



VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIQUIRI-PR

MÁRCIO GREYCK GUIMARÃES CORREA¹
EMERSON GALVANI²

Resumo: Esta pesquisa apresenta um estudo da variabilidade espacial e temporal do Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para a bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR em escala temporal anual e mensal. Para o cálculo do BHC utilizou-se a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), como a área não dispõe de dados suficientes de temperatura média do ar, estimou-se por meio de regressão linear múltipla proposta por Pinto e Alfonsi (1974). Os dados de precipitação utilizados foram disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná com uma série histórica de 1976 a 2010. Os resultados indicam que a bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR não apresenta deficiência hídrica em escala anual, mas ao analisar o balanço hídrico mensal nota-se uma retirada de água durante o mês de fevereiro e deficiência hídrica de 1,0-2,0 mm no mês de março para o setor norte da bacia.

Palavras-chave: Balanço Hídrico Climatológico, variabilidade espacial, bacia hidrográfica, rio Piquiri.

Abstract: This research present a spatial and temporal variability study of Water Balance Climatology to Piquiri-PR watershed in an annual and monthly temporal scale. Was used the methodology by Thornthwaite and Mather (1955) for the Water Balance Climatology calculation, the average air temperature isn't enough for this area and we used the multiple linear regression by Pinto and Alfonsi (1974) and the Instituto das Águas do Paraná provided the rainfall data. The results indicated that Piquiri-PR watershed don't present deficiencies of water in annual scale but analyzing monthly water balance we note withdrawal of water for February and deficiencies of water for March in the northern of watershed.

Keywords: Water Balance Climatology, Spatial Variability, Watershed, Piquiri River.

1- Introdução

O percurso da água da atmosfera até a superfície é compreendido através do ciclo hidrológico, segundo Silveira (2001) a principal fonte fornecedora de água para a atmosfera são os oceanos (85%) e o restante provém das águas continentais (15%), a atmosfera armazena uma quantidade ínfima de água, mas é nela que ocorre um dos principais processos do ciclo hidrológico, a precipitação pluviométrica.

A bacia hidrográfica ao ser entendida como um sistema representa concretamente as relações sistêmicas entre a atmosfera, a superfície e as atividades humanas. Cunha e Guerra (1996) apontam a bacia hidrográfica como excelentes áreas para o planejamento, pois estes sistemas naturais integram uma visão conjunta dos elementos naturais e as

¹ Doutorando em Geografia Física da Universidade de São Paulo. mgreyckcorrea@gmail.com

² Docente do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo. egalvani@usp.br



atividades humanas e que alterações podem gerar efeitos e impactos nos fluxos energéticos.

Hewlett e Hibbert (1966) estudaram os processos hidrológicos de vazão em pequenas bacias hidrográficas relacionando-os a precipitação e segundo Vandenberghe (2003) os eventos climáticos mais intensos e sua regularidade sazonal são os grandes responsáveis por promover mudanças significativas nos sistemas fluviais, como erosão e transporte de matéria pelos rios.

Este trabalho apresenta um estudo da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR por meio do Balanço Hídrico Climatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), espacializando os excedentes e as deficiências hídricas em escala temporal anual e mensal.

1.1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR

A bacia hidrográfica do rio Piquiri limita-se ao norte e a leste com a bacia do rio Ivaí, ao sul com a bacia do rio Iguaçu e a oeste o rio Piquiri tem sua foz junto ao rio Paraná. O rio Piquiri tem uma extensão de 485 km e a área de drenagem de toda a bacia é de aproximadamente 24700 km². A Figura 01 mostra a localização da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.

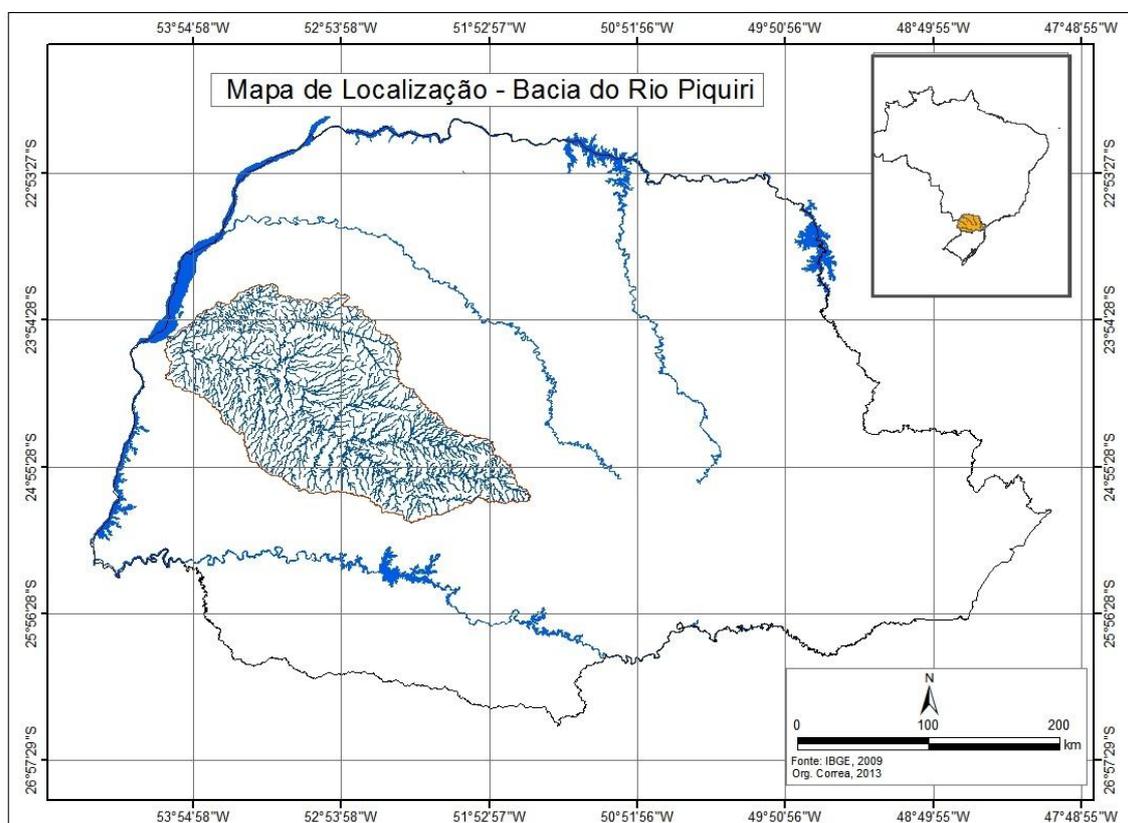


Figura 01 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.



2- Fundamentação teórica

O ciclo hidrológico corresponde ao percurso da água no sistema terrestre, para Silveira (2001, p. 35) “é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera”. Em escala global este ciclo pode ser considerado fechado, mas quando analisado em escalas inferiores do sistema terrestre ele passa a ser compreendido como um ciclo aberto. O vapor de água pode ser considerado a fase inicial do ciclo hidrológico, é através do fenômeno da evaporação e evapotranspiração que a água em forma de vapor é emitida pela superfície dos oceanos e dos continentes (principalmente rios, lagos e seres vivos) e chega até a atmosfera, onde é acumulada nas nuvens e retorna a superfície em forma de precipitação, sendo a chuva a sua forma mais comum, apesar de ocorrer também em forma de neve e granizo.

Na bacia hidrográfica do rio Piquiri a atividade agrícola se destaca como atividade econômica e a vegetação nativa já não se apresenta de forma significativa na área, segundo Pereira et. al. (2002) dependendo do tipo de cobertura vegetal, a interceptação da água da chuva e a sua infiltração apresentará variações, isso dependerá da área foliar, do tamanho e estágio das espécies. Em áreas com culturas anuais/sazonais a interceptação não será a mesma que em áreas de florestas nativas (espécies diversas) ou reflorestadas.

A água armazenada no sistema bacia hidrográfica será regulada (quantidade de água disponível no sistema) por meio de dois fenômenos determinantes, a evaporação e a evapotranspiração. A evaporação está relacionada ao processo de mudança do estado físico da água disponível no ambiente, de forma mais abrangente que a evapotranspiração, trata-se da passagem da água do estado líquido ou sólido para o estado gasoso, isso ocorre em toda superfície do planeta e a energia responsável por esse processo é a radiação solar, para Tucci e Beltrame (2001) além da radiação solar, outros fatores meteorológicos que interferem na evaporação em superfícies livres de água, são a temperatura do ar, o vento e a pressão de vapor. O fenômeno da evapotranspiração é mais complexo, pois se trata não apenas da passagem de estado físico da água, consideram-se outras variáveis importantes no entendimento do ciclo hidrológico.

É o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. Dependendo das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada, e do suprimento de água pelo solo, definiram-se situações bem características, tais como, *potencial, real, de oásis, e de cultura*. Pereira et al. (2002, p. 215)



A evapotranspiração potencial (ETP) é uma estimativa realizada em condições ideais de ambiente (sem restrição hídrica), é considerado o tipo de cobertura vegetal, a área foliar da cultura e o tamanho da vegetação, geralmente terrenos gramados são os mais utilizados como base de comparação ideal para a ETP.

Pereira et al. (2002) define a evapotranspiração real (ETR) como sendo a quantidade de água realmente utilizada por uma determinada superfície vegetada com grama e que pode ou não sofrer restrição hídrica, ou seja, a ETR indica efetivamente as condições de ambiente, portanto em caso de escassez de água a ETR será menor que a ETP.

2.1 - Procedimentos Metodológicos

O balanço hídrico segundo Ometto (1981, p.374) trata “da contabilidade de entrada e saída de água no solo”, de forma mais abrangente Pereira et al. (2002) explica que o balanço hídrico é resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em determinado volume de solo vegetado, ou seja, a quantidade de água armazenada em determinada área por um determinado tempo representa o volume e entrada e saída de água no volume de controle. Optou-se por utilizar a metodologia do Balanço Hídrico Climatológico por facilitar a análise de como sucedem-se as trocas materiais e energéticas da água na bacia hidrográfica do rio Piquiri, uma vez que o excedente e a deficiência hídrica funcionam como um indicador importante da participação da precipitação pluviométrica na dinâmica hidroclimatológica da área de estudo.

Para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se por realizar o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) de Thornthwaite e Mather (1955), que consiste em mensurar os excedentes e as deficiências hídricas anuais para a média histórica analisada. Galvani (2008) utilizou essa proposta de cálculo de BHC em um estudo comparativo entre Piracicaba e São Paulo – Brasil e Paris-França, e aponta a importância do uso dessa metodologia bem como sua complexidade estatística.

Esta metodologia pressupõe a participação efetiva da temperatura média do ar e a precipitação pluviométrica como uma das variáveis necessárias para a obtenção do BHC. A área não dispõe de uma rede de coleta de dados de temperatura do ar tão consistente como a rede de coleta de precipitação pluviométrica, para isso fez-se necessário utilizar-se da estimativa da temperatura média do ar proposta por Pinto e Alfonsi (1974) que através do emprego de uma regressão linear múltipla possibilita a estimativa média mensal da temperatura do ar. Esta metodologia foi utilizada por Armani et al. (2007) e apresentou resultados satisfatórios para a região de Ubatuba no estado de São Paulo.



$$T_{med} = a + b(\text{altitude}) + c(\text{latitude}) + d(\text{longitude})$$

Os coeficientes a , b , c e d já são pré-determinados por Pinto e Alfonsi (1974) para o estado do Paraná e podem ser observados na Tabela 01.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
a	37,00	38,70	40,50	47,20	46,60	46,50	49,50	54,00	54,30	48,30	46,40	37,80
b	-0,0056	-0,0055	-0,0053	-0,0046	-0,0038	-0,0036	-0,0034	-0,0037	-0,0038	-0,0052	-0,0055	-0,0060
c	-0,0072	-0,0084	-0,0105	-0,0170	-0,0190	-0,0199	-0,0220	-0,0238	-0,0229	-0,0172	-0,0148	-0,0081
d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 01 - Valores dos coeficientes a , b , c e d da equação da estimativa da temperatura média mensal para o estado do Paraná.
 Fonte - Pinto e Alfonsi (1974)

Segundo Pereira *et al.* (2002) este procedimento de estimativa da temperatura média do ar é baseada na latitude do local devido a sua relação com a irradiância global, na altitude devido o efeito da variação da pressão, e em regiões litorâneas acrescenta-se o coeficiente d (longitude). No caso do estado do Paraná o último coeficiente é descartado devido a sua pequena variação nos limites geográficos do estado.

Para a obtenção do BHC utilizou-se 73 postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná adotados para a distribuição da precipitação e uma série histórica de 1976-2010, cada posto dotado das respectivas altitudes e latitudes estimou-se a temperatura média do ar por meio da regressão linear múltipla e espacializou-se por meio da interpolação, o cálculo do BHC foi realizado utilizando a planilha desenvolvida por Rolim *et al.* (1998). Após a elaboração do BHC, foram selecionados os excedentes e as deficiências hídricas de cada posto e através da interpolação (krigagem) espacializou-se o fenômeno em escala temporal média mensal e anual.

3- Análise e discussão dos resultados

Anualmente a bacia hidrográfica do rio Piquiri não apresentou deficiência hídrica. Uma distribuição regular da precipitação pluviométrica média anual variando de 80,0 a 190,0 mm e temperaturas médias do ar variando de 15°C a 23°C anualmente, confere à bacia um regime de disponibilidade hídrica durante o ano todo, caracterizando-a em termos médios como uma área sem restrições hídricas.

Analisando as Figuras 02 e 03 observa-se que o setor centro-sul da bacia onde as temperaturas são reduzidas, de 16°C a 18°C, também registra-se os excedentes anuais,



mais elevados, situação oposta ocorre ao norte e noroeste da bacia, com temperatura média de 20°C a 21°C e excedente hídrico reduzido variando de 10,0 mm a 30,0 mm.

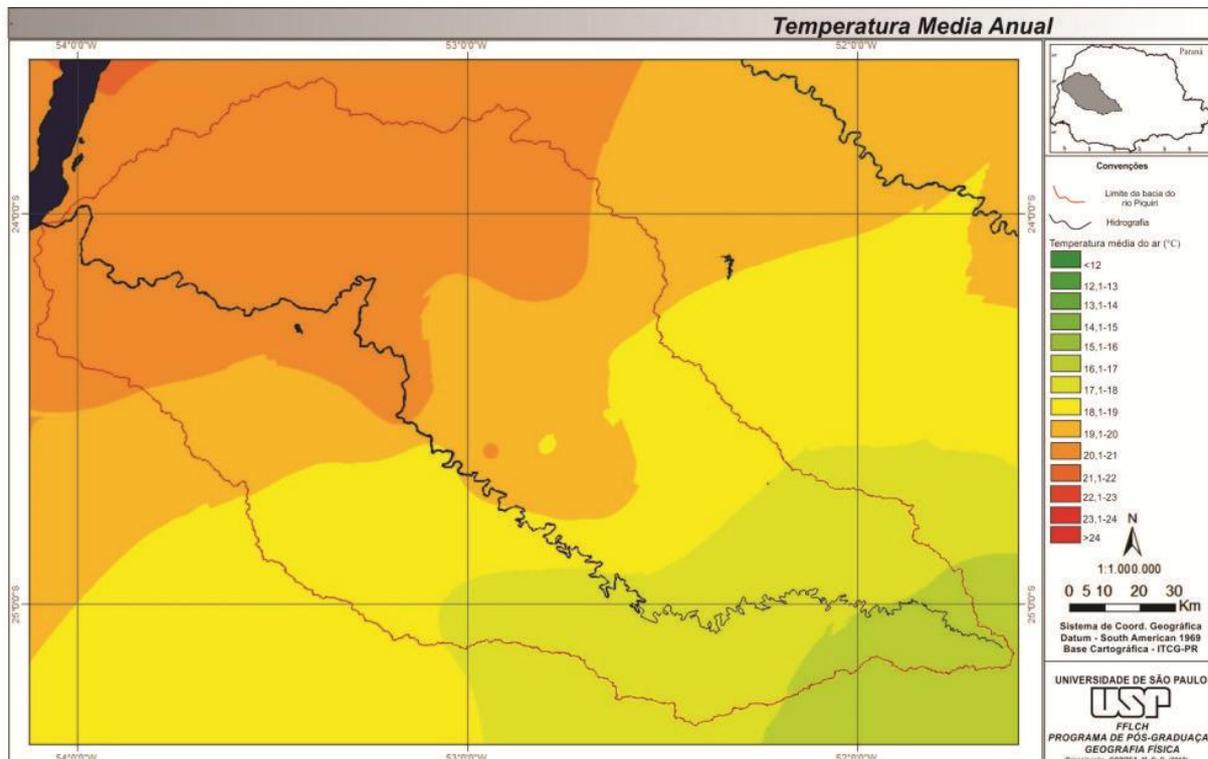


Figura 02- Temperatura média do ar anual estimada pelo método de regressão linear de Pinto e Alfonsi (1974) para a bacia hidrográfica do Rio Piquiri-PR.

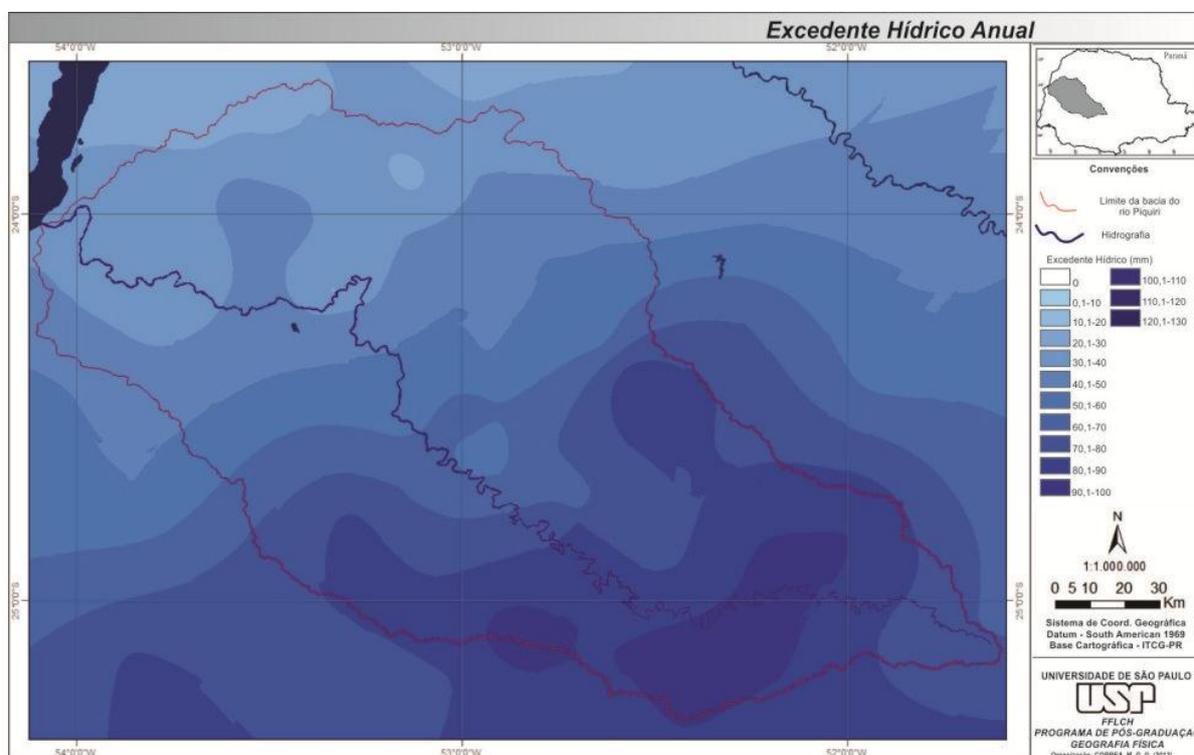


Figura 03 - Excedente hídrico médio anual para a bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.



Analisando a disponibilidade hídrica mensalmente nota-se que ao contrário do panorama médio anual a variabilidade é mais evidente, a Figura 04 mostra os excedentes mensais, maio e outubro apresentaram os maiores excedentes, em média 116,0 mm e 112,0 mm respectivamente, ambos os meses apresentaram uniformidade na distribuição espacial dos excedentes hídricos, sendo o setor sul o de maior concentração, reduzindo gradualmente em direção o norte da bacia.

Os meses de maio e outubro são os mais chuvosos, a conjuntura de sistemas atmosféricos associados às características do relevo proporciona ao setor sul da bacia um acúmulo médio de umidade para maio e outubro que se destaca dos demais meses.

Os meses de março e agosto apresentaram excedente hídrico reduzido com relação aos demais meses, agosto é o mês menos chuvoso para a bacia hidrográfica do rio Piquiri segundo Correa (2013), conseqüentemente apresenta um excedente hídrico médio de 32,0 mm, porém março e fevereiro são os meses com maior variabilidade hídrica, apresentando em média 27,0 mm e 52,0 mm respectivamente, o extremo norte da bacia, apresentou uma retirada no mês de fevereiro e em março todo o oeste e norte da bacia, apresentou deficiência hídrica de aproximadamente 1,0 a 2,0 mm.

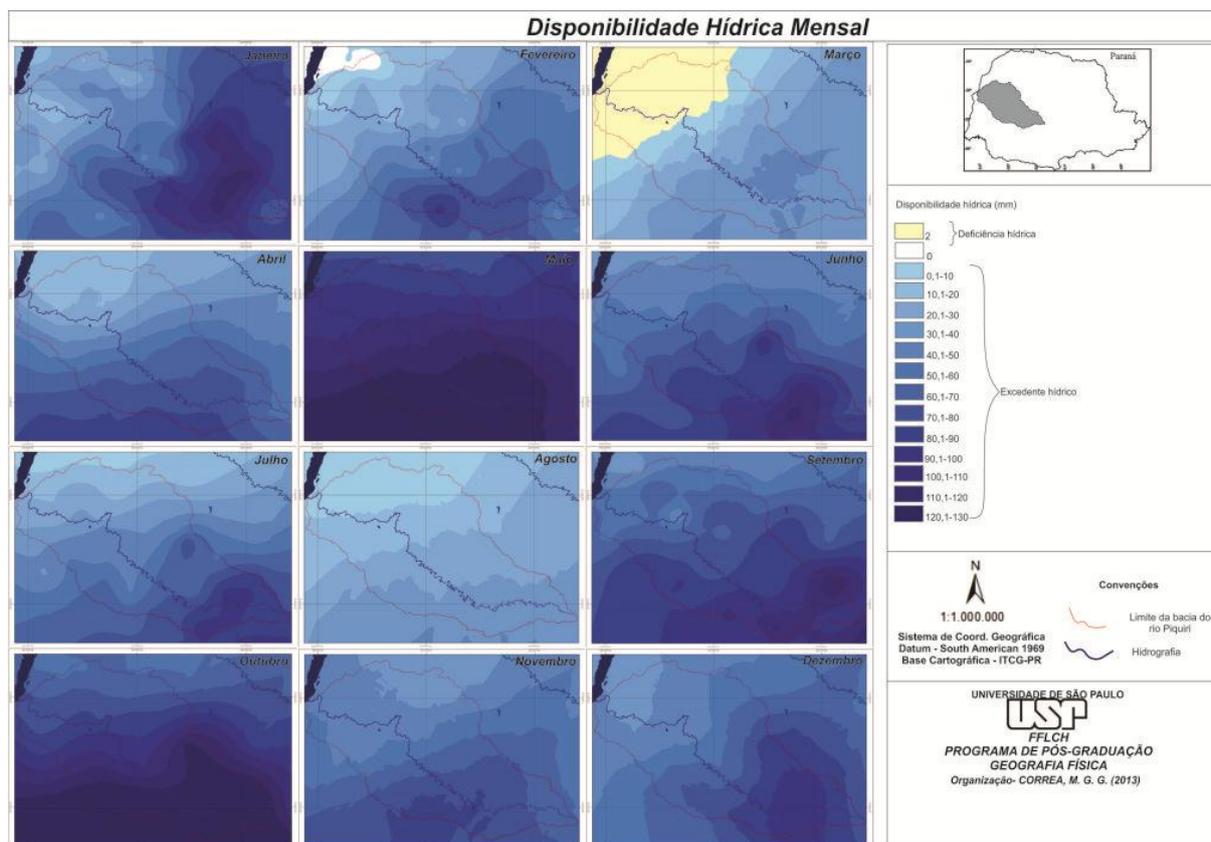


Figura 04 - Disponibilidade hídrica média mensal para a bacia hidrográfica do rio Piquiri-PR.



O fator que contribui para essa deficiência hídrica no mês de março em todo o norte, noroeste e oeste da bacia, é a temperatura do ar. Observando a Figura 05 nota-se que ainda em março estes setores da área de estudo apresentam temperaturas elevadas, 23°C a 24°C, isso ocasiona um aumento da evapotranspiração potencial, maximizado devido à redução considerável das chuvas nessa época do ano, se comparado aos meses anteriores.

No mês de maio os valores de precipitação são elevados e a temperatura média do ar tem uma acentuada redução, principalmente no sul da bacia hidrográfica, com isso os processos de evapotranspiração e evaporação são minimizados e ocorre elevação do excedente hídrico.

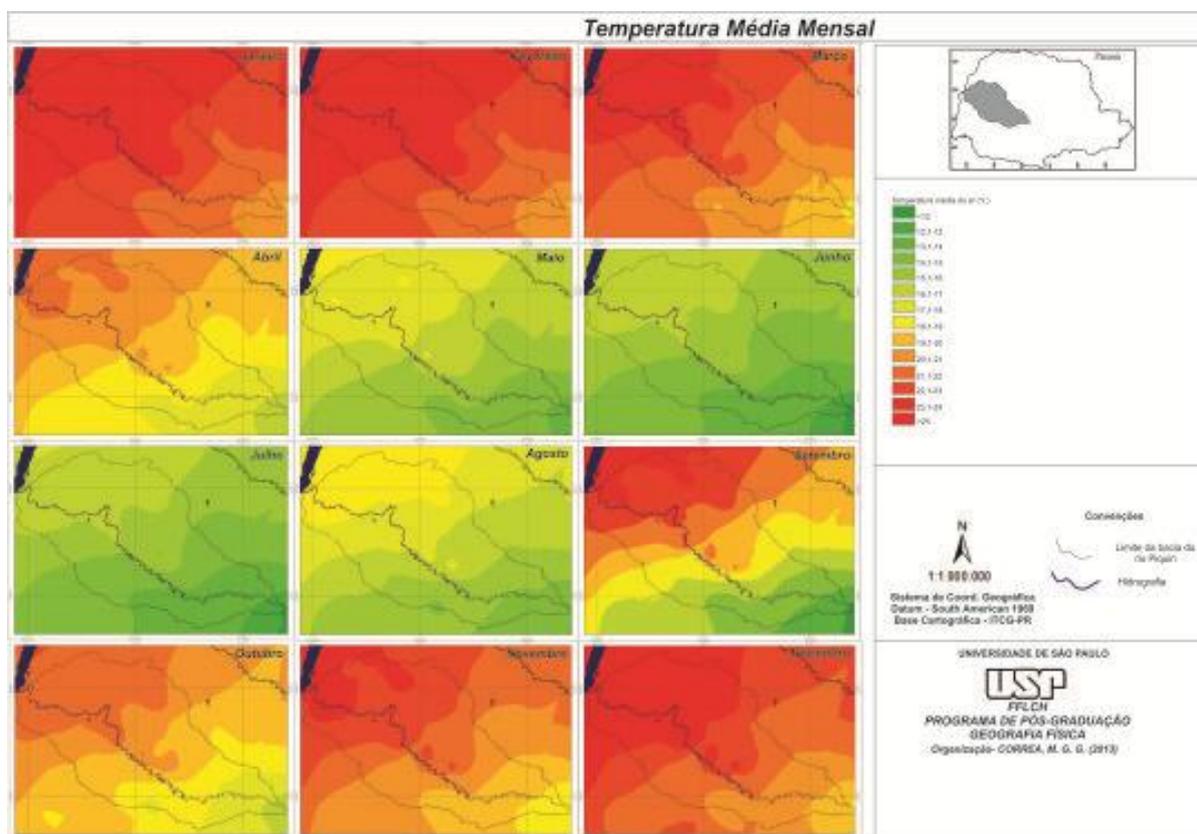


Figura 05 - Temperatura média do ar mensal estimada pelo método de regressão linear de Pinto e Alfonsi (1974) para a bacia hidrográfica do Rio Piquiri-PR.

A variação do excedente e deficiência hídrica está inteiramente relacionada as variações da temperatura do ar, o setor norte da bacia hidrográfica do rio Piquiri apresenta as temperaturas médias mais elevadas e os excedentes mais reduzidos, apresentando inclusive retirada e deficiência nos meses de fevereiro e março, enquanto o setor sul e sudeste apresentam temperaturas médias reduzidas e o excedente hídrico mais elevado durante todo o ano.



4 – Considerações Finais

Anualmente a bacia hidrográfica do rio Piquiri não apresenta deficiência hídrica, mensalmente observou-se retirada hídrica no mês de fevereiro, no setor norte da bacia e deficiência hídrica de 1,0 mm a 2,0 mm nos setores oeste e norte.

A falta de dados de temperatura média do ar dificultou uma análise detalhada da disponibilidade hídrica na área de estudo, enquanto a rede de coleta de dados pluviométricos apresentou-se satisfatória para a espacialização do Balanço Hídrico Climatológico.

A falta de uma rede representativa para os dados de temperatura do ar não possibilitou a obtenção do balanço hídrico climatológico para um ano chuvoso, seco e habitual, por exemplo, uma vez que o procedimento de estimativa da temperatura permite apenas o cálculo da temperatura média, porém a metodologia apresentou-se satisfatória para a análise dos excedentes e das deficiências hídricas médias.

Com os resultados obtidos nessa pesquisa pode-se prognosticar que em situações de excepcionalidade o setor norte e oeste da bacia estão sujeitos a maior deficiência hídrica que os setores sul e sudeste da bacia hidrográfica do rio Piquiri.

5 - Referências

ARMANI, G.; TAVARES, R.; SILVA, M. G. **Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do município de Ubatuba - SP**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Natal, 2007.

CORREA, M. G. G. **Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do Balanço Hídrico Climatológico para duas cidades do Estado de São Paulo e para Paris. Paris: **Confins**, 2008.

HEWLETT, J.D.; HIBBERT, A.R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: SOPPER, W.E.; LULL, H.W. **Forest hydrology**. New York: Pergamon Press. 1967.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981.



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

PINTO, H. S.; ALFONSI, R. R. Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no estado do Paraná, em função de altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, 1974.

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, p. 133-137, 1998.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

THORNTWAITE, C.W; MATHER, J.R. **The water balance climatology**. Centeton, , v.8, nº 1, p.1-86, 1955.

TUCCI, C. E. M.; BEALTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

VANDENBERGUE, J. Climate forcing of fluvial system development: An evolution of ideas. **Quaternary Science Reviews**, v.22, 2003.