

**BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA O MUNICÍPIO DE
NEPOMUCENO-MG****Ronan Naves Carvalho**

Doutorando em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, MG, Brasil
ronannaves@gmail.com

Gabriela Rezende de Souza

Doutoranda em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, MG, Brasil
gabriela.souza2@estudante.ufla.br

Maryna Soares Gomes

Graduanda em Eng. Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, MG, Brasil
maryna_022@hotmail.com

Luiza de Castro Costa

Graduanda em Eng. Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, MG, Brasil
Luiza.dcastro@gmail.com

Bruno Silva Villela

Graduando em Eng. Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, MG, Brasil
brunovillelaamb@gmail.com

Gilberto Coelho

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Professor Doutor no Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento – UFLA,
Lavras, MG, Brasil
coelho@ufla.br

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Professor Adjunto no Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento – UFLA,
Lavras, MG, Brasil
coutinho@ufla.br

RESUMO

A análise dos dados meteorológicos para uma determinada região é uma importante ferramenta para gestão ambiental, principalmente no tocante aos recursos hídricos. Nesse aspecto, o balanço hídrico climatológico (BHC) tem sido muito utilizado como ferramenta na

gestão de recursos hídricos. O presente trabalho tem como objetivo estimar o BHC pelo método de Thornthwaite e Mather para a bacia hidrográfica do Córrego Sapé, localizada em Nepomuceno-MG. Foram utilizados dados diretamente do INMET de três estações vizinhas à área de estudo, entre 2003 e 2016, para a construção das séries históricas de precipitação e temperatura e calcular as médias mensais. Estimou-se o BHC levando em consideração a predominância de latossolo e cultivo de café, adotando-se 115 mm para a capacidade de água disponível no solo. Verificou-se que a precipitação anual total média e temperatura média anual foram de 1306,5 mm e 20,7 °C. A evapotranspiração total média e a evapotranspiração real total foram de 972,59 mm e 874 mm. Ou seja, seguiram a tendência das chuvas para a região. O excedente hídrico durante o ano superou o déficit, demonstrando a capacidade de recarga da bacia e a baixa propensão a escassez de água. Todavia, vale salientar que apesar do uso principal agrícola, a bacia é responsável pelo abastecimento de água do município. Assim, é recomendável uma adequada gestão dos recursos hídricos para garantir a demanda da população.

Palavras-chave: Evapotranspiração. Precipitação. Excedente hídrico.

CLIMATIC WATER BALANCE IN NEPOMUCENO, MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

Climatic water balance (CWB) is a tool widely used in the management of water resources. The objective of the study was to estimate CWB by the Thornthwaite and Mather method for the Sapé River Basin, located in Nepomuceno-MG. Data from three climatological stations neighboring the study area were used directly from INMET, between 2003 and 2016, for the elaboration of the historical series of precipitation and temperature and to calculate the monthly averages. The BHC was estimated taking into account the predominance of Oxisol and coffee cultivation, adopting 115 mm for the available water capacity in the soil. It was verified that the average total annual rainfall and mean annual temperature were 1306.5 mm and 20.7 °C. Mean total evapotranspiration and total real evapotranspiration were 972.59 mm and 874 mm. That is, they followed the tendency of the rains for the region. The water surplus during the year exceeded the deficit, demonstrating the capacity of recharge of the basin and the low propensity to water shortage. However, it is worth noting that despite the main agricultural use, the basin is responsible for supplying the municipality. Thus, good water management is recommended to guarantee population demand.

Keywords: Evapotranspiration. Precipitation. Water surplus.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda de água, associada à disponibilidade limitada dos recursos hídricos, aos conflitos entre alguns usos e principalmente ao mau uso da água gerando grandes prejuízos seja pelo excesso ou pela escassez, tem exigido cada vez mais planejamento racional e otimização para aumento da eficiência do uso da água. Neste contexto, o conhecimento sobre a distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica auxilia no estabelecimento de diretrizes para a implementação de políticas de gestão e uso consciente deste recurso.

De acordo com Souza et al. (2013), a disponibilidade hídrica de uma região pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico (BHC). Essa metodologia evidencia as variações sazonais dos excedentes e deficiências hídricas por meio de relações entre as entradas e saídas de água de uma condição de controle, principalmente precipitação pluvial e evapotranspiração potencial.

Pereira et al. (2002) destacam que o BHC é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo, que se baseia na aplicação do Princípio de Conservação de Massa em uma área de solo vegetado, em que se contabiliza as entradas e saídas de água. Normalmente, o BHC de uma região basicamente se mantém sem grandes variações naturais. Porém, o uso irracional da água, o aumento populacional e as ações antrópicas podem acabar por interferir no ciclo hidrológico da região, influenciando as taxas de precipitação, de infiltração no solo, de evapotranspiração e de escoamento superficial e subterrâneo.

Visando equacionar esta relação, Thornthwaite & Mather (1955) desenvolveram um método para determinar o BHC que permita o monitoramento da variação da água armazenada no solo, seja em escalas diárias ou em escalas maiores como a mensal, utilizando dados disponíveis de precipitação e temperatura do ar, que podem ser considerados como os principais elementos do clima, pois indicam os níveis energéticos e as disponibilidades hídricas da região (CUNHA & MARTINS, 2009).

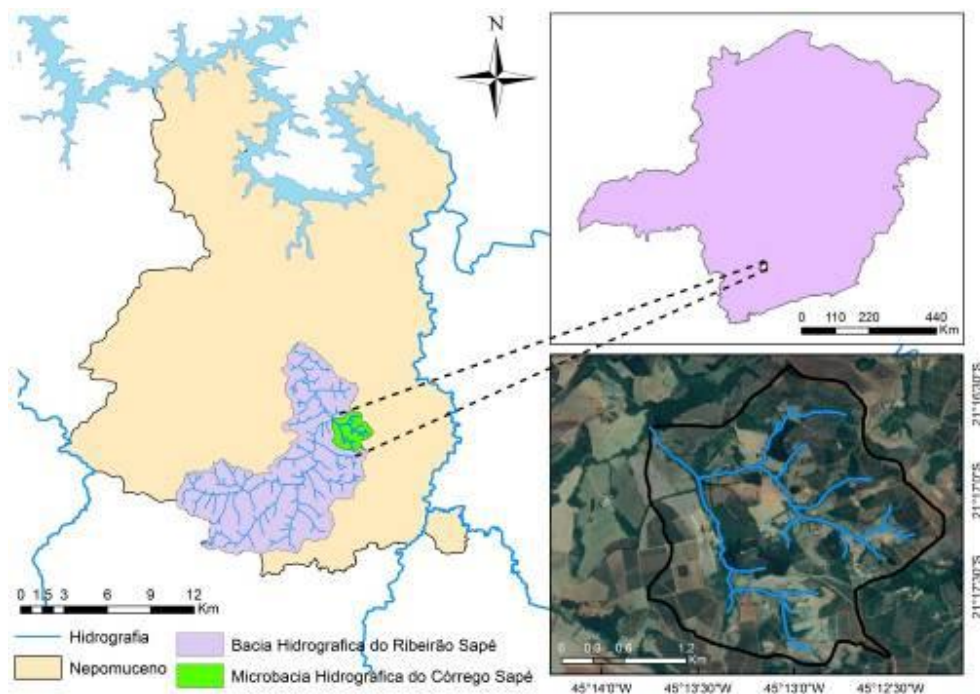
Neste sentido, este trabalho teve como objetivo estimar o balanço hídrico climatológico para a Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé, localizada no município de Nepomuceno – MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O município de Nepomuceno situa-se no sul do Estado de Minas Gerais, com área territorial de 583,78 km², localizado entre as coordenadas de latitude 21°2'23" S e 21°22'48" S, e de longitude 45°24'14" O e 45°8'23" O, estando a uma altitude média de 843 m. A Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé, localizada ao Sul do município, possui área de 4,965 km², o que tem a maior parte de seu território ocupado por lavouras de café, relevo em sua maioria ondulado e solos em sua grande parte latossólicos, além de ser das principais responsáveis pelo abastecimento de água da cidade (Figura 1).

O clima da região onde se insere a Bacia hidrográfica do Córrego Sapé é classificado como do tipo Cwb (Alvares et al., 2013), segundo a classificação de Köppen, apresentando clima úmido, de verões brandos, sujeito a grandes estiagens esporádicas e com inverno às vezes rigoroso. A temperatura média anual é de 18,9°C, o índice pluviométrico anual de 1630 mm e a umidade relativa média anual de 76%. O período mais quente corresponde aos meses de Setembro à Março e as temperaturas mínimas ocorrem de Abril a Agosto. Enquanto isso, o período chuvoso abrange os meses de Outubro a Março, e o período seco vai de Abril a Setembro. Ou seja, a região apresenta verões úmidos e invernos secos.

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé.



Para a estimativa do balanço hídrico climatológico da região, foram utilizados dados climatológicos da Estação Lavras (cód. 83687) operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, e dados de precipitação das estações pluviométricas UHE Marechal Mascarenhas de Moraes Rio do Cervo (cód. 02145050) operada por FURNAS e Usina Couro do Cervo (cód. 02145007) operada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Foram construídas as séries históricas de precipitação e temperatura entre os anos hidrológicos de 2003 a 2016 e calculadas as médias mensais. As falhas apresentadas na série de precipitação da estação Usina Couro do Cervo foram preenchidas por meio da metodologia do Inverso do Quadrado da Distância (IQD) utilizando-se os valores de precipitação contabilizados nas duas outras estações (Equação 1) (MELLO & SILVA, 2013).

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \times P_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (1)$$

Em que:

P_p : precipitação preenchida; P_i : valor da precipitação da i -ésima localidade vizinha; d_i : distância euclidiana entre o i -ésimo ponto de vizinhança e o ponto amostrado.

Para verificar a adequabilidade da utilização desses dados, procedeu-se a análise de consistência para cada estação, empregando-se a metodologia da dupla massa descrita por Bertoni & Tucci (2007).

A precipitação média na Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé foi calculada por meio da metodologia dos Polígonos de Thiessen, os quais são formados pela interseção das linhas das mediatrizes que ligam cada estação, correspondendo à área de influência de cada estação. A precipitação média na bacia é calculada de acordo com a Equação 2, em que a área de influência é utilizada como fator de ponderação (MARCIANO; BARBOSA; SILVA, 2018). Os Polígonos de Thiessen foram delineados utilizando-se o software ArcGIS 10.2.2®.

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times P_i)}{A} \quad (2)$$

Em que:

P_m : precipitação média na bacia (mm); A_i : área de influência da i -ésima estação; P_i : precipitação na i -ésima estação (mm); A : área total da bacia.

Por fim, calculou-se o balanço hídrico climatológico, considerando as médias mensais de temperatura e precipitação pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) com auxílio de uma planilha de Excel™ (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998). A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), o qual é baseado apenas na temperatura média do ar e nas coordenadas geográficas do local (Equação 3). O índice térmico anual (I) é a soma dos 12 índices térmicos mensais, como descrito na Equação 4. E a constante a é estimada pela Equação 5.

$$ETPp_i = 1,6 \times \left(\frac{T_i}{I}\right)^a \quad (3)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,7 \times 10^{-5} \times I^2 + 0,18 \times I + 0,49 \quad (5)$$

Em que:

ETP_p: evapotranspiração potencial mensal (cm), para o mês de 30 dias, considerando 12 horas de duração para cada dia; T_i: temperatura média mensal (°C) para o i-ésimo mês; I: índice térmico anual; e a: constante da localidade.

A evapotranspiração estimada, foi então corrigida para a duração do dia (fotoperíodo) e para o número de dias relativos a cada mês (Equações 6, 7 e 8).

$$\varphi = 23,45 \times \text{sen} \left(360 \times \frac{(284 + \text{NDJ})}{365} \right) \quad (6)$$

$$N = \frac{\arccos(-\text{tg } \phi \times \text{tg } \delta)}{7,5} \quad (7)$$

$$\text{ETP} = \text{ETP}_p \frac{N}{12} \frac{\text{ND}}{30} \quad (8)$$

Em que:

δ: declinação da Terra em graus; NDJ: número de dias julianos, sendo que para janeiro = 1, Fevereiro = 32, Março = 60, ..., Dezembro = 335; N: fotoperíodo médio mensal (h); ETP: evapotranspiração potencial mensal corrigida (cm); ND: número de dias do mês.

Foram então calculados os parâmetros do balanço hídrico: evapotranspiração real (ER), armazenamento de água no solo (ARM), negativo acumulado (NEG ACUM), alteração de água no solo (ALT), deficiência hídrica no solo (DEF) e excedente hídrico (EXC). Para a capacidade de água disponível no solo (CAD) adotou-se o valor de 115 mm, levando em consideração a predominância de Latossolo e cultivo de café na área da bacia (RAMOS, 2013).

Se a precipitação média em dado mês (P) é menor que a evapotranspiração potencial, calcula-se o negativo acumulado, e posteriormente o armazenamento (Equações 9 e 10).

$$\text{NEG ACUM} = \sum (P - \text{ETP}), \text{ se } P - \text{ETP} < 0 \quad (9)$$

$$\text{ARM} = \text{CAD} \times e^{(\text{NEG ACUM}/\text{CAD})}, \text{ se } P - \text{ETP} < 0 \quad (10)$$

Caso contrário, se a precipitação é maior que a evapotranspiração potencial, calcula-se primeiro o armazenamento e posteriormente o negativo acumulado (Equação 11 e 12).

$$\text{ARM} = \sum (P - \text{ETP}), \text{ se } P - \text{ETP} > 0 \quad (11)$$

$$\text{NEG ACUM} = \text{CAD} \times \ln \frac{\text{ARM}}{\text{CAD}}, \text{ se } P - \text{ETP} > 0 \quad (12)$$

A alteração de água no solo (ALT) é a variação de armazenamento no intervalo de tempo (Equação 13). Caso a ALT seja maior que zero, há reposição de água no solo, ao contrário, há retirada.

$$\text{ALT} = \text{ARM} - \text{ARM anterior} \quad (13)$$

Para determinação da evapotranspiração real também há dois casos a serem observados (Equações 14 e 15).

$$\text{ETR} = P + |\text{ALT}|, \text{ se } P - \text{ETP} < 0 \quad (14)$$

$$\text{ETR} = \text{ETP}, \text{ se } P - \text{ETP} \geq 0 \quad (15)$$

Por último, determinou-se a deficiência hídrica e o excedente hídrico, por meio das equações 16 e 17. Quando o armazenamento de água no solo é inferior a capacidade de água disponível no solo, não há excedente hídrico.

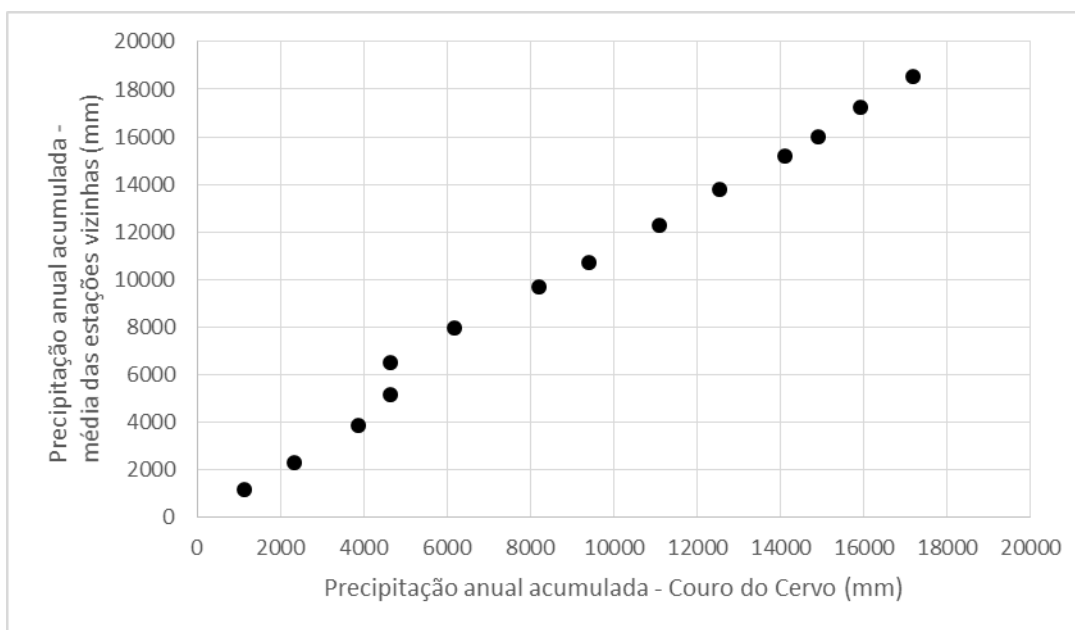
$$DEF = ETP - ETR \quad (16)$$

$$EXC = (P - ETP) - ALT, \text{ se } ARM = CAD \quad (17)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de consistência para o preenchimento de falhas nas séries de precipitação pode ser observada na Figura 2. Para a estação Usina Couro do Cervo, os totais anuais acumulados foram plotados no eixo das abscissas e os totais anuais médios das demais estações nas ordenadas. Os dados foram considerados consistentes, uma vez que os totais anuais da estação analisada apresentaram uma tendência linear em relação às demais estações, o que representa uma região homogênea em relação à precipitação (CORREIA et al., 2016).

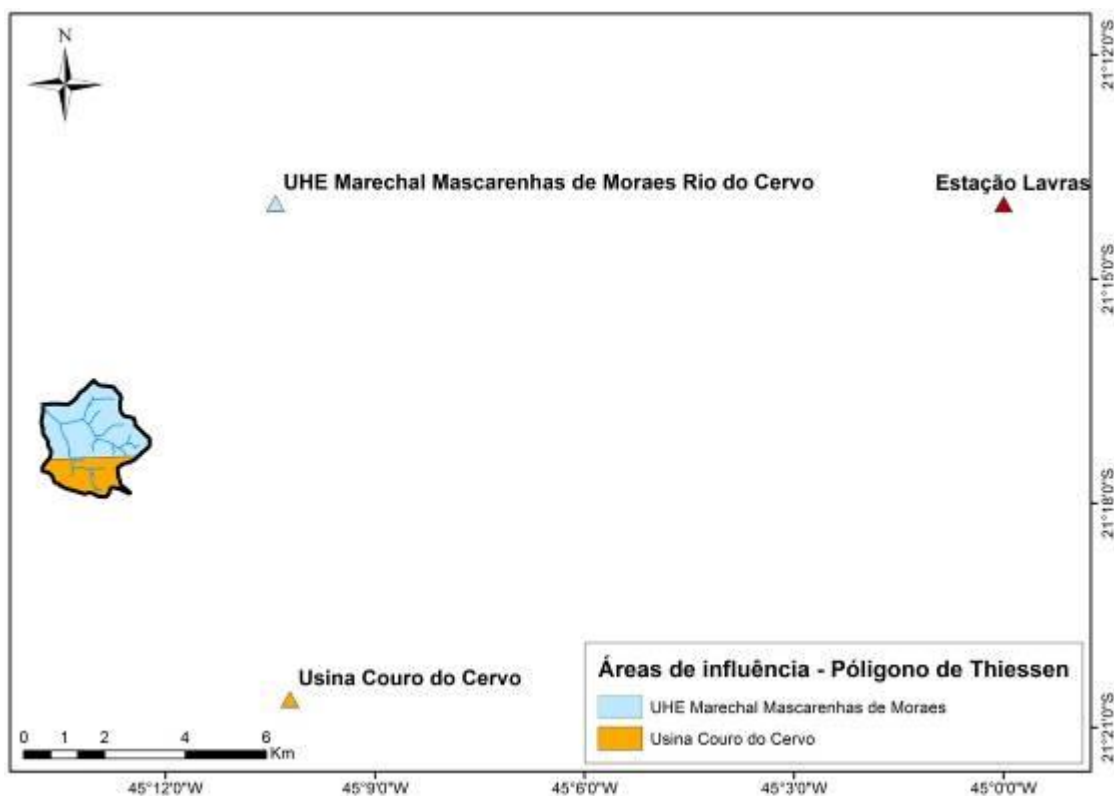
Figura 2. Curva de dupla-massa para a estação Usina Couro do Cervo.



Por meio dos Polígonos de Thiessen, a estação de Lavras não influencia na precipitação da região, dessa forma, foi utilizada somente para o preenchimento das falhas na série. A precipitação média na bacia foi calculada utilizando-se a estação pluviométrica UHE Marechal Mascarenhas de Moraes Rio do Cervo que influencia na precipitação em uma

área de 3,475 km², e a estação Usina Couro do Cervo que influencia em 1,49 km² da área da Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé (Figura 3).

Figura 3. Áreas de influência de cada estação sob a Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé.



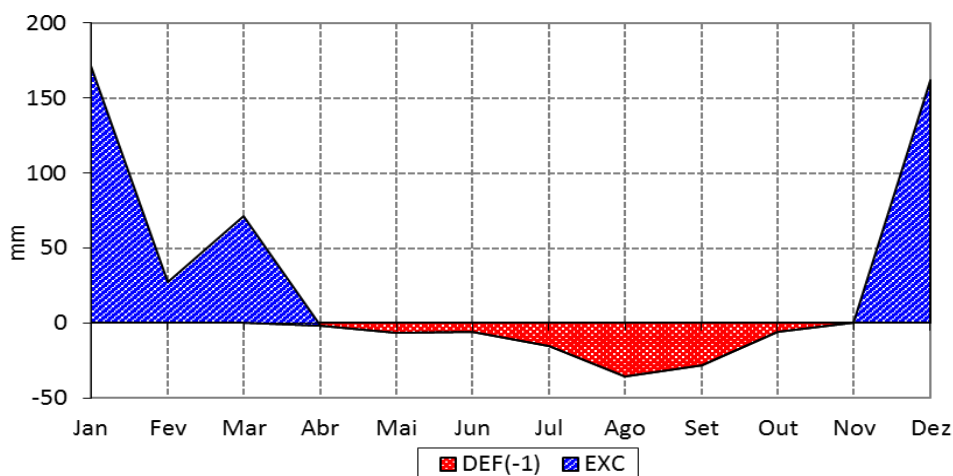
Na Tabela 1 são apresentados os resultados do BHC para a região da bacia hidrográfica do Córrego Sapé, em Nepomuceno-MG. A precipitação anual total média foi de 1306,5 mm e a evapotranspiração total média para os anos hidrológicos de 2003 a 2016 foi de 972,59 mm. É importante destacar que a temperatura média na bacia foi calculada utilizando os dados da estação climatológica de Lavras, uma vez que é a estação mais próxima disponível.

De acordo com a Figura 4, é possível observar notadamente a presença de duas estações distintas, a estação chuvosa entre Novembro e Março que representa 77% da precipitação total anual e a estação seca de Abril a Outubro que contribui com apenas 23% da precipitação total anual.

Tabela 1. Balanço hídrico climatológico para a bacia hidrográfica do Córrego Sapé.

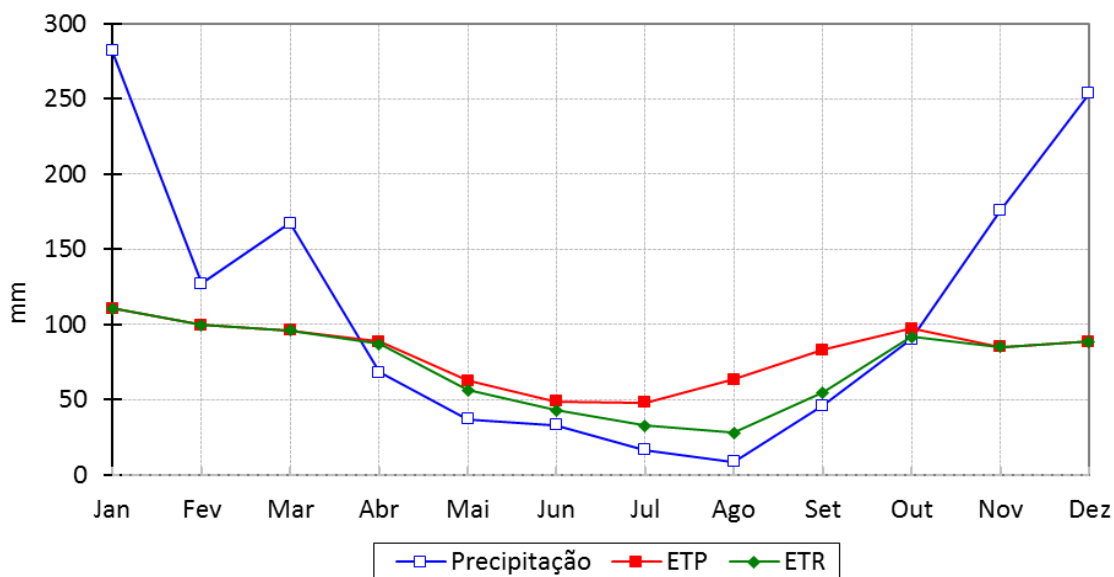
Meses	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	DEF(mm)	EXC (mm)
Jan	22,8	282,2	110,84	110,84	0,00	171,3
Fev	23,2	127,3	99,67	99,67	0,00	27,6
Mar	22,4	167,3	96,04	96,04	0,00	71,2
Abr	21,2	68,4	88,74	87,0	1,74	0,0
Mai	18,2	37,1	62,69	56,39	6,49	0,0
Jun	17,2	33,3	48,76	43,00	5,76	0,0
Jul	17,2	16,4	48,03	32,57	15,40	0,0
Ago	18,8	8,8	63,50	28,20	35,30	0,0
Set	20,7	46,0	83,03	54,73	28,30	0,0
Out	22,0	90,4	97,49	91,80	5,71	0,0
Nov	21,8	175,9	85,14	85,14	0,00	0,0
Dez	22,6	253,6	88,67	88,67	0,00	162,4
Totais	-	1306,5	972,59	874,0	98,6	432,5
Média mensal	20,7	108,9	81,05	72,8	8,2	36,0

Figura 4. Extrato do balanço hídrico mensal na Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé.



Assim como apresentado na Figura 5, tanto a evapotranspiração potencial (ETP), como a evapotranspiração real (ETR) seguem a tendência das chuvas na região, fato que se deve às menores temperaturas observadas no período de estiagem.

Figura 5. Balanço Hídrico Normal Mensal para a Bacia do Córrego Sapé.



Observa-se ainda que o excedente hídrico durante o ano supera o déficit, demonstrando a capacidade de recarga da bacia e a baixa probabilidade a períodos sem disponibilidade de água. Porém, como a bacia apresenta inúmeras propriedades agrícolas que fazem uso da água para irrigação e é responsável pelo abastecimento de água do município de Nepomuceno, é necessário que haja uma adequada gestão dos recursos hídricos para garantir a demanda da população. Coelho, Azevedo e Antunes (2016), destacaram a importância do adequado manejo dos recursos hídricos, principalmente no sentido de concessão de outorgas, a fim de minimizar os problemas relacionados à conflitos de usos.

CONCLUSÕES

O método de Thornthwaite e Mather (1955) foi efetivo para a estimativa do balanço hídrico climatológico para a Bacia Hidrográfica do Córrego Sapé. Por meio dessa estimativa,

foi notório que o excedente hídrico foi relativamente maior do que o déficit hídrico, caracterizando a bacia como sendo de alta disponibilidade de água e baixa propensão a situações de escassez.

Porém, por ser tratar de uma bacia ocupada em sua maioria por cultivos agrícolas intensivos e, ainda, ser a principal responsável pelo abastecimento do município, é imprescindível a aplicação de técnicas de manejo, conservação, gestão e obras de infraestrutura. Indica-se, por exemplo, a construção de reservatórios em locais estratégicos, com o intuito de garantir e manter ainda mais a produção de água pela bacia, a fim de prevenir para possíveis e hipotéticos cenários de escassez no futuro.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/09412948/2013/0507>.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2007. Cap. 5. p. 177-241.

COELHO, F., AZEVEDO, J., ANTUNES, J. SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NA REGIÃO SUDESTE E AS INTERFACES COM O ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO. **Revista Augustus**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 41, p. 105-116, jun. 2016.

CORREIA, T. P. et al. Aplicação de redes neurais artificiais no preenchimento de falhas de precipitação mensal na região serrana do Espírito Santo. **Geociências** (São Paulo), v. 35, n. 4, p. 560-567, 2016.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.1, p.1-11, jan./mar. 2009.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Clima** [Internet]. Acesso em mar 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>.

MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 13, n. 1, e1906, 2018.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455p.

PEREIRA, A. R. et al. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. **Guaíba**: Agropecuária, 2002. 478 p.

RAMOS, Bárbara Z. et al . Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Rev. de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 36, n. 3, p. 440-446, jul. 2013 .

ROLIM,G.S.,SENTELHAS,P.C.,BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013.

THORNTHWAITE C.W.; MATHER J.R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology; 1955, 104p.

Recebido em 25/11/2019.

Aceito em 17/12/2019.