

# CAPÍTULO 29

## ESTUDO DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E DO BALANÇO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Manuel Enrique Gamero Guandique & Leandro Cardoso de Moraes

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Sorocaba, Sorocaba, Brasil.  
E-mail: enrique@sorocaba.unesp.br

### RESUMO

Os estudos relacionados com bacias hidrográficas são abrangentes e bastante disseminados no meio acadêmico, porém às vezes, muitos destes são complexos e específicos demais. Neste sentido, o objetivo deste capítulo é apresentar os assuntos relacionados às variáveis hidrológicas e às do balanço hídrico em bacias hidrográficas de forma que os leitores tenham condições de entender e aplicar os conceitos relacionados aos processos hidrológicos em bacias hidrográficas. São apresentados dados atualizados dos recursos hídricos em escala mundial e nacional, assim com valores do balanço hídrico. As variáveis hidrológicas apresentadas são a parte dos componentes do ciclo hidrológico terrestre representado pela vazão. Todos estes componentes são necessários para a elaboração de projetos e para a solicitação das licenças ambientais relacionadas com o uso dos recursos hídricos de uma determinada área representada pela bacia hidrográfica de interesse. Em relação ao balanço hídrico é apresentada a metodologia do *balanço hídrico de massa* que é uma metodologia simplificada, porém eficiente na determinação das variáveis do balanço hídrico calculado pelos valores de precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração e vazão (deflúvio).

## 1 INTRODUÇÃO

A água representa uma fonte essencial para a manutenção das funções vitais dos seres vivos, e para os seres humanos em particular. Atualmente, existe uma grande preocupação em relação a sua disponibilidade, em razão da deterioração das suas características qualitativas e quantitativas. O aumento acelerado da demanda de recursos hídricos é uma questão alarmante. Esta demanda tem sido evidenciada principalmente pelo crescimento da população, indústria, do setor responsável pela geração de energia elétrica e pela expansão da produção agrícola. O uso múltiplo da água provoca alterações na sua qualidade, influenciando assim, a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos principalmente em regiões urbanas densas ou com uso intensivo do tipo industrial e agrícola. Tudo isto ocorre porque a água tem um limite natural de autodepuração, resultante dos processos naturais de diluir e assimilar esgotos e resíduos. Ainda, essa água agora poluída, pode provocar danos à saúde humana pela transmissão de doenças, principalmente quando recebe cargas originadas de esgotos sem tratamentos. Portanto, se faz necessário e urgente a aplicação do tratamento de esgotos domésticos e industriais para alcançar os padrões desejáveis de qualidade para que haja a conservação dos recursos hídricos.

Os rios são sistemas fluviais dinâmicos, que contém uma determinada quantidade de água regulada pelo regime hidrológico da localização onde a bacia hidrográfica está inserida. Desta forma, a quantidade ou volume de água existente numa determinada região depende do balanço entre as entradas e as saídas da água que foram registradas numa determinada área. Assim, estudos do ciclo hidrológico dependem dessa interação entre os elementos meteorológicos, e das suas variações na escala temporal e espacial. Desta maneira, as bacias hidrográficas se apresentam como Unidades de Estudo que permitem utilizar a bacia hidrográfica como uma unidade de referência, para estudar suas diferentes características que servem como base para a gestão, planejamento e finalmente para a proteção dos recursos hídricos.

## 2 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o responsável pelos processos hidrológicos que se alternam continuamente, fazendo com que a água se recicle através dos processos de evaporação, condensação, precipitação, escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração, caminho por onde volta para a atmosfera, e assim, o ciclo acontece sucessivamente.

Durante os processos que ocorrem no ciclo hidrológico a quantidade e qualidade da água sofrem influências devido às características físicas (área, topografia, cobertura vegetal, clima, solo), químicas (esgotos industriais e domésticos, fertilizantes, pesticidas e alteração das rochas) e biológicas. Desta forma, as características de quantidade e qualidade da água são indissociáveis, o que dificulta muitas vezes o gerenciamento dos recursos hídricos do ponto de vista da legislação atual, já que na maioria das vezes a concepção jurídica não atende o aspecto do desenvolvimento tecnológico.

A água produzida no ciclo hidrológico apresenta uma distribuição irregular, espacial e temporalmente, influenciada sobretudo pelas características climáticas, geográficas e pelo uso e ocupação do solo. A água deve ser considerada finita e sua ocorrência como aleatória, e também, como recurso renovável e atualmente de grande valor econômico.

## 3 ÁGUA NO MUNDO

A água contida em nosso planeta costuma ser separada entre o balanço hídrico dos oceanos e o balanço hídrico terrestre. Na verdade o conteúdo de água é considerado somente na fase terrestre pela sua conseqüente utilização, principalmente, na agricultura, indústria e abastecimento público. Assim, a água existente na hidrosfera propriamente dita tem sido estimada por vários autores, dentre estes Shilomanov; Roddas (2003).

Na Tabela 1, pode-se observar que os valores da distribuição mostram que 96,5% de toda a água existente na Terra são de água salgada, formando os oceanos e mares, e somente 3,5% são de

água doce. De todo o volume de água, que é de 1.338 milhões de km<sup>3</sup>, apenas 0,007% está efetivamente disponível para atender a demanda do consumo pelos seres humanos, representado pelo valor de 0,27% de toda a água doce. Outro valor importante de ser analisado é o das reservas nas calotas polares e geleiras, da ordem de 68,7% de toda a água doce do planeta. Neste importante reservatório, o atual padrão climático tem provocado significativo aumento no derretimento das calotas e geleiras. Já na atmosfera, seu conteúdo é também relevante, pois concentra somente uma parte do total da água 0,001% que é responsável pela formação das precipitações, e portanto, do ciclo hidrológico. Outro importante reservatório é a água que mantém o solo úmido 0,001%, e finalmente o valor das águas subterrâneas que representam 1,7% do total da água.

Tabela 1: Distribuição da água na Hidrosfera

Fonte de água	Volume de água (km <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Água Doce (%)	Total de Água (%)
Oceanos e Mares	1.338.000	--	96,5
Calotas Polares	24.064	68,7	1,74
Água Subterrânea	23.400	--	--
Água Doce	10.530	30,1	0,76
Água Salgada	12.870	--	0,94
Umidade do Solo	16.5	0,05	0,001
Solos Congelados	300.0	0,86	0,022
Lagos	176.4	--	0,013
Água Doce	91.0	0,22	0,006
Água Salgada	85.4	--	0,006
Atmosfera	12.9	0,04	0,001
Pântanos	11.5	0,03	0,0008
Rios	2.12	0,006	0,0002
Biomassa	1.12	0,003	0,0001
<b>Total</b>	<b>1.386.000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: Shilomanov; Roddas (2003).

## 4 ÁGUA NO BRASIL

A Figura 1 apresenta a distribuição dos recursos hídricos e da população por região (ANA, 2009).

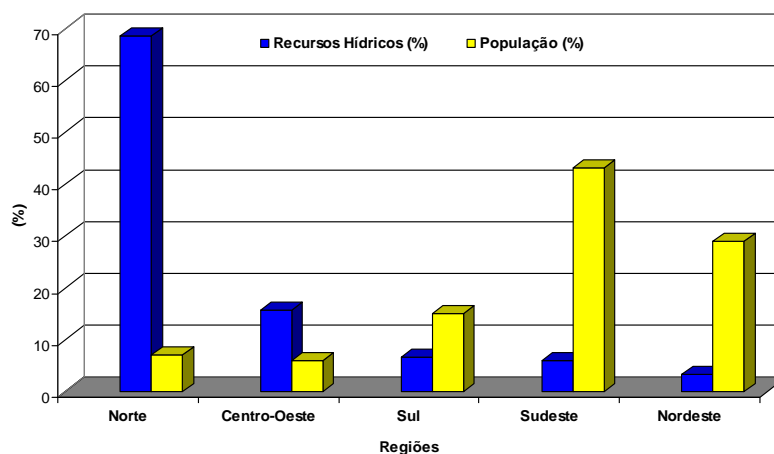


Figura 1: Distribuição dos recursos hídricos e da população por região.

Na Figura 1, observa-se que a região Norte é a região com maior volume de recursos hídricos (68,5%) e a menor população (7%), representando um excedente de água para esta região. Por outro lado, a região Sudeste apresenta somente 6% dos recursos hídricos disponíveis e em contrapartida 43% da população, que produzem condições críticas principalmente nas regiões metropolitanas mais importantes como a cidade de São Paulo. A região Sul também apresenta características semelhantes às do Sudeste com 6,5% dos recursos hídricos disponíveis, porém, em proporções

menores em relação à população (15%). A região Centro-Oeste apresenta condições de excesso dos seus recursos hídricos (15,7%) em relação à população (6%), finalmente a região Nordeste apresenta limitações dos seus recursos hídricos com apenas 3,3% do total brasileiro e uma população de 29%, provocando um cenário de escassez de água, muitas vezes, em condições extremas.

Em termos de distribuição dos recursos hídricos representado pela vazão média e disponibilidade de água para as bacias hidrográficas brasileiras, a Tabela 2 mostra os valores médios por região.

Analisando-se a Tabela 2, observa-se que o valor médio total do país é de 179.516 m<sup>3</sup>/s e sua disponibilidade de 91.071 m<sup>3</sup>/s. Verifica-se ainda, que o potencial da bacia Amazônica possui o maior valor de vazão média 132.145 m<sup>3</sup>/s e maior volume de água disponível 73.748 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado, a bacia do Atlântico Nordeste Oriental apresenta os menores valores entre todas as bacias analisadas com vazão média de 774 m<sup>3</sup>/s e maior volume de água disponível 91 m<sup>3</sup>/s.

Tabela 2: Valores de área, vazão média e disponibilidade hídrica

Bacias Hidrográficas	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade (m <sup>3</sup> /s)
Amazônica	3.869.953	132.145	73.748
Tocantins-Araguaia	921.921	13.799	5.447
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	2.608	320
Parnaíba	333.056	767	379
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	774	91
São Francisco	638.576	2.846	1.886
Atlântico Leste	388.16	1.484	305
Atlântico Sudeste	214.629	3.162	1.109
Atlântico Sul	187.522	4.055	647
Paraná	174.533	11.414	5.792
Uruguai	879.873	4.103	565
Paraguai	363.446	2.359	782
<b>Brasil</b>	<b>8.532.772</b>	<b>179.516</b>	<b>91.071</b>

Fonte: ANA (2009).

## 5 BACIA HIDROGRÁFICA

A partir da Lei 9.433/97, definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta divisão teve como objetivo principal preservar as características físicas, econômicas e sociais de cada bacia hidrográfica para que possam ser utilizadas no gerenciamento dos recursos hídricos entre os órgãos federais e estaduais envolvidos.

Os estudos sobre ecossistemas representados pelas bacias hidrográficas têm sido desenvolvidos para o melhor conhecimento do ciclo hidrológico e suas transformações no ambiente terrestre, com o intuito de obter resultados que auxiliem no manejo e planejamento desses ecossistemas. Para que os estudos nas bacias hidrográficas sejam representativos, todas as variáveis envolvidas no processo do ciclo hidrológico devem ser registradas por tempo suficientemente longo, para que se possam avaliar e quantificar as inter-relações entre essas variáveis.

Assim, a bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água, onde parte desta é perdida por evaporação e transpiração, sendo que, essa mesma área é composta de superfícies vertentes que fazem com que o restante dessa água, chamada de deflúvio (vazão), seja transportada à seção de saída da bacia.

## 6 BALANÇO HÍDRICO

Para a determinação da quantidade de água disponível como vazão numa determinada área de drenagem outras variáveis precisam ser analisadas.

Uma forma de determinação é a estimativa indireta envolvendo os valores dos processos de evapotranspiração real e de precipitação pluvial (chuva).

A evapotranspiração é de difícil medida ou estimativa, já que a instrumentação necessária para tal finalidade é específica e de custo elevado, podendo ser aplicado somente no âmbito da pesquisa. Ainda, temos que observar a escala temporal e espacial em que o processo ocorre. Assim, a evapotranspiração numa bacia hidrográfica é o componente do ciclo hidrológico que possui a maior incerteza. Em relação à ordem de grandeza ela é tão importante quanto à precipitação e ao deflúvio, pois em muitas regiões essa variável representa uma proporção da precipitação maior do que o deflúvio.

A evapotranspiração real (ETR) é o processo pelo qual a água é perdida para a atmosfera pela transferência da água por evaporação do solo e pela transpiração das plantas. Desta forma, alguns estudos em bacias hidrográficas tiveram que sofrer algumas simplificações nas suas metodologias para que as medidas e análises pudessem ser feitas, como é o caso do estudo do balanço hídrico de massa.

Em termos médios, o balanço hídrico de massa anual de uma bacia hidrográfica pode ser simplificado da seguinte maneira:

$$P - Q - ET \pm DS = 0 \quad (\text{Equação 1})$$

Para um ano hídrico temos a variação do armazenamento  $DS \gg 0$ , portanto a equação (1) fica:

$$ET = P - Q \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

P = precipitação média anual (mm)

Q = deflúvio médio anual (mm)

ET = evapotranspiração anual (mm)

E finalmente, o último processo a ser considerado é a análise da precipitação pluvial – chuva (mm). Existem várias formas de precipitação, entre as mais comuns temos a precipitação pluvial ou chuva, granizo, nuvens, orvalho, geada e neve.

Estudo da precipitação em uma bacia durante o ano é fator determinante para verificar a necessidade de irrigação, a capacidade de abastecimento doméstico e industrial e a capacidade de diluição/ concentração de poluentes no corpo de água. As características da chuva que interferem na formação do deflúvio são: a intensidade, duração, e frequência de ocorrência, a quantidade, a distribuição espacial e temporal e o tipo de chuva.

A precipitação apresenta duas características importantes que devem ser analisadas.

A altura pluviométrica, que é a altura de água precipitada (h, medida em mm). Trata-se, portanto, de uma medida pontual representativa da água precipitada medida no pluviômetro. Este valor medido relaciona a altura de água captada pelo pluviômetro em mm, através da razão entre o volume de água coleta em  $\text{cm}^3$  e a área de captação em  $\text{cm}^2$ , resultando numa altura de cm que é transformada multiplicando-se por 10 para obter milímetros de água (mm).

A outra característica é a intensidade da precipitação, que é a altura de água (h, mm) coletada na unidade de tempo.

A intensidade da chuva é medida no pluviógrafo que possui um sistema automático de armazenamento máximo de água de 10 mm, momento no qual o sistema libera essa água para o reservatório continuar a armazenar o volume de água e registrado num papel especial, o qual será lido posteriormente para determinar o valor da intensidade.

A relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, é expressa geralmente em mm/h ou mm/min.

No Brasil, a precipitação média anual é de 1.492 mm, variando de menos de 500 mm, na região semi-árida do Nordeste, a mais de 2.300 mm, na Amazônia (ANA, 2009).

A Figura 2 apresenta os valores das séries históricas de chuvas médias mensais para o período (1961-1990) para 2 municípios brasileiros (SENTELHAS et al., 1999). Inicialmente, pode-se observar a grande variabilidade espacial e temporal dos gráficos da Figura 2.

Nesta figura, a região Sudeste é representada pelo posto de Itu – SP e observa-se que o ano hídrico inicia-se em setembro e vai até agosto. Nesta bacia pode ser evidenciada a influência da Zona do Atlântico Sul (ZCAS) que traz vapor de água da região marítima do sul e se mistura com aquele produzido pela região amazônica produzindo valores elevados de chuva.

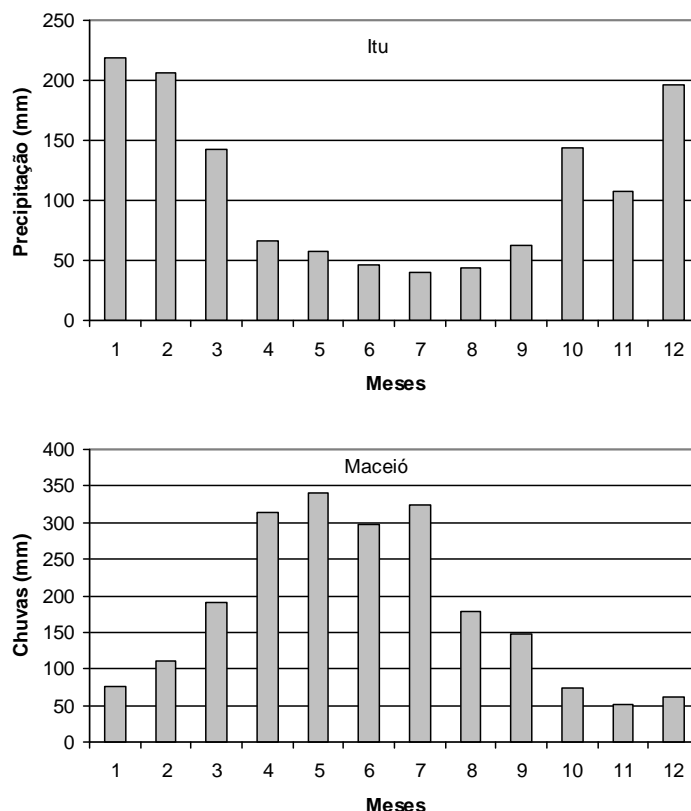


Figura 2: Série histórica de distribuição da chuva (1961-1990).

Em seguida, pode-se analisar o comportamento do posto de Maceió – AL onde os valores de chuva estabelecem o ano hídrico desde dezembro até novembro, concentrando as chuvas mais significativas nos meses do meio do ano.

Assim, a variabilidade espacial e temporal da chuva corrobora os dados da distribuição dos recursos hídricos no país, mostrando que a região Norte concentra 68,5% do total contra 3,3% que a região Nordeste (Figura 1).

A Tabela 3 e a Figura 3 apresentam as estimativas do Balanço Hídrico de Massa através da estimativa dos valores médios de chuva, evapotranspiração e deflúvio (escoamento) para todas as bacias hidrográficas brasileiras.

Analisando-se a Figura 3, verifica-se que a região Amazônica apresenta uma relação de 52% de evapotranspiração e 48% de escoamento em relação ao total de chuva. Isso significa que nesta bacia quase 52% do que choveu no período considerado foi transformado em evapotranspiração. Por outro lado na bacia do Atlântico Nordeste Oriental a precipitação foi quase na sua totalidade transformada em perdas por evapotranspiração 93% e apenas 7% em escoamento. Comparando-se os resultados anteriores, nota-se que na região Amazônica existem condições favoráveis para que ocorra uma grande disponibilidade de água, por outro lado, na bacia do Atlântico Nordeste Oriental, observa-se o contrário, razão pela qual a disponibilidade de recursos hídricos reflete a condição de escassez crônica e muitas vezes absoluta, segundo a classificação de

Beeckman (1999). Daí a importância das políticas de gerenciamento de recursos hídricos para tentar equacionar os problemas existentes e tentar resolvê-los.

Tabela 3: Balanço Hídrico de Massa

Bacias Hidrográficas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)	Evapotranspiração (mm)
Amazônica	3.869.953	2.239	1076	1.163
Tocantins-Araguaia	921.921	1.837	472	1.365
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	1.790	308	1.482
Parnaíba	333.056	1.117	72	1.045
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	1.218	86	1.132
São Francisco	638.576	1.037	141	896
Atlântico Leste	388.16	1.058	121	937
Atlântico Sudeste	214.629	1.349	467	882
Atlântico Sul	187.522	1.568	702	866
Paraná	174.533	1.511	410	1.101
Uruguai	879.873	1.785	745	1.040
Paraguai	363.446	1.398	205	1.193
Brasil	8.532.772	1.492	400	1.092

Fonte: Adaptado da ANA (2009).

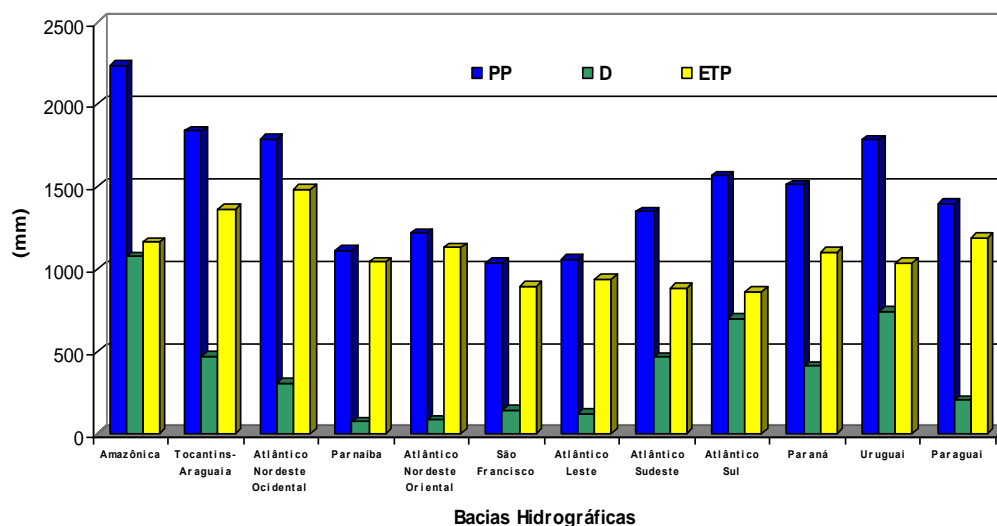


Figura 3: Balanço Hídrico de Massa para as bacias hidrográficas do Brasil. Representados pela precipitação: PP, deflúvio: D e evapotranspiração; ET.

A Tabela 4 e a Figura 4 apresentam as estimativas do Balanço Hídrico de Massa através da estimativa dos valores médios de chuva, evapotranspiração e deflúvio (escoamento) para uma microbacia hidrográfica em Cunha-SP (CICCO, 2004).

Na Tabela 4, verifica-se que os valores de evapotranspiração são inferiores 30,7% em relação aos da região Amazônica de 52% (Tabela 3). Por outro lado, nessa bacia o deflúvio é maior, da ordem de 69,3% em relação aos 48% nas mesmas condições da Amazônia. Estas diferenças evidenciam a influência dos fatores altitude e formação de chuvas orográficas na região da Serra do Mar, onde Cunha está inserida, com valores médios de chuva de 2205,5 mm, valores bem acima dos valores médios registrados no Estado de São Paulo, de 1377,0 mm (CERH, 2008).

## 7 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

A determinação da quantidade de água numa determinada bacia hidrográfica depende inicialmente da área considerada, do clima e das condições de uso e cobertura da terra que influenciam de forma direta o comportamento sazonal dos fluxos de água dentro da área analisada.

Tabela 4: Balanço Hídrico de Massa na bacia D em Cunha-SP

Ano hídrico	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)	Evapotranspiração (mm)
1983	2587,7	1828,2	759,5
1984	1848,0	1346,0	502,0
1985	3040,0	2722,4	318,0
1986	2371,8	1183,0	1188,8
1987	2560,4	1961,9	598,5
1988	2124,7	1592,1	532,6
1989	2377,8	1521,6	856,2
1990	1815,4	1198,8	616,6
1991	2255,7	1798,4	457,3
1992	1825,9	1247,2	578,7
1993	2027,8	1358,1	669,7
1994	2137,2	1428,8	708,4
1995	2153,3	1565,7	587,6
1996	2382,3	1725,1	657,2
1997	1769,3	760,7	1008,6
1998	2010,1	1212,5	797,6
Média	2205,5	1528,2	677,3

Fonte: Cicco (2004).

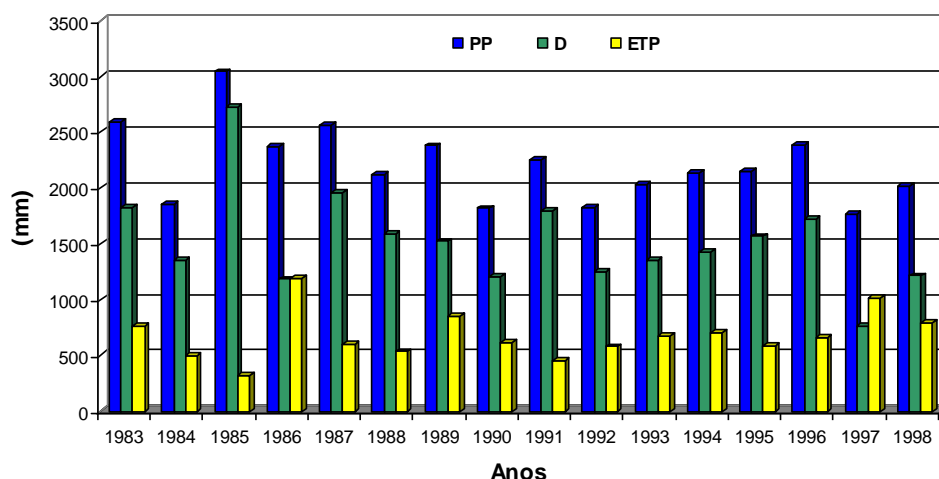


Figura 4: Balanço Hídrico de Massa na bacia D em Cunha-SP. Representados pela precipitação: PP, deflúvio: D e evapotranspiração; ETP.

Desta forma, quando analisamos a disponibilidade de recursos hídricos para uma bacia hidrográfica a estimativa de valores de referência se faz necessária.

O comportamento destes é aleatório, o que torna a sua análise mais complexa. Desta forma, o tratamento destes valores é realizado considerando-se intervalos de curto prazo e de longo prazo. Quando existem condições de medida dos valores com instrumentação em tempo real, tem-se a análise de curto prazo. Ou seja, a bacia hidrográfica possui equipamentos que permitem acompanhar os eventos como a chuva, o que permitirá utilizar um modelo de previsão na estimativa do comportamento da geração de vazão com base na chuva real.

Por outro lado, na estimativa de valores de longo prazo é necessária a utilização de valores que possuam séries históricas adequadas para determinar uma estimativa das probabilidades com que um evento pode ocorrer. Assim a determinação da capacidade de suporte hídrico e concomitantemente de condições de suporte à vida aquática, tem-se tornado prioritários nos estudos mais recentes de conservação e manutenção dos recursos hídricos.

As variáveis hidrológicas são controladas por inúmeros fatores em diferentes escalas, temporais e espaciais. Portanto, essas variáveis sofrem influências desde os tipos em escala regional como o clima e atividades antrópicas, ou em escala da bacia como o tipo de solo, uso e cobertura da terra, erosão e relevo, até os tipos em escala de microbacias onde as condições de contorno como



profundidade do canal, largura do canal, velocidade da água, variáveis de qualidade de água são mais facilmente monitoradas para a determinação dos habitats que serão mantidos nessas condições.

Variáveis hidrológicas como vazão natural, vazão média, vazão específica, vazão de permanência e vazão ecológica serão comentados a seguir.

## 8 VAZÃO NATURAL

Inicialmente temos que considerar que os valores de vazão gerados numa bacia hidrográfica deveriam representar condições de vazão natural, que é entendida como aquela que ocorre como resultado final da interação de todos os processos do ciclo hidrológico numa bacia hidrográfica, e que não sofreu interferência antrópica de nenhum tipo como barragens, bombeamentos, derivações, transposições de água. Todas essas interferências antrópicas influenciam em menor ou maior grau a disponibilidade dos recursos hídricos regionais ou locais de forma quantitativa e qualitativa.

## 9 VAZÃO MÉDIA

Um valor muito usado como referência para estimar a disponibilidade hídrica regional, a vazão média que pode ser estimada na escala diária, mensal ou anual. Pode-se considerar que a vazão média anual é obtida com base nos valores observados somente naquele período de anos estudados ou considerar a estimativa da vazão média do mês de fevereiro como aquela onde somente são considerados somente os valores dos meses de fevereiro do período escolhido.

A vazão média assume um valor importante na hora da análise final da disponibilidade hídrica numa determinada área e pode ser determinada através da equação abaixo:

$$Q_{\bar{x}} = \frac{\sum_{t=1}^n Q_t}{n} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $Q_{\bar{x}}$  é a vazão média;  $Q_t$  é a vazão no intervalo  $t$ ;  $n$  é número de intervalos em  $t$ .

Desta forma, podem-se considerar várias situações, a vazão média anual de um determinado local é a média diária de todos os valores do ano. Por outro lado, a vazão média de longo período é a média dos valores das vazões médias anuais ou a média das médias. A Figura 5 apresenta os valores de vazão média para uma série histórica de 38 anos (SIGRH, 2012).

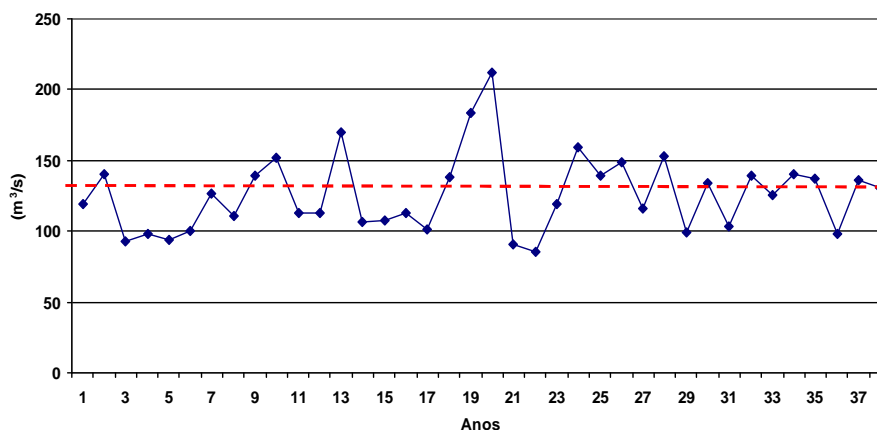


Figura 5: Vazão média anual posto 4E – 018, Sorocaba - SP (---- vazão média ). Fonte: SIGRH (2012).

## 10 VAZÃO MÉDIA PONDERADA

Outra maneira de tentar compreender melhor o comportamento aleatório da vazão num determinado local, recorre-se ao estudo da normalização da sua ocorrência, utilizando-se a

representação gráfica dos valores observados em relação à média do período, identificando-se desta forma, os desvios negativos e positivos. Observa-se que para estimar os valores da normalização, esta é realizada pelo cálculo do desvio-padrão em relação à média, padronizando os dados da vazão representados por  $Z = \text{variável padrão normalizada}$  ( $Z = \frac{X_i - M}{S}$ , onde  $X_i$  = valor da vazão,  $M$  = média aritmética do período e  $S$  = desvio padrão).

A estimativa da vazão média ponderada pode ser determinada através da equação abaixo:

$$Z = \frac{X_i - M}{S} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:  $Z$  = variável padrão normalizada;  $X_i$  = valor da vazão;  $M$  = média aritmética do período e  $S$  = desvio padrão).

Assim, anos anômalos são aqueles que apresentam o valor de  $Z$  superiores a 1 (anomalia positiva) e valores inferiores a -1 (anomalias negativas), desta forma, quanto maior a diferença em relação ao valor zero, maior a anomalia. A Figura 6 apresenta os valores de vazão média ponderada para uma série histórica de 58 anos.

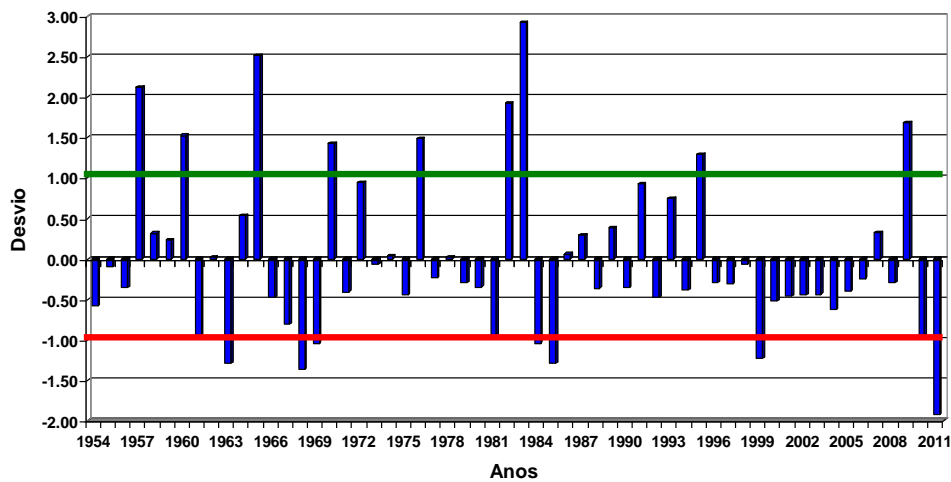


Figura 6: Vazão média ponderada (anomalia positiva – verde e anomalia negativa – vermelha), do posto 4E – 018, Sorocaba – SP. Fonte: SIGRH, 2012.

## 11 VAZÃO ESPECÍFICA

A vazão específica é a relação entre a vazão e a área da bacia hidrográfica. Serve como um indicador direto que permite compara o nível da produção de água entre bacias hidrográficas. A estimativa da vazão específica pode ser determinada através da equação abaixo:

$$Q_e = \frac{Q_m}{A_i} * 1000 \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:  $Q_e$  é a vazão específica média de longa duração ( $l/s.km^2$ );  $Q_m$  é a vazão média anual ( $m^3/s$ );  $A_i$  é a área da bacia hidrográfica ( $km^2$ ).

A Tabela 5 apresenta os valores da vazão média, vazão de permanência e vazão específica para as algumas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. Pode-se observar na Tabela 5 que a região de Bacia hidrográfica do Ribeira de Iguape apresenta o maior valor de vazão específica ( $30 l/s.km^2$ ) o que a torna a região com o maior potencial de disponibilidade hídrica do Estado de São Paulo. Por outro lado, tem-se a região da bacia hidrográfica Sorocaba Médio-Tietê neste caso, como a bacia com a menor disponibilidade hídrica, com  $9,0 l/s.km^2$ .

Tabela 5: Valores médios de vazão média, vazão de permanência e vazão específica

Bacias Hidrográficas	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Q7,10 (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Específica (l/s.km <sup>2</sup> )
Mantiqueira	675	22	7	32,5
Alto Tietê	5.868	84	20	14,3
Tietê - Sorocaba	11.829	107	22	9,0
Paraíba do Sul	14.444	216	72	14,9
Piracicaba	14.167	172	43	12,4
Ribeira Iguape	17.068	526	162	30,8
Baixada Santista	2.818	155	38	55,0

Fonte: CERH (2008).

## 12 VAZÃO DE PERMANÊNCIA

A necessidade de gerir a disponibilidade de recursos hídricos fez com que leis fossem promulgadas para tentar resolver o problema. No Brasil existe uma legislação que determina os valores de referência da vazão de permanência, com o objetivo de gerenciar os recursos hídricos através do instrumento da Outorga de Água, a Lei 9.433/97.

As vazões de permanência (Q90%, Q95%) foram determinadas através da análise de séries históricas nas diferentes regiões escolhendo os dados de uma determinada estação fluviométrica de referência numa seção do rio da bacia hidrográfica analisada. Desta maneira, adotou-se o valor de permanência de Q95%, ou seja, a vazão média que pode ser excedida ou igualada em 95% do tempo, e portanto, que representa a disponibilidade hídrica em condições médias. Ainda, esse valor pode ser utilizado como referência em relação ao potencial de energia firme de instalações hidrelétricas quando se utiliza o valor de Q90%. No Estado de São Paulo, existe o Sistema Integrado de Recursos Hídricos – SIGRH, que permite calcular a vazão de permanência utilizando a Regionalização Hidrológica, inserindo os valores de latitude, longitude e área da bacia. A outra forma de calcular a vazão de permanência é através da análise estatística que relaciona a vazão diária preferencialmente, e a probabilidade de ocorrência, Figura 7.

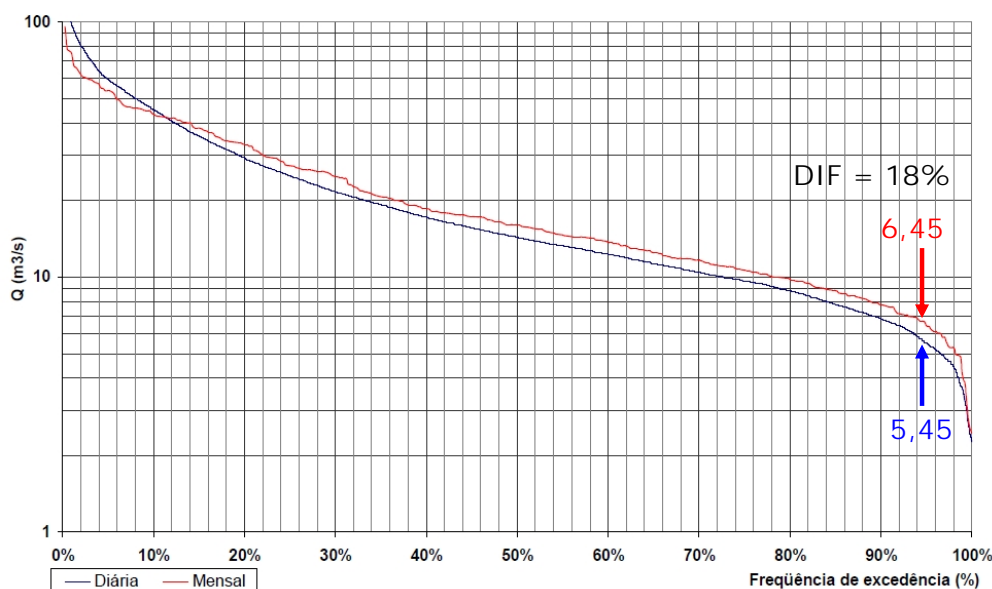


Figura 7: Curva de Permanência posto 4E – 018, Sorocaba - SP. Fonte: SIGRH, 2012.

Analisando-se a Figura 7, pode-se observar que para um tempo de Q95%, neste caso considerando-se uma escala mensal de análise a vazão Q95% é igual a 6,45 m<sup>3</sup>/s e de 5,45 m<sup>3</sup>/s para uma escala diária de medida, representando uma diferença entre as escalas de 18% maior na estimativa mensal. Portanto, nestas condições a vazão do rio na melhor hipótese de vazão atingiria 6,45 m<sup>3</sup>/s para 95% do tempo.

## 13 VAZÃO ECOLÓGICA

A vazão ecológica é definida como a vazão mínima necessária para manter uma quantidade de água suficiente para oferecer as condições da vida aquática num rio. Segundo o MMA/2000 estabeleceu como sendo a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos:

$$Q_e = \frac{Q_m}{A_i} * 1000 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:  $Q_e$  é a vazão específica média de longa duração;  $Q_m$  é a vazão média anual;  $A_i$  é a área da bacia hidrográfica.

Desta forma, neste aspecto específico a vazão ecológica, tem sido estudada sob vários tipos de metodologias. As mais utilizadas foram classificadas em: Métodos Hidrológicos, Hidráulicos, de Habitats, de Modelagem da Qualidade de Água, Regionais e Holísticos (BENETTI et al., 2003). Assim, no Brasil os métodos mais utilizados são os Métodos Hidrológicos, tendo como base o método da vazão de permanência de Q90% e Q95% (que indica a probabilidade de manutenção de valores de vazão em 90% ou 95% do tempo considerado) e especificamente, o método da vazão Q7,10 (é o valor de referência, que indica a probabilidade de ocorrência de 7 dias consecutivos da menor para um tempo de retorno de 10) vazão estabelecida pela legislação, portanto, verifica-se que esse valor adotado como referencial, não possui nenhuma base ecológica propriamente dita, e que a vazão ecológica utilizada por alguns Estados é determinada indiretamente, tendo como base critérios de Outorga de Água regionais como apresentado na Tabela 6.

Analisando-se a Tabela 6, pode-se observar que a determinação dos valores outorgáveis por Estado possui características regionais próprias que dependem da disponibilidade hídrica, e que portanto, a definição da vazão mínima necessária para manter as condições ecológicas mínimas à preservação da vida aquática dependem somente das características hidrológicas adotadas por cada um dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos numa determinada bacia hidrográfica.

Tabela 6: Valores referência das vazões de outorga de água superficial

Órgão Gestor	Vazão Máxima Outorgável	Legislação Vigente
DAEE (SP)	50% da Q7,10	Lei 9034/1994
IGAM (MG)	30% da Q7,10	Portaria 10/1998
SUDERHSA(PR)	50% da Q95	Decreto Estadual 4646/2001
SERLA (RJ)	50% da Q7,10	Portaria 307/2002
SEMARH (GO)	70% da Q95	Resolução 09/2004

Fonte: Adaptado da ANA (2009).

## 14 CONSIDERAÇÕES FINAIS: ESTUDO DE CASO

Considerando a aplicação dos conceitos relacionados às variáveis hidrológicas, neste estudo de caso os dados utilizados pertencem ao posto pluviométrico D4-007, localizado na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, com 10.918 km<sup>2</sup> área, referentes ao período de 1944 a 2003. Estes dados fazem parte da rede de monitoramento do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e são disponibilizados no Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2012).

### 14.1 VAZÃO MÉDIA, MÁXIMA E MÍNIMA

Como foi definida anteriormente, a vazão média assume um valor importante na hora da análise final da disponibilidade hídrica numa determinada área, pode-se observar na Figura 8, que a vazão média ficou entorno dos 100 m<sup>3</sup>/s para o período considerado de 60 anos. A importância disso está na determinação desse valor médio, que servirá como referência principalmente para

ações de planejamento para o abastecimento público e com base nisso, considera-se também a boa disponibilidade de água para a vida aquática no referido rio. Por outro lado verifica-se que os valores de vazão mínima apresentam grandes volumes de água suficientes para sustentar as condições hídricas e biológicas adequadas para os ecossistemas aquáticos aí presentes. Finalmente, tem-se os valores de vazões máximas que mostram resultados muito elevados que geram grandes volumes de água e problemas de enchentes e erosão hídrica, devido aos altos valores apresentados decorrentes dos períodos de chuvas ocorridas principalmente nos meses de verão.

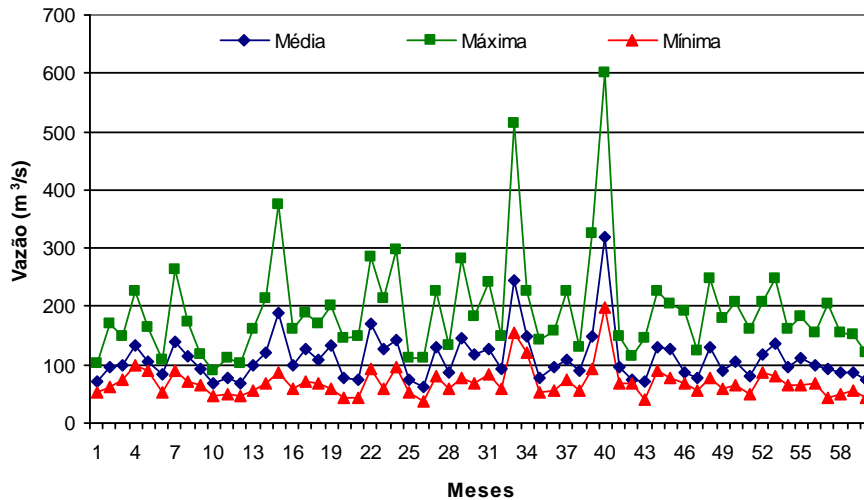


Figura 8: Vazões do posto D4 – 007, Piracicaba - SP. Fonte: SIGRH, 2012.

## 14.2 VAZÃO MÉDIA PONDERADA

A vazão média ponderada apresentada na Figura 9, mostra os valores anômalos de Z superiores a 1 (anomalia positiva) e valores inferiores a -1 (anomalias negativas), onde pode-se verificar que ocorreram poucos valores anômalos positivos e nenhum caso anômalo negativo. Daí a importância em determinar o desvio dos dados históricos disponíveis.

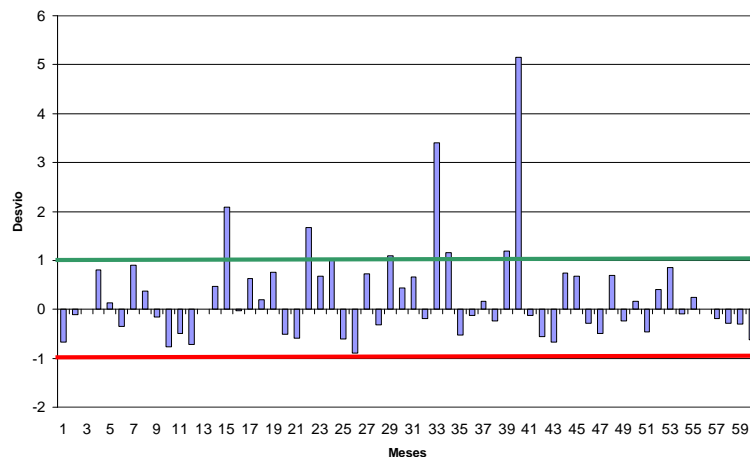


Figura 9: Vazão média ponderada (anomalia positiva – verde e anomalia negativa – vermelha), do posto D4 – 007, Piracicaba – SP. Fonte: SIGRH, 2012.

## 14.3 VAZÃO DE PERMANÊNCIA

A Figura 10 apresenta os valores de vazão de permanência na escala mensal utilizando dados medidos e estimados pelo sistema do SIGRH. Analisando-se a Figura 10, pode-se observar que para a vazão Q95% o valor medido é de 67,1 m<sup>3</sup>/s e o estimado de 57,6 m<sup>3</sup>/s, representando uma

diferença de 14,5%. Considerando-se a importância deste valor, é sugerido que neste tipo de estudo os interessados em uso ou planejamento de recursos hídricos, façam a verificação no campo dos valores de vazão de permanência, pois muitas vezes os valores teóricos utilizados não são reais, em razão a problemas de degradação da bacia e que provocam principalmente problemas de assoreamento, o que diminui consideravelmente o volume de água nos rios.

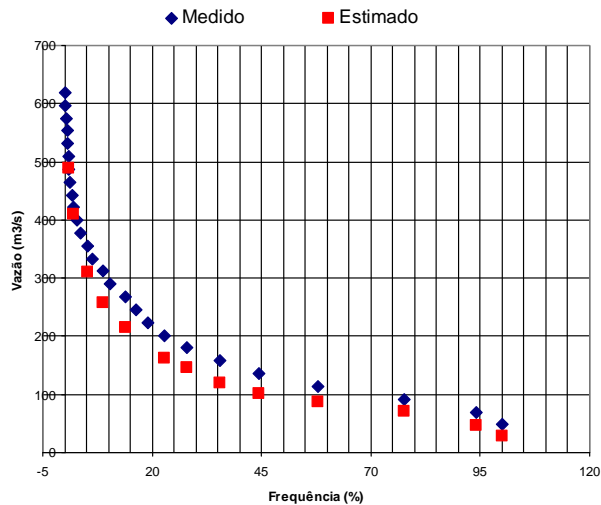


Figura 10: Curva de Permanência posto D4 – 007, Piracicaba - SP. Fonte: SIGRH, 2012.

## REFERÊNCIAS

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2009.
- BEECKMAN, G. B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos**. Brasília: IICA, 1999. 64 p.
- BENETTI, D. A.; LANNA, E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 149-160, 2003.
- CERH. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de recursos hídricos**. São Paulo: DAEE, 2008. 92 p.
- CICCO, V. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha - SP**. 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balanços hídricos climatológicos do Brasil: 500 balanços hídricos de localidades brasileiras**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM.
- SHILOMANOV, I. A.; RODDAS, J. C. **World water resources at the beginning of the twenty-first century**. Cambridge: University Press, 2003. 25 p.
- SIGRH. SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. Website. São Paulo: SIGRH, 2012. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2012.