

# **BALANÇO HÍDRICO USANDO ESTIMATIVAS MÉDIAS MENSAIS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO REGIONAL OBTIDAS ATRAVÉS DE UM MODELO OPERACIONAL. PARTE I.**

**Benedita Célia MARCELINO<sup>1</sup>, Claudinéia M. BRAZIL<sup>2</sup>**

## **RESUMO**

O modelo de Morton(1983 a) foi aplicado nesta pesquisa, com o propósito básico de usar as estimativas de evapotranspiração regional no cálculo do balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite (1955), para regiões distintas do Estado de São Paulo, e verificar a disponibilidade de água nesses locais, a análise dos resultados dos balanços hídricos mostrou que o Estado de São Paulo não possui condições extremas de excedentes de água, que possam prejudicar a agricultura, e nem mesmo as cidades. Quando as deficiências de umidade nas regiões onde ocorrem, compreendem períodos curtos de tempo geralmente no inverno, não causando grandes danos à agricultura.

*PALAVRAS CHAVES:* Evapotranspiração Regional, Balanço Hídrico

## **INTRODUÇÃO**

O balanço hídrico tem sido necessário nos vários campos científicos que trata dos numerosos problemas do manejo de água, tais como controle de intervalo de irrigação, planejamento de recursos de água, classificação climática, vazão, previsão de enchentes, previsão de incêndio de floresta, e outros. A bibliografia sobre balanço hídrico é extensa. No Brasil, os primeiros estudos de balanço hídrico foram feitos por agrometeorologistas que, de posse de dados meteorológicos, calcularam balanços estimando evapotranspiração por fórmulas teórico-empíricas (principalmente equação de PENMAN, 1948) e assumindo a variação de armazenamento de água no solo constante e independente do tipo de solo. Pode-se, também, citar CAMARGO (1961) e VILLA NOVA (1967), que se destacaram na estimativa de evapotranspiração potencial para o Estado de São Paulo. VILLA NOVA (1967) estimou evapotranspiração potencial para vinte e quatro municípios do Estado de São Paulo, aplicando o método de PENMAN (1948). Apresentou ainda um confronto dos valores estimados com medidas diretas realizadas em tanques e evapotranspirômetros, sugerindo coeficientes de conversão. CAMARGO (1964) apresentou, também, um balanço hídrico para o Estado de São Paulo. A evapotranspiração, embora seja um dos principais componentes do balanço hídrico, é um parâmetro extremamente difícil de ser medido ou estimado. Uma vez que o modelo Relação Complementar de MORTON (1983 a) é um modelo operacional de fácil aplicação, e proporciona um método promissor de estimativa de evapotranspiração regional, ele foi utilizado neste trabalho, com o propósito básico de aplicar essas estimativas no cálculo do balanço hídrico, para um período de 14 anos, em locais distintos do estado de São Paulo, com o objetivo de

<sup>1</sup> Professora Doutora. Departamento de Meteorologia, FMet/UFPeI

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Graduação em Meteorologia. FMet/UFPeI

investigar a disponibilidade de água dessas diferentes regiões, quando se considera um longo período.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa foram selecionadas vinte estações hidrometeorológicas, cujas localizações geográficas são mostradas na tabela 1. A escolha dessas estações deve-se ao fato das séries de dados não apresentarem nenhuma falha e, também, porque esses locais representam regiões distintas do Estado de São Paulo. As estações pertencem às redes de estações de superfícies do DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica - e CESP - Companhia Energética do Estado de São Paulo. O período de dados da pesquisa foi de 1980 à 1993, devido a disponibilidade no IPMET - Instituto de Pesquisas Meteorológicas - e melhor qualidade dos dados. São dados diários de temperatura do ar (°C), temperaturas do ponto de orvalho (°C), insolação (horas/dia), precipitação diária (mm) e médias anuais de precipitação para um período de 30 anos.

**Tabela 1** - Relação das estações meteorológicas usadas neste estudo. As estações que estão destacadas com um asterístico (\*) são pertencentes à CESP e as demais ao DAEE.

<i>Estações Meteorológicas</i>	<i>Prefixo</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>
Água Vermelha*	019500M	19°51'	50°20'	398
Barra Bonita	D5-028M	22°31'	48°32'	456
Biritiba Mirim	E2-110M	23°38'	45°57'	880
Botucatu	D5-059M	22°57'	48°26'	873
Caconde	C3-003M	21°34'	46°37'	880
Capivara*	022510M	22°38'	51°23'	320
Campos do Jordão	D2-096M	22°42'	45°29'	1600
Ibitinga	C5-110M	21°45'	49°00'	385
Ilha Solteira*	020510M	20°21'	51°23'	326
Mococa	C4-007M	21°38'	47°01'	580
Mojiguaçu	D4-100M	22°17'	47°09'	580
Paraibuna*	023450M	23°24'	45°36'	720
Pindamonhangaba	D2-014M	22°54'	45°26'	526
Piraju	E6-006M	23°13'	49°14'	571
Pontal	D9-020M	22°37'	52°10'	255
Pradópolis	C5-104M	21°22'	48°04'	540
Promissão*	02149M	21°17'	49°47'	380
Salto Grande	D6-089M	22°54'	50°00'	400
Urubupunga*	02051M	20°48'	51°34'	356
<b>Votuporanga</b>	B6-036M	20°26'	50°00'	510

Para estimar a evapotranspiração potencial e real de área foi usado o programa computacional WREVAP, desenvolvido por MORTON et alii (1985). O programa WREVAP é fundamentado no conceito de uma relação complementar entre evapotranspiração potencial e real, e tem três opções: modelo CRAE (relação complementar de evapotranspiração de área), modelo CRWE (relação complementar de evaporação em superfície saturada) e modelo CRLE (relação complementar de evaporação em lago). A opção do programa WREVAP utilizada nesta pesquisa foi o modelo CRAE.

### **Base Conceitual do Modelo Relação Complementar**

A equação que descreve a relação complementar, segundo MORTON (1983a,b), é expressa da seguinte maneira:

$$E_{TR} + E_{TP} = 2E_{TW} \quad \text{ou} \quad E_{TR} = 2E_{TW} - E_{TP}, \text{ onde:}$$

$E_{TR}$  = a evapotranspiração de área, a evapotranspiração real em uma área bastante extensa, que os efeitos dessa evapotranspiração dominam o campo de temperatura e de umidade do ar, tal que os efeitos da camada de transporte, que entram na vizinhança, efeitos de oásis, possam ser desprezados;

$E_{TP}$  = a evapotranspiração potencial, estimada de uma solução das equações de balanço de energia e transporte de vapor, representando a evapotranspiração que ocorreria em uma superfície úmida hipotética, com características de absorção de radiação e transporte de vapor semelhantes àquelas da área, e tão pequena que os efeitos de sua evapotranspiração sobre o ar circulando na região seriam desprezíveis;

$E_{TW}$  = a evapotranspiração de um ambiente úmido, a evapotranspiração potencial que ocorreria se as superfícies solo-planta da área estivessem saturadas e não existissem limitações na disponibilidade de água para evapotranspiração.

O programa WREVAP foi desenvolvido para aceitar dados climatológicos mediados para um período que varia de um dia a um mês (MORTON et alii, 1985), embora, estimativas do modelo para períodos de três dias ou menos sejam duvidosas. Nesta pesquisa os dados de entrada no programa, para o modelo CRAE, foram médias mensais de temperatura do ar (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), insolação (horas/dia), altitude da estação (m), latitude da estação (graus) e média anual de precipitação (período 30 anos). As saídas foram: evapotranspiração potencial mensal e evapotranspiração real de área (regional) mensal em milímetros, e radiação líquida mensal em milímetros de evaporação equivalente. Estes resultados foram obtidos para as 20 estações

meteorológicas selecionadas, para o período de 14 anos. Adotou-se para o cálculo do balanço hídrico, para as diferentes regiões do Estado de São Paulo, o método mais moderno, desenvolvido por THORNTHWAITE-MATHER (1955). A modificação feita foi em relação a evapotranspiração. Em vez de usar a evapotranspiração potencial estimada pela fórmula derivada por THORNTHWAITE (1948), em função somente da temperatura, usou-se estimativas de evapotranspiração real de área (regional) do modelo de Relação Complementar de Morton.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O presente trabalho realizou balanços hídricos, para as várias regiões distintas do Estado de São Paulo, considerando o solo como capaz de armazenar 100 mm de umidade. De acordo com CAMARGO (1964), a capacidade de armazenamento de água nos solos, para as plantas agrícolas em geral, pode ser considerada da ordem de 100 mm pluviométricos. TUBELIS & NASCIMENTO (1980) citam que, para plantas agrícolas comuns, cultivadas normalmente sem irrigação, como o milho, algodão, cana-de-açúcar, café, laranja, mamona, mandioca, etc., o limite de 100 mm é razoável.

Os valores de precipitação e evapotranspiração regional são médias mensais, obtidas para o período de 1980 a 1993. Para se ter idéia das informações sobre variação de água armazenada, deficiência de umidade e excedentes de água sujeitos à percolação, o balanço é realizado para todos os locais onde as estações meteorológicas foram selecionadas (Tabela 1), com os valores médios mensais. O objetivo do balanço hídrico, com as médias mensais, é verificar as disponibilidades de água no solo nas diferentes regiões do Estado de São Paulo, quando se considera um longo período de tempo (média de vários anos).

Os balanços hídricos das médias mensais meteorológicas mostraram que, no Estado de São Paulo, existem condições de extrema umidade no lado leste e nordeste, com excedentes de água no solo, cerca de 940 mm por ano, em Biritiba Mirim (880 m de altitude) na região da Serra do Mar. Excedentes de 783 mm e 643 mm em Campos do Jordão e Caconde, respectivamente, na Serra da Mantiqueira, enquanto regiões com excedentes de água no solo muito baixos, em torno de 87 mm, em Ilha Solteira, ocorrem à oeste do Estado. De um modo geral, verifica-se através do Quadro 2 que os maiores excedentes de água ocorrem no leste e nordeste do Estado de São Paulo (exceto em Paraibuna, à leste, com 191 mm por ano), e os valores mais baixos são observados do lado oeste (exceto em Votuporanga, com 321 mm por ano). Observa-se que Paraibuna (720 m de altitude) e Pindamonhangaba (526 m de altitude), ambas do lado leste, têm valores médios anuais de precipitação e evapotranspiração regional bem próximos, mas em relação à excedentes de água e deficiência de umidade no solo, diferem bastante.

**Tabela 2** - Resumos anuais dos balanços hídricos das médias mensais, segundo Thornthwaite-mather (1955), para as vinte localidades do Estado de São Paulo para o período de 14 anos(1980-1993).

<b>Localidades (1980-1993)</b>	<b>Precip. (mm)</b>	<b>Evapotransp. (mm)</b>	<b>Exced. de água (mm)</b>	<b>Defic. de água (mm)</b>
Biritiba Mirim	2004	1064	940	0
Campos do Jordão	1880	1104	783	7
Paraibuna	1318	1159	191	32
Pindamonhangaba	1356	1056	304	4
Caconde	1667	1038	643	12
Mococa	1479	1053	430	4
Barra Bonita	1406	1094	314	2
Botucatu	1490	1091	401	2
Mojiguaçu	1393	1086	310	3
Piraju	1499	1195	307	3
Salto Grande	1416	1067	349	0
Capivara	1391	1121	272	2
Ibitinga	1410	1103	309	2
Pradópolis	1436	1100	352	16
Promissão	1299	1197	139	37
Pontal	1339	1179	162	2
Água Vermelha	1319	1090	263	34
Urubupunga	1196	1051	149	4
Ilha Solteira	1164	1077	87	4
Votuporanga	1370	1051	321	2

Na análise das médias anuais de temperatura, umidade relativa e déficit de saturação (Tabela 3), observa-se que a região oeste é bem mais quente e seca. A região leste e nordeste tem temperatura média anual mais baixa, especialmente, nos pontos mais altos das serras, onde é bem frio, e apresenta uma atmosfera muito úmida, próxima à saturação. A precipitação é abundante à leste do Estado, diminuindo para oeste. Estas observações à leste e nordeste estão consistentes com os resultados obtidos dos balanços hídricos nestas regiões, pois são extremamente úmidas. Na região do Planalto Paulista mais para o interior e, também, próximo a fronteira com o Estado do Paraná, os valores de excedentes de água no solo são intermediários entre os valores do lado leste e nordeste do Estado de São Paulo.

**Tabela 3** - Médias sazonais (período chuvoso e seco) e média anual de temperatura, déficit de pressão de saturação e umidade relativa, para o período de 14 anos (1980 a 1993).

Localidades (1980-1993)	Período Chuvoso			Período Seco			Período Anual		
	T (°C)	es-ed (mb)	UR %	T (°C)	es-ed (mb)	UR %	T (°C)	es-ed (mb)	UR %
Biritiba Mirim	20.0	2.8	88	15.9	2.3	87	17.9	2.6	88
Campos do Jordão	16.5	2.6	86	12.2	2.3	84	14.3	2.5	85
Paraibuna	21.2	4.6	82	17.0	3.6	81	19.1	4.1	82
Pindamonhangaba	22.9	6.0	78	18.3	4.6	78	20.6	5.3	78
Caconde	22.6	7.0	75	18.9	6.3	71	19.2	6.6	73
Mococa	24.1	7.8	74	19.7	6.7	71	21.9	7.3	72
Barra Bonita	24.3	8.1	73	19.4	5.9	74	21.8	7.0	74
Botucatu	21.6	6.0	77	16.6	5.3	74	19.6	5.6	75
Mojiguaçu	23.2	6.9	76	18.4	5.5	74	20.8	6.2	75
Piraju	23.0	6.0	79	18.2	4.1	82	20.6	5.1	74
Salto Grande	24.3	8.2	73	19.5	6.2	73	21.9	7.2	73
Capivara	25.2	9.2	71	20.4	6.9	71	22.8	8.1	71
Ibitinga	25.4	9.0	72	20.8	7.5	70	23.1	8.3	71
Pradópolis	24.7	7.3	73	20.1	7.2	70	22.4	7.8	71
Promissão	26.0	8.2	74	21.2	7.6	70	23.1	7.9	72
Pontal	24.8	7.9	75	19.5	5.8	75	22.2	7.0	75
Água Vermelha	25.7	9.3	72	22.6	9.6	65	24.2	9.5	68
Urubupunga	25.7	9.3	72	21.8	9.2	65	23.7	9.2	68
Ilha Solteira	25.9	9.4	72	22.3	9.4	65	24.1	9.4	68
Votuporanga	25.2	8.2	74	22.1	9.8	63	23.6	9.0	69

A deficiência de umidade no solo, de maior interesse para a agricultura, observada no Quadro 2, na maior parte dos locais em estudo, onde o balanço hídrico foi realizado, é pequena. A análise dos balanços hídricos, mostra que a deficiência na maior parte desses locais ocorre apenas no mês de agosto ou julho-agosto, que correspondem ao inverno. Existem locais, tais como Biritiba Mirim, na região da Serra do Mar, e Salto Grande, nas proximidades da fronteira com o Estado do Paraná, que a deficiência anual de umidade é zero. Os valores mais significativos de deficiência de água e mais prolongados, estendendo-se de quatro à sete meses, foram obtidos em Paraibuna (32 mm), na Serra do Mar, em Pradópolis (16 mm) e Promissão (37 mm), na região do planalto, e em Água Vermelha (34 mm), no extremo noroeste. Embora essa deficiência de umidade seja baixa e ocorra num período relativamente pequeno, ela já pode causar algum prejuízo para culturas de hortaliças.

## CONCLUSÃO

Os resultados dos balanços hídricos, para os valores médios de longo prazo, mostraram que à leste e nordeste do Estado de São Paulo os excedentes de água são altos e as deficiências são baixas (exceto em Paraibuna) ou não existem(Biritiba Mirim). Na região do Planalto Paulista e mais para oeste os excedentes de água diminuem, mas a deficiência ainda é pouco significativa, exceto em alguns locais onde são altas, mais prolongados estendendo-se por vários meses, podendo causar sérios problemas à agricultura.

## **BIBLIOGRAFIA**

- CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. BRAGANTIA- Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, v.21, n.12, p.163-13, 196.
- CAMARGO, A.P. Balanço hídrico do Estado de São Paulo. Boletim do Instituto Agrônômico de Campinas, v.116, p.1-24, 1964.
- MORTON, F.I. Operational estimatives of areal evapotranspiration and their significance to the science Nd practice of hydrology. Journal of Hydrology, v.66, p.1 – 76, 1983<sup>a</sup>
- MORTON, F.I., RICARD, F., FOGARASI, S. Operational estimatives of areal evapotranspiration Nd lake evaporation – Program WREVAP. National Hydrology Research Institute, Inlan Waters Directorate, Ottawa, Canada, NHRI PAPER, n. 24, 1985.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open Water, bare soil Nd grass. Proceedings of the Royal Society of London, v.193, p.12 – 145, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W. “ An approach toward a rational classification of climate”. Geographical Review, v.38, p.55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATTER, J.R. The water Balance. Publications in Climatology, Centerton N.J., v.8, n.1, 1955, 104p.
- TUBELIS, A., NASCIMENTO, F.J.L Meteorologia Descritiva: Fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo, Nobel, 1980, 374p.
- VILLA NOVA, N.A. A estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1967, Tese, (Doutorado), E.S.A. “Luiz de Queiroz”U.S.P.).