

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIBEIRÃO DE POÇOS, CALCULADO A PARTIR DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL, SEGUNDO MÉTODOS BASEADOS NA TEMPERATURA

Aline Andrade Godoy^{1}; Edson Augusto dos Reis¹; José Arimathea Pereira Júnior¹; Moisés da Silva Almeida¹; Milton Karlo Teixeira Lima¹; Renato Pacheco Villar¹; Antônio Donizetti Gonçalves de Souza²; Alexandre Silveira²*

Resumo – A bacia do Ribeirão de Poços localiza-se no município de Poços de Caldas-MG e caracteriza-se por drenar a área central urbana do município, abrangendo seu principal manancial de abastecimento público, além de estar relacionada à recarga de aquíferos, inclusive os termais profundos. Este trabalho teve por objetivo principal apresentar o balanço hídrico da bacia em estudo a partir da estimativa da evapotranspiração potencial, utilizando-se os métodos de Thornthwaite e Blaney-Criddle. Buscou-se apresentar as características fisiográficas e calcular o tempo de concentração da bacia por diversos métodos. Os resultados do balanço hídrico mostraram que o método de Blaney-Criddle demonstrou-se mais conservador em termos de análise do estresse hídrico na bacia estudada. O balanço hídrico realizado por meio de estimativas de evapotranspiração pelo método de Thornthwaite, pelo contrário, apresentou resultados que superestimam a condição “sem restrição hídrica”. A análise do balanço hídrico obtido segundo o método de Blaney-Criddle mostra uma tendência de haver mais meses em condição de estresse hídrico, o que pode comprometer, a longo prazo, a utilização da bacia como manancial de abastecimento.

Palavras-Chave – Bacia hidrográfica; Balanço hídrico; Evapotranspiração potencial.

WATER BALANCE OF THE WATERSHED RIBEIRÃO DE POÇOS, CALCULATED FROM THE ESTIMATE OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION BY METHODS BASED ON TEMPERATURE

Abstract – The watershed Ribeirão de Poços is located in Poços de Caldas-MG and it is characterized by draining the city's urban core area, covering its main source of public water supply, as well as being related to groundwater recharge, including the thermal deep ones. This study aimed to present the water balance of the watershed Ribeirão de Poços, by estimating the potential evapotranspiration, using the methods of Blaney-Criddle and Thornthwaite. We sought to present the physiographic characteristics and calculate the concentration time of the watershed by various methods. Results of the water balance showed that the Blaney-Criddle method proved to be more conservative in terms of analysis of water stress in the watershed studied. The water balance achieved by employing estimates of evapotranspiration by the method Thornthwaite, by contrast, showed results that overstate the condition “without water restriction”. The analysis of the water balance obtained by the Blaney-Criddle method shows a tendency to be more months in water stress condition, which may compromise, in long term, the use of the watershed as water supply source.

Keywords – Watershed; Water balance; Potential evapotranspiration.

¹ Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Alfenas

² Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Alfenas

*Autor correspondente: e-mail: aline.godoy@unifal-mg.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Entende-se por balanço hídrico do solo a contabilidade de entrada e saída de água, cuja interpretação possibilita informações sobre ganho, perda e armazenamento da água pelo solo.

A avaliação do balanço hídrico na bacia permite a identificação das condições de excedente ou déficit 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.

Diversas formas têm sido desenvolvidas com o intuito de se estimar o balanço hídrico como, por exemplo, por meio de variáveis meteorológicas, em especial, através de dados de temperatura.

Este trabalho teve por objetivo apresentar o balanço hídrico climatológico da bacia a partir da estimativa da evapotranspiração potencial, utilizando-se os métodos de Thornthwaite e Blaney-Criddle, bem como fazer uma comparação entre esses dois métodos quanto à aplicabilidade à bacia em estudo. Além disso, buscou-se apresentar as características fisiográficas da Bacia do Ribeirão de Poços e calcular o tempo de concentração por diferentes equações.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do Ribeirão de Poços, objeto de estudo deste trabalho, está localizada no Município de Poços de Caldas, cidade-polo da região sul de Minas Gerais, cujo território municipal é limítrofe com o estado de São Paulo, tem a sua posição geográfica determinada pelas coordenadas 21°50'20" S e 46°33'53" W, distando cerca de 460km a sudoeste de Belo Horizonte e a 270 km a noroeste de São Paulo, capital. Essa bacia caracteriza-se por drenar a área central urbana do município de Poços de Caldas, conforme mostrado na Figura 1, abrangendo seu principal manancial de abastecimento público. Essa bacia também está relacionada à recarga de aquíferos (inclusive termais profundos) e a um significativo fragmento de floresta ombrófila, componente do Domínio Atlântico. Sua importância em termos de suprimento de água e sua relação com o equilíbrio ambiental justificam o presente estudo do balanço hídrico que lhe é característico uma vez que, através do conhecimento desta característica da bacia, será possível estabelecer inferências sobre sua gestão.

As localizações das estações meteorológicas, em relação à bacia em estudo, cujos dados foram utilizados para os cálculos de evapotranspiração e para o balanço hídrico, são mostradas na Figura 1.

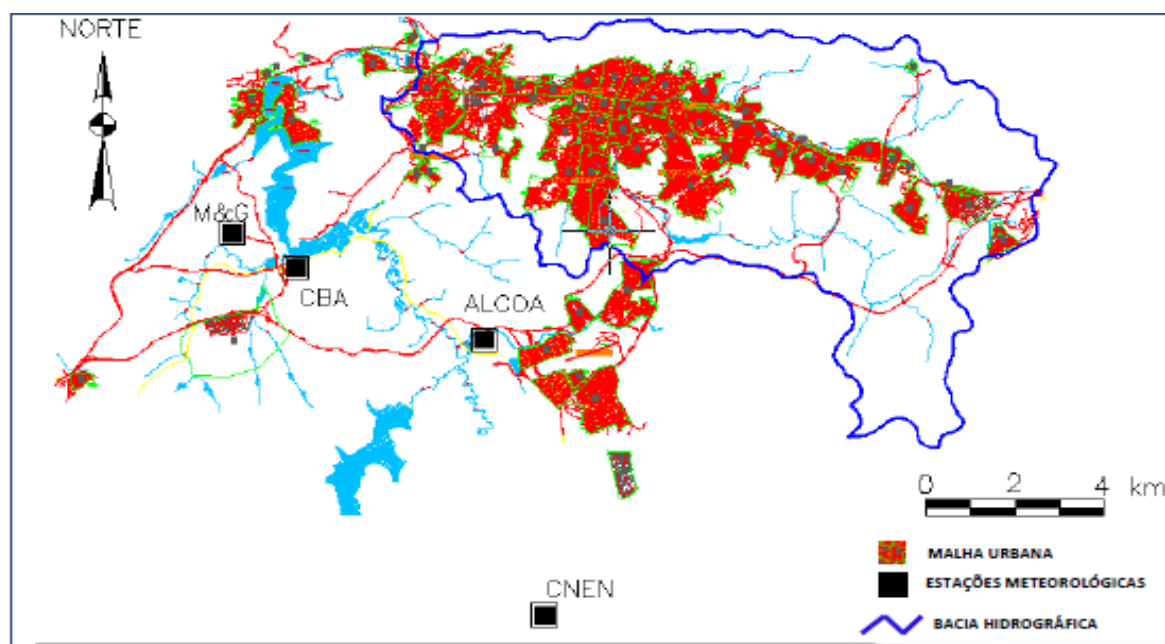


Figura 1 - Localização da bacia do Ribeirão de Poços, com as estações meteorológicas, em relação à malha urbana do município de Poços de Caldas. Fonte: Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Poços de Caldas.

3 METODOLOGIA

O coeficiente de compacidade da bacia do Ribeirão de Poços foi calculado conforme Garcez e Alvarez (1988). O fator de forma e a densidade de drenagem da bacia foi calculado de acordo com Cardoso *et al.* (2006).

A densidade dos cursos de água foi calculada segundo a relação entre o número de cursos de água e a área total da bacia. A declividade do álveo foi calculada dividindo-se a diferença entre a cota máxima (cabeceira) e a mínima (foz) do rio principal pelo seu comprimento. A ordem do rio principal da bacia foi obtida a partir do critério de ordenamento de Strahler (1957 *apud* Silveira, 2011).

O cálculo do tempo de concentração da bacia foi realizado por meio dos métodos de Kirpich (Kirpich, 1940 *apud* Mata-Lima *et al.*, 2007), de Ven Te Chow (Lança, 2000 *apud* Mata-Lima *et al.*, 2007), de Pasini (Lo Bosco *et al.*, 2002 *apud* Mata-Lima *et al.*, 2007), de Ventura (IEP, 2001 *apud* Araújo *et al.*, 2011), de Temez (1978 *apud* Mata-Lima *et al.*, 2007) e de Picking (Pinto e Holtz, 1976).

Os dados climáticos necessários aos cálculos do balanço hídrico deste estudo foram obtidos através da análise das séries históricas de temperatura média do ar referentes aos anos de 2006 a 2012, disponibilizados por algumas estações meteorológicas da cidade de Poços de Caldas – MG.

O cálculo da evapotranspiração potencial, para o período de 2006 a 2012, foi realizado pelos métodos de Thornthwaite (1948) e de Blaney-Criddle (1950), dois modelos que dependem exclusivamente da temperatura média do mês. Uma vez determinada a evapotranspiração potencial, utilizou-se o método desenvolvido por Thornthwaite e Matter (1955) para a determinação do balanço hídrico climatológico a fim de determinar o regime hídrico da bacia escolhida. Considerou-se, para obter os valores de estresse ambiental, que a capacidade de água disponível (CAD) na bacia é de 100 mm, ou seja CAD=100.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Características fisiográficas

A tabela 1 apresenta as características fisiográficas calculadas da Bacia do Ribeirão de Poços. A altitude máxima encontrada foi de 1360 m e a altitude mínima foi de 1180 m. O comprimento do canal principal (talvegue) é de 21,7 km.

Tabela 1 – Características fisiográficas da Bacia do Ribeirão de Poços.

Característica	Valor
Área	80,20 km ²
Perímetro	50,80 km
Coefficiente de compacidade	1,58
Fator de forma	0,38
Densidade dos cursos de água	1,02 cursos de água/km ²
Densidade de drenagem	1,35 km/km ²
Ordem do curso de água principal	4
Declividade do álveo	8,29 m/km

A análise conjunta do coeficiente de compacidade e do fator de forma obtidos para a bacia em estudo, considerando apenas estes índices físicos, indica uma tendência da bacia hidrográfica do Ribeirão de Poços ser pouco susceptível a enchentes em eventos de precipitação de intensidades normais, uma vez que o seu coeficiente de compacidade apresenta um valor afastado da unidade (1,58) e fator de forma de valor relativamente pequeno (0,38). Portanto, a bacia não possui forma circular, mas sim alongada. A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do Ribeirão de Poços é de 1,35 km/km², o que indica uma densidade de drenagem baixa.

O tempo de concentração da Bacia do Ribeirão de Poços, calculado por meio dos diferentes métodos citados na metodologia do presente estudo são listados na tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de concentração (h) calculado pelos diferentes métodos para a Bacia do Ribeirão de Poços.

Método	Tempo de concentração (h)
Kirpich	4,5
VenTe Chow	3,2
Pasini	14,3
Ventura	3,9
Temez	7,7
Picking	3,4

Tomando-se por referência o método de Kirpich que, de acordo com Araújo *et al.* (2011), é o mais utilizado pela literatura em geral, nota-se que os métodos de Ven Te Chow, de Ventura e de Picking resultaram em valores mais próximos do valor de referência adotado para o tempo de concentração (Kirpich). Os métodos de Pasini e de Temez superestimaram esse tempo.

4.2 Evapotranspiração potencial e balanço hídrico

O método que, em média, obteve os maiores valores de estimativa de evapotranspiração nos meses chuvosos de outubro a abril foi o de Blaney-Criddle (1950), que usa a quantidade de horas de luz durante o dia e a temperatura, conforme pode ser observado na Figura 2. Contudo, de acordo com a literatura, este método foi desenvolvido para regiões com baixa temperatura e pouca pluviosidade.

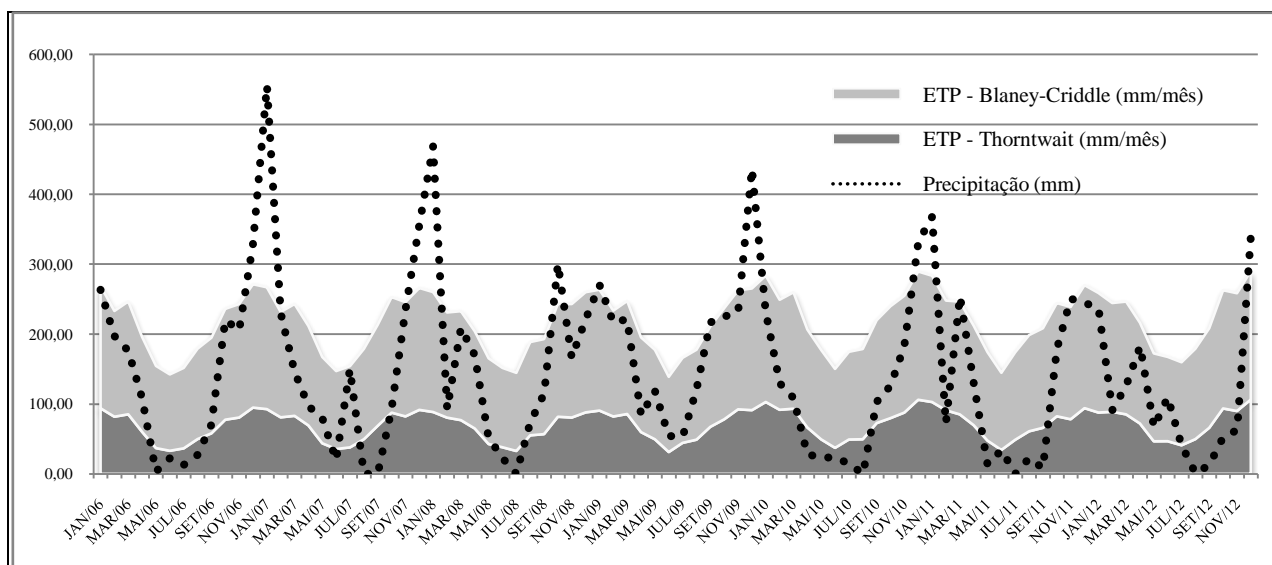


Figura 2 – Gráfico comparativo da evapotranspiração na bacia do Ribeirão de Poços pelos métodos de Blaney-Criddle e Thornthwaite no período de 2006 a 2012.

Considerando-se o balanço hídrico realizado para a Bacia do Ribeirão de Poços, verifica-se que os balanços hídricos obtidos a partir dos cálculos de evapotranspiração pelos métodos de Thornthwaite e de Blaney-Criddle, que utilizam variáveis distintas, apresentaram resultados diferentes com implicações sobre a forma de se analisar a bacia, como apresenta a Figura 3.

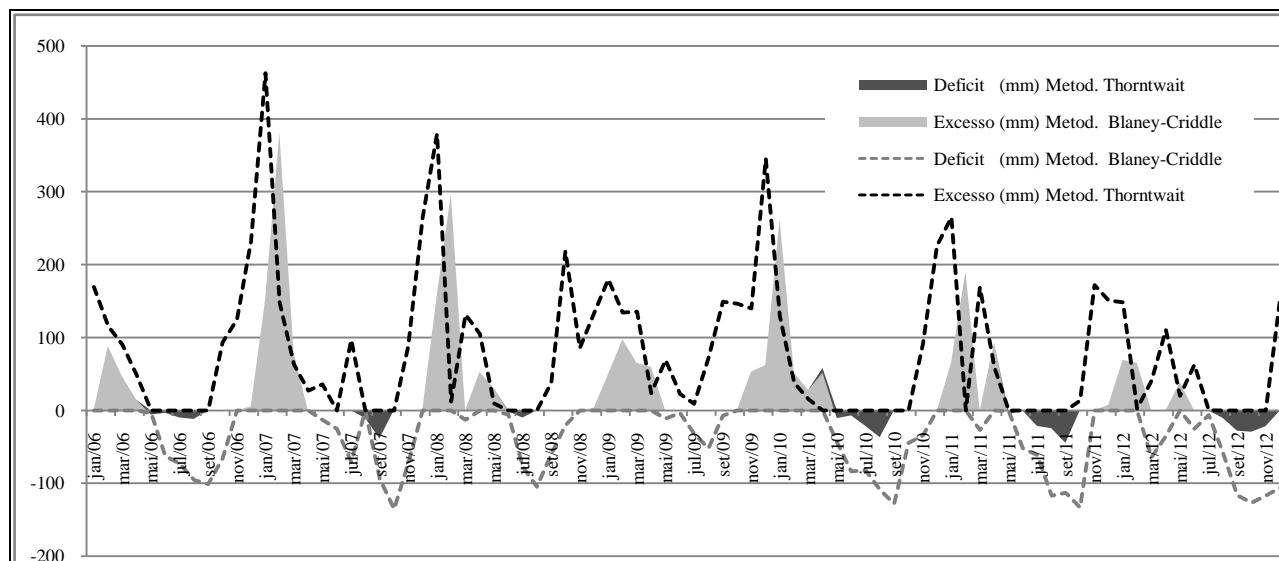


Figura 3 – Gráfico comparativo do balanço hídrico obtido a partir dos cálculos de evapotranspiração pelas metodologias de Blaney-Criddle e de Thornthwaite para o período de 2006 a 2012.

Em análise ao gráfico comparativo entre as duas metodologias para obtenção do balanço hídrico (Figura 3), pode-se verificar que, embora os métodos tenham conduzido a similaridades relativas quanto aos picos de acúmulo de água no solo e estresse hídrico, o método de Blaney-Criddle demonstrou-se mais conservador em termos de análise do estresse hídrico na bacia estudada. Nesse sentido, as diferenças entre os métodos são menos acentuadas quando se analisam os déficits hídricos nos anos estudados. O balanço hídrico realizado empregando-se o método de Thornthwaite, pelo contrário, apresentou resultados que superestimam a condição “sem restrição hídrica”, o que pode mascarar uma análise mais rigorosa, comprometendo a gestão da bacia em termos de recurso hídrico estratégico para o Município de Poços de Caldas, visto que esta bacia é seu principal manancial de abastecimento público de água. Pressupõe-se que isso ocorra porque o método de Thornthwaite não contempla explicitamente a umidade do ar. Assim, deve-se ter muita cautela ao utilizar este método para o estudo do balanço hídrico da bacia em estudo. Essa afirmação pode ser corroborada considerando Berlatto e Molion (1981, *apud* Marcuzo e Silveira, 2010), que afirmam que em regiões onde o clima difere daquele onde a equação de Thornthwaite foi desenvolvida, os resultados obtidos não são satisfatórios, particularmente em climas de verões úmidos e invernos secos. Considerando que o clima da região de Poços de Caldas é classificado como temperado chuvoso (Cwb-mesotérmico – Köppen), de acordo com Antunes (1986, *apud* Pereira, 2010), com chuvas predominantes de verão e inverno seco, tem-se que tal condição implica na limitação atribuída à aplicação do método de Thornthwaite. Esse fato pode significar que o método mais adequado para a análise do balanço hídrico da bacia estudada seja o que se utiliza dos dados de evapotranspiração obtidos pelo método de Blaney-Criddle, devido às características mais conservadoras deste.

A Bacia do Ribeirão de Poços é considerada o principal manancial de abastecimento público da cidade de Poços de Caldas, pois a principal captação do órgão municipal de abastecimento de água se encontra na Represa Saturnino de Brito, dentro da bacia. Analisando o balanço hídrico obtido segundo o método de Blaney-Criddle, há uma tendência de se observar mais meses em condição de estresse hídrico, conforme pode ser observado na Figura 4, o que pode comprometer os usos múltiplos, a longo prazo, podendo gerar conflitos entre os outros usos existentes.

Legenda:

	sem restrição hídrica											
	há restrição hídrica											
	recuperação											
Blaney-Criddle	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
Thornthwaite	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												

Figura 4 – Comparação entre os métodos de Blaney-Criddle e Thornthwaite com relação aos meses e sua situação hídrica.

5 CONCLUSÃO

O balanço hídrico com dados de evapotranspiração obtidos pelo método de Thornthwaite demonstrou-se menos conservador para a análise da bacia do que o obtido pelo método de Blaney-Criddle, devido à limitação do primeiro método quanto à aplicação em climas de verões chuvosos e invernos secos. Portanto, o uso da metodologia de Thornthwaite para obtenção de dados de evapotranspiração potencial para cálculo do balanço hídrico poderá induzir a conclusões enganosas quanto à gestão dos recursos na bacia.

Do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos na bacia estudada, a avaliação do balanço hídrico de modo sistemático deve constituir-se em importante instrumento que permite identificar tendências históricas, bem como subsidiar ações relativas à disponibilidade de água para a população nos meses mais críticos optando-se, por exemplo, por aduzir água de outros mananciais além de gerenciamento de conflitos.

Depreende-se do estudo realizado que, dada a importância da avaliação do balanço hídrico na bacia do Ribeirão de Poços, é fundamental a implantação de uma estação de monitoramento meteorológico dentro da área da bacia de modo a subsidiar informações futuras aos órgãos gestores, permitindo a realização de sistemáticas avaliações de balanço hídrico de modo a se ter uma série histórica relevante que valide as conclusões obtidas neste estudo e que possam orientar ações de gestão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAPOC (CNEN), à ALCOA Alumínio S/A de Poços de Caldas, à M&G Fibras e à CBA pela disponibilização dos dados climatológicos. Os autores agradecem

também o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

- a) ARAÚJO, B.A.M.; SILVEIRA, C.S.; SOUZA, J.L.; JÚNIOR, J.V.F.M.; ALMEIDA, F.A.F.; STUDART, T.M.C. (2011). Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas. In *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Maceió, Nov. 2011, pp. 1-18.
- b) BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. (1950). *Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data*. Washington: USDA Soil Conservation Service. Technical Paper n.96, 48 p.
- c) CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. (2006). Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v. 30, n. 2, pp. 241-248.
- d) GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A.(1988). *Hidrologia*. Blucher São Paulo-SP, 291 p.
- e) MARCUZO, F. F. N.; SILVEIRA, A.(2010).Balanço Hídrico de Cuiabá Utilizando Métodos de Estimativa de Evapotranspiração por Temperatura. In *Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, Fortaleza, nov. 2010, pp. 1-19.
- f) MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. (2007). Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas : integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 3, pp. 525-536.
- g) PEREIRA, J. A. A.; FONTES, M. A. L. (2010). *Plano de Manejo do Parque Municipal da Serra de São Domingos*. UFLA Lavras-MG, 205 p.
- h) PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T. (1976). Vazões de enchentes. In *Hidrologia Básica*. Org. por Pinto, N.L.S. e outros, ed. Blucher, São Paulo-SP, pp. 121-166.
- i) SILVEIRA, A.L.L. (2001). Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica. In *Hidrologia: ciência e aplicação*. Org. Por Tucci, C.E.M., ABRH, ed.Universidade/ UFRGS, Porto Alegre-RS, pp. 35-51.
- j) THORNTHWAITE, C. W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review, New York, v.38, n.1, pp. 55-94.
- k) THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). *The water balance*. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, v. 8, n. 1. 104 p.