q2: utilizando a demanda média apresentada por Christofidis (1999); Q3: demanda hídrica calculada pelo método proposto por ONS (2005).

Org.: do Autor, 2018.

Se para a disponibilidade for adotada a Q<sub>7,10</sub> obtida pelo IPT (2008) a partir dos dados de vazão, de 11,85 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, a demanda da bacia é praticamente igual a oferta. Admitindo-se essa relação, a bacia pode ser considerada crítica pela autoridade outorgante, segundo a legislação paulista que estabelece essa classificação para quando as vazões captadas superem em 50% a vazão Q<sub>7,10</sub>.

Portanto, todos os cenários discutidos indicam que a BHS já está em situação crítica em relação ao balanço entre oferta e demanda, necessitando que sejam tomadas ações para o uso sustentável dos recursos hídricos.

Ressalva-se que não foram estimadas as demandas para o cultivo de hortaliças, atividade de grande importância econômica principalmente nos municípios no alto da bacia e que demanda quantidade significativa de água, devido à falta de informações necessárias para a aplicação dessa metodologia.

### Considerações Finais

A bacia hidrográfica do rio Sorocaba encontra-se em condição de escassez hídrica pela avaliação dos registros de vazão da  $Q_{95\%}$  no exutório da bacia. A demanda hídrica atual foi estimada em  $11,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  admitindo-se, de forma conservadora, as maiores vazões calculadas para os diversos fins. Dessa maneira, as demandas representam 49% da disponibilidade hídrica da bacia, situando-a em situação muito crítica. A maior demanda foi estimada para o abastecimento urbano, seguida do uso industrial e irrigação. Os recursos superficiais correspondem a maior parcela da disponibilidade, assim como é o mais utilizado para o atendimento dos usuários.

Salienta-se que nesse estudo são consideradas as questões referentes à ordem quantitativa dos recursos hídricos na bacia, não sendo abordadas as características qualitativas da água, que podem restringir o seu uso para diversas finalidades. Recomenda-se a elaboração e disponibilização de cadastro de usuários e o cadastramento dos irrigantes na bacia, para um melhor planejamento e estimativa do uso dos recursos hídricos.

## Referências

- ABREU, M.C.; TONELLO, K.C. Estimativa do balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Sorocaba – São Paulo. **Ambiência**, v.11, n.3, 2015, p. 513-527.
- ABREU, M.C.; TONELLO, K.C. Avaliação dos Parâmetros Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Sorocaba/SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 2017, p.99-109.
- AGEVAP. Agência da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Bacia do Rio Paraíba do Sul: subsídios às ações de melhoria da gestão**. Resende, 2011.
- ANA. Agência Nacional De Águas. **Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água no documento “Base de referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos”**. ANA, Brasília, 2003.
- ANA. Agência Nacional De Águas. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. ANA, Brasília, 2005.
- ANA. Agência Nacional De Águas. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Natal**. ANA, Brasília, 5 vols., 2012
- ALENCAR, C. M. **Consumo de água do maracujazeiro amarelo (Passiflora edulis Sims. F. flavicarpa Deg.)**. 2000. 49 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: [s.n.], (FAO Irrigation and drainage paper 56). 1998.
- BASSOI, L.H.; TEIXEIRA, A.H.; SILVA, J.A.M.; SILVA, E.E.G.; RAMOS, C.M.C.; TARGINO, E.L., MAIA, J.L.T.; FERREIRA, M.N.L.; SEDIYAMA, G.C. Parâmetros para o manejo e irrigação da goiabeira no Vale do São Francisco. **Anais do Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola**, 31., Salvador, p. 1035-1038, 2002.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006.
- BRANCO, O. E. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade**. 2006. Disponível em: <  
<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hidrica.pdf>>. Acesso em 18 ago. 2015.
- CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: CDS-UnB, 1999.
- CBHSMT. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba-Médio Tietê. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos. UGRHI 10**. Ano base 2012, 2013.
- CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento Dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Plano diretor para o desenvolvimento do Vale do São Francisco – PLANVASF: síntese**. Brasília, DF, 1989.
- DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto Geológico. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: nota explicativa**. São Paulo: 2005. Escala 1:1.000.000.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: [s.n.], 1977. (FAO Irrigation and drainage, paper 24).

- FALKENMARK, M. The massive water scarcity threatening Africa – why isn't it being addressed. **Ambio**, Stockholm, v. 18, n. 2, p. 112-118. 1989.
- HERNANDEZ, F. B. T. Resposta da figueira (*Ficus carica L.*) ao uso da irrigação e nitrogênio na região de Ilha Solteira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 99-104. 1994.
- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 63, n. 22, p. 131-158. 2008.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10)**. Relatório Técnico nº 91 265-205. IPT, São Paulo, 2006.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da Federação, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2014a.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2012**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2014b.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 ago. 2014c.
- INMET. Instituto Nacional De Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa - BDMET**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 17 jun. 2015.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Plano de bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10): revisão para atendimento da Deliberação CRH 62**. IPT, São Paulo, 2008.
- LANNA, A. E.; ROCHA, J. **Estudos para a cobrança de água no Estado do Piauí: Relatório parcial**. Teresina: SEMAR, 2000.
- Opertec Engenharia. (2008). **Prestação de serviços de cadastramento de irrigantes e caracterização dos usos da água na agricultura e pecuária, na bacia hidrográfica da UHE de Itupararanga, no Alto Rio Sorocaba, no Estado de São Paulo**. [S.l.: s.n.] (Relatório Final).
- PEREIRA JÚNIOR, L. C.; NICÁCIO, P. P. S. Demanda hídrica para irrigação por pivôs centrais no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 34, n. 3, 2014, p. 443-463.
- QUEIROZ, A. T.; OLIVEIRA, L.A. Relação entre produção e demanda hídrica na bacia do rio Uberabinha, estado de Minas Gerais, Brasil. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 25 (1), 2013, p.191-204.
- RAMOS, M.M.; PRUSKI, F.F. **Subprojeto 4.3 - quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na Bacia do São Francisco**. In: ANA/GEF/PNUMA/OEA. Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Relatório final. Viçosa, MG, 2003, 190 p.
- RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral norte à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Norte)**. Governo do Rio Grande do Norte, Natal, 2 vol., 2012a.

- RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Estudos hidrogeológicos para a orientação do manejo das águas subterrâneas do litoral sul à Região Metropolitana de Natal (Bloco Litoral Sul)**. Governo do Rio Grande do Norte, Natal, 2 vol., 2012b.
- SALLES, M.H.D.; CONCEIÇÃO, F.T.; ANGELUCCI, V.A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F.J.M.; CARRA, T.A.; MONTEIRO, G.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B. Avaliação simplificada de impactos ambientais na bacia do Alto Sorocaba. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 10, n. 1, 2008, p. 6-20.
- SÃO PAULO. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Rede hidrológica básica do Estado de São Paulo**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 23 jun. 2015a.
- SÃO PAULO. **Pesquisa de dados dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.daee.sp.gov.br>>. Acesso em: 28 jun. 2015b
- SÃO PAULO. **Plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista, no Estado de São Paulo: sumário executivo**. São Paulo, 2013.
- SÃO PAULO. **Lei Estadual n. 9.034, de 27 de dezembro de 1994**. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/11964>>. Acesso em: 23 jun. 2015.
- SÃO PAULO. **Plano estadual de recursos hídricos: 2004/2007 – resumo**. São Paulo: DAEE. 2006.
- SÃO PAULO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1990.
- SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. **Previsão de demanda por água em regiões econômicas de escassez hídrica**. Disponível em: <<http://www.brsa.org.br/fotos/artigo1-2015-06-08-17-01-42.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.
- SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 04 dez. 2014.
- SUDENE. Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste**, 1980.
- WWAP. The United Nations. **World Water Development Report: Water for a Sustainable World**. Paris, UNESCO. 122p. 2015.