



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Análise comparativa de intensidade e duração de deficiência hídrica em anos de seca severa em Piracicaba, SP**



*Luiz R. Angelocci<sup>1</sup>; Fábio R. Marin<sup>2</sup>; Murilo S. Vianna<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Sênior, Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, Fone: (19)3429-4283, lrangel@usp.br

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba, fabio.marin@usp.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando CPG Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, murilodsv@gmail.com

**RESUMO:** O SE do Brasil passa nos últimos tempos por uma séria crise hídrica, que afeta a agricultura e os reservatórios hidroelétricos e de abastecimento humano em muitos locais. À parte os problemas de planejamento de uso da água nessas atividades, uma causa básica deve ser procurada no clima. O trabalho teve o objetivo de estudar a ocorrência de secas severas em Piracicaba, SP, pela análise da deficiência hídrica no solo pelo cálculo de balanços hídricos seriados decendiais seg. Thornthwaite e Mather, com valores de capacidade de água disponível no solo de interesse agrônômico, utilizando a série da estação meteorológica da ESALQ/USP desde 1917. A evapotranspiração potencial (ETP) foi calculada pelo método de Camargo, no qual se usa a temperatura efetiva a partir dos valores extremos, pois há indicações de que esse procedimento melhora a estimativa de ETP. Constatou-se ocorrência de deficiência hídrica que se prolonga do início para o período de final do ano e, as vezes, até o primeiro trimestre do ano seguinte, fugindo da característica típica de outono e verão sem deficiência hídrica (DH). Anomalias de intensidade e duração de DEF foram observadas em todas as décadas, com exceção das de 40, 90 e da primeira década deste século; em algumas décadas observou-se mais de um evento periódico por década. Situações análogas de grau e duração que ocorreram em 2014/15 foram constatadas desde o início da série, tornando difícil concluir categoricamente que a situação nesse último período é causada por mudança climática, exigindo observações nos anos a seguir para uma melhor definição nesse sentido.

**PALAVRAS-CHAVE:** seca climatológica, balanço hídrico, série climatológica

### **Comparative analysis of degree and duration of soil water deficits determined by climatic water balance in years of severe drought in Piracicaba, SP**

**ABSTRACT:** The southeastern Brazil shows in recent times a serious water crisis that affects agriculture, hydroelectric and human water supply reservoirs in many parts of the region. Although there have been water-use planning problems in these activities, a basic question must be sought in climatological records, often with increased water stress period. The analysis in this paper was carried out with the calculation of serial water balances in ten-day steps according the model of Thornthwaite and Mather, with desirable agronomic soil CAD values, using the series of weather station of ESALQ / USP from January 1917 until March 2014. The potential evapotranspiration (ETP) was calculated by Camargo method, using the effective air temperature based on extreme values, since this procedure improves the ETP estimation in the region, especially in the dry season. The analysis of the degree and the number of periods of ten days with water deficit (DEF) indicates anomalies in which the DEF extends to the end of the year, or even up to the first three months of the following year, when water deficits are normally not expected. Severe droughts were observed in all decades, excepting those of 40, 90 and for the first of this century. In some of those, there was more than one for decade. Analog results to the degree and duration of deficit in 2014-15 were found from even in first years of the weather serie, making



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

difficult to conclude that such situation would be caused by a climatic change and requiring observations in the following years for better definition in this sense.

**KEYWORDS:** climatologic drought, water balance, climatological series

## INTRODUÇÃO

O SE brasileiro passa por grave crise hídrica, afetando a agricultura e os reservatórios para geração hidrelétrica e/ou para abastecimento humano. A crise é desencadeada por causas climáticas, principalmente pela diminuição do regime pluviométrico no ano de 2014 e, também, por problemas de planejamento adequado dos recursos hídricos. O principal efeito climático refere-se ao regime de chuva, o que tem suscitado preocupação, no caso de disponibilidade hídrica acima citadas, com a possibilidade de diminuição do regime pluviométrico da região nos anos a seguir, o que demanda conhecimentos técnico-científicos que envolvam aspectos de séries temporais e modelagem climática.

A elaboração do balanço hídrico (BH) a partir do cotejo entre o ganho (precipitação) e a perda (evapotranspiração) de água do solo é técnica de grande interesse, por permitir a estimativa da variação regional do armazenamento de água e de parâmetros como a evapotranspiração, adeficiência e o excedente hídrico, em condição específica de capacidade de água disponível (CAD), permitindo acompanhar no tempo a magnitude e duração da seca.

Uma metodologia muito usada no cálculo de BH é o clássico modelo de Thornthwaite e Mather (1955), que é uma ferramenta útil na caracterização regional da disponibilidade hídrica para aplicações agroclimáticas. Na sua elaboração são necessárias variáveis climáticas que permitem a estimativa da evapotranspiração potencial (ETP) e da real (ETR) sob condições de determinada cobertura vegetal, além de propriedades físico-hídricas do solo e de características de profundidade de exploração do sistema radicular de uma cultura que definem a capacidade de água disponível (CAD) no solo. A literatura sobre o assunto é extensa, envolvendo não somente sua aplicabilidade, mas também o desempenho de métodos de estimativa de ETP (Pereira et al., 2002). As equações de estimativa de ETP vão desde as mais simples com uso de temperatura do ar (Thornthwaite e Mather, 1955; Camargo e Camargo, 1983; Camargo et al. 1999), até as mais elaboradas, como a de Penman-Monteith padrão FAO (Allen et al., 1998), que utilizam mais de uma variável meteorológica na estimativa.

A elaboração de BHs em sequência temporal é uma forma adequada de estudar a ocorrência das secas. A partir da série histórica de dados meteorológicos da estação desde 1º de janeiro de 1917, foram elaborados balanços sequenciais até março de 2015, com o objetivo de se fazer uma análise da magnitude e a duração das deficiências hídricas em todo esse período, dando-se ênfase aos anos de seca severa, como forma de comparar essas características nos diferentes anos de ocorrência.

## MATERIAL E MÉTODOS

O BH seriado foi calculado pelo modelo de Thornthwaite e Mather (1955), em escala decenal, tendo-se optado pelo cálculo com fixação da CAD igual a 100 mm, por ser um valor que se aplica em estudos agroclimáticos para grande gama de culturas, mas também porque o objetivo foi comparativo dos anos. O método denominado de Camargo (Camargo, 1971; Camargo e Camargo 1983), que emprega como variáveis a temperatura do ar (T) e a irradiância solar  $Q_0$  no limite externo da atmosfera foi empregado para calcular ETP (eq. 1). Para métodos que tem como variável a temperatura, Camargo et al. (1999) propõem o uso de uma temperatura efetiva  $T_{ef}$  para ampliar o seu emprego para climas áridos e superúmidos, para os quais há subestimativa de ETP. Verificamos que o emprego de  $T_{ef}$ , baseada na amplitude térmica média do período de cálculo, conduz a valores de ETP mais confiáveis que o uso

simples da temperatura média, principalmente no período seco e de menores temperaturas em Piracicaba; portanto, os cálculos foram realizados com  $T_{ef}$  proposto conforme a eq.2:

$$ETP = 0,01 \cdot Q_o \cdot T_{ef} \cdot ND \quad (1)$$

$$T_{ef} = 0,36 \cdot (3 T_{max} - T_{min}) \quad (2)$$

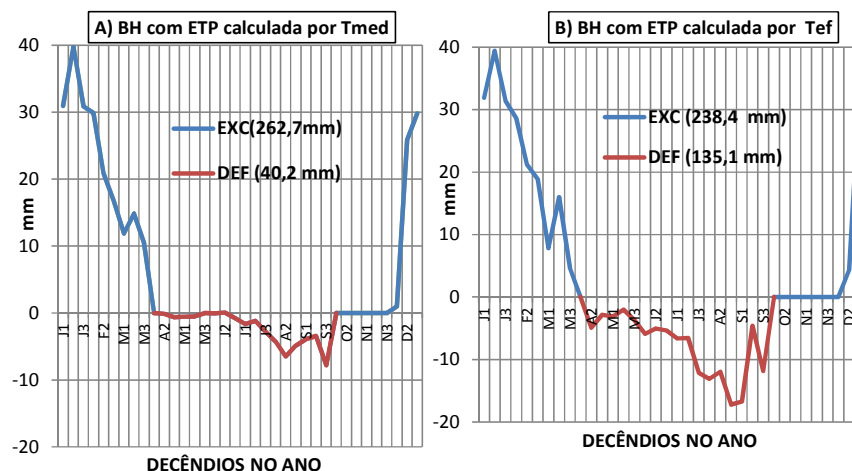
em que ETP é expressa em mm/período,  $Q_o$  em mm equivalente/período, ND é o número de dias do período considerado,  $T_{max}$  e  $T_{min}$  são as temperaturas médias máxima e mínima do período.

Os registros meteorológicos foram obtidos na estação climatológica do Campus “Luiz de Queiroz” da ESALQ/USP, na cidade de Piracicaba (lat. 22°42’30”S, long. 47°38’00”W, alt. 546 m).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O padrão de variação do armazenamento hídrico médio no solo na região de Piracicaba pode ser visualizado na Fig. 1, baseada no extrato (excedente e deficiência) fornecido pelo BH. Com o objetivo de encontrar na série climatológica os anos que fogem bastante do padrão médio, são apresentados inicialmente gráficos de valores médios decendiais de excedente (EXC) e de deficiência (DEF) expressos pelo BH calculado pela estimativa de ETP pelo método de Camargo tanto pelo uso da temperatura média  $T_{med}$  de cada decêndio (Fig. 1A), como pela temperatura efetiva  $T_{ef}$  (Fig. 1B), com os valores médios dos 98 anos da série.

Observa-se o padrão típico da região, de ocorrência de DEF a partir do início de abril até o final de setembro, com valores máximos em agosto e setembro. Do início de outubro até final de novembro, a deficiência deixa de ocorrer por reposição hídrica no solo e de dezembro a final de março ocorrem os excedentes hídricos que se prolongam até final de março. A diferença entre os dois gráficos ocorre nos valores de EXC e DEF, pois ao se trabalhar com  $T_{ef}$  os valores tornam-se maiores, atingido o total no ano de 135,1 mm, contra 40,2 mm pelo uso de  $T_{med}$ . Embora esse último valor esteja dentro da gama encontrada na literatura para a região, inclusive com a equação de Thornthwaite (Pereira et al., 2002), os valores encontrados com uso de  $T_{ef}$  são mais coerentes com a magnitude de ETP e do próprio DEF que se espera para a região, que apresentam como pequenos quando se usa aquela equação e a de Camargo originais.

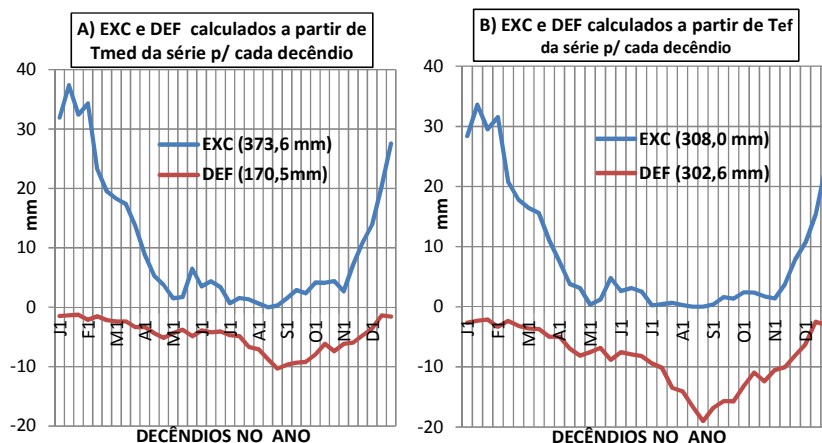


**Figura 1.** Extratos do balanço hídrico sendo ETP calculada com temperatura média (A) e com temperatura efetiva (B) determinadas com valores médios decendiais de toda a série histórica. ,

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Outra forma de mostrar a variação de EXC e DEF médios decendiais ao longo do ano do é pelo uso do BH sequencial e tirando-se, então, a média dos valores decendiais dos 98 anos para cada um dos dois parâmetros, seja pelo uso de ETP calculada por Tmed(Fig. 2A), seja por Tef (fig. 2B). Os gráficos indicam ocorrência de DEF e de EXC em períodos do ano que não aparece nos correspondentes gráficos da Fig. 1, como a ocorrência de deficiências em decêndios dentro do período normalmente chuvoso no primeiro e no último trimestres do ano, e vice-versa (e mais raramente) de excedente no período seco de abril a setembro. Isso é indicação da variabilidade climática ao longo dos 98 anos, com modificação dos períodos secos e úmidos na série. Além disso, ocorrem aumentos nos valores anuais de EXC e de DEF em comparação à Fig. 1 (ver corpo dos gráficos).

Adotando-se que a duração típica do período de seca na região de Piracicaba ocorre de abril a setembro, seguido de seis meses sem deficiência em parte do qual (outubro e novembro) ocorre reposição de água no solo e excedente hídrico nos quatro meses restantes, fez-se a análise dos balanços hídricos sequenciais de janeiro de 1917 a março de 2015. Como a ênfase maior do trabalho é quanto ao período de anomalias de ocorrência de deficiência no entre outubro e março, na Fig. 3 são apresentados gráficos do extrato do balanço do primeiro decêndio de janeiro de um ano ao terceiro decêndio de março do ano seguinte para os anos que apresentaram deficiência adentrando meses do período normalmente úmidos, tendo sido encontrados 12 eventos na série de 98 anos. Esses eventos ocorreram em anos nos quais os valores anuais de precipitação anual esteve na faixa entre 812 mm (1921) e 993 mm (1964, faixa essa abaixo da diferença entre a média (1276 mm) e o desvio-padrão (219 mm) de toda a série histórica.



**Figura 2.** Variação dos valores médios decendiais de EXC e DEF obtidos a partir de ETP média dos 98 anos para cada decêndio, com cálculo a partir da temperatura média (A) e da temperatura efetiva.

Com exceção de 1957-58 que, além da anomalia de ocorrência de deficiência de janeiro a dezembro, apresentou dois períodos de excedente entre final de maio e início de junho (anomalia que ocorre mesmo em anos úmidos, apresentou DEF total 300 mm, em todos os outros períodos analisados a deficiência total variou entre 392,7 mm (1946-47) e 677,4 mm (1964-65), bem acima da média anual apresentada na Fig. 2B. Outra ocorrência de anomalia de característica é vista Fig.3 para 1978-79, em que ocorreu DEF intercalada com 11 décadas de pequena reposição hídrica, sem apresentar excedente.

Quatro anos estendidos até março seguinte (1924-25; 1963-64; 1979-80; 2014-15) apresentam similaridade de ocorrência de deficiência desde o início do ano, sendo que ela deixou de ocorrer já em novembro em 79-80, enquanto que nos outros três anos ela se prolongou até o final do ano, intercalando pequeno excedente nesse período, mas reaparecendo em janeiro e/ou em fevereiro. Esses três anos apresentam grandes deficiências totais, de 567 a 677,4 mm. O ano de 1963 apresenta um padrão interessante, por apresentar o maior valor de deficiência total, além de ser seguido de um ano com deficiência alta (410 mm). Outro aspecto de interesse é que o ano precedente a 1924 e a 2014 já apresenta em dezembro reposição hídrica no solo, mas sem completar a CAD (em 1923).



## **XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**

23 a 28 de agosto de 2015

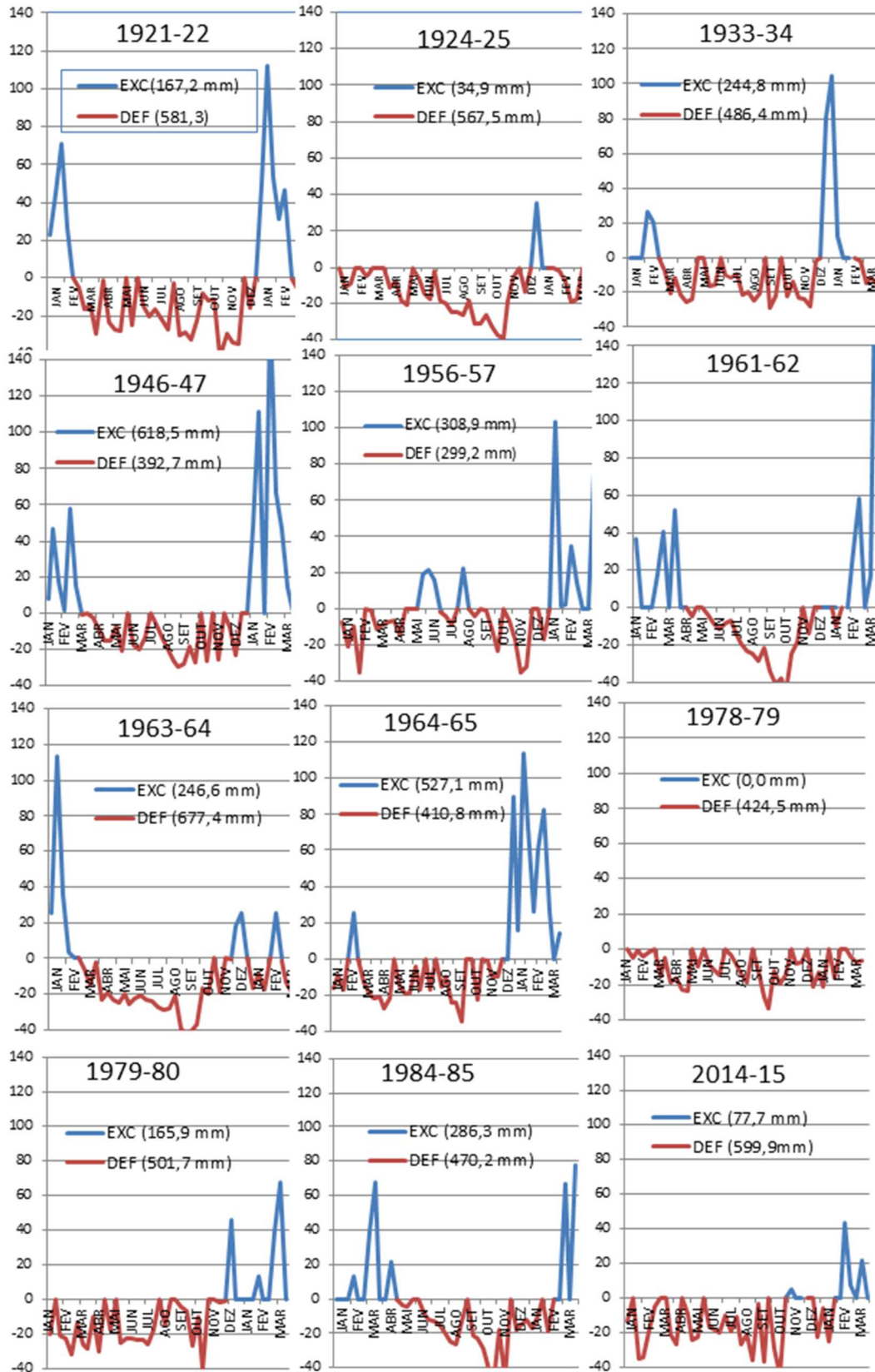
Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### ***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Os resultados obtidos indicam que há uma frequência não desprezível de ocorrência de deficiência hídrica que ultrapassam em magnitude e duração o valor normal para a região, consequência da variabilidade climática referente principalmente às chuvas, devido à dinâmica das circulações atmosféricas. Mesmo para o ano 2014-2015, a seca agroclimatológica que sobreveio após um período de 30 anos sem ocorrência, os resultados não permitem afirmar categoricamente que ela é causada por uma mudança climática, havendo necessidade de acompanhar o clima nos próximos anos.



**Figura 3.**Variação temporal de excedente e deficiência hídrica para anos estendidos (até o primeiro trimestre seguinte), com grau elevado de seca. Valores totais entre parêntesis.



**XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**  
23 a 28 de agosto de 2015  
Lavras – MG – Brasil  
Agrometeorologia no século 21:  
*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



## CONCLUSÕES

1. Com exceção das décadas de 40 e 90 do século 20 e da primeira do século 21 ocorreram anos com seca climatológica severa, as vezes em até de mais um dentro da década.
2. Não é possível afirmar categoricamente que a seca na região iniciando-se em dezembro de 2013 e se prolongando até janeiro de 2015 seja decorrente de uma mudança climática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- CAMARGO, A.P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e subúmido, com base na amplitude térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 1999. V. 7(2), 251-257.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Teste de uma equação simples da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar. Cong. Bras. De Agrometeorologia, 3, Campinas, 1983. P. 229-244.
- PEREIRA, L.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia** – fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Ed. Agropecuária. 2002. 478 p.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.