

## BALANÇO HÍDRICO E ESTIMATIVA DO CONSUMO RELATIVO DE ÁGUA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO NOROESTE PAULISTA<sup>1</sup>

REGIANE DE CARVALHO BISPO<sup>2</sup>; FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ<sup>3</sup> E ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Apoio financeiro da FAPESP Processo 2.009/52.467-4.

<sup>2</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP/FCA, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu, SP. E-mail: regianecarvalhoks@gmail.com

<sup>3</sup> Professor Titular, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” - UNESP, Ilha Solteira, SP. E-mail: fbthtang@agr.feis.unesp.br

<sup>4</sup> Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP. E-mail: heriberto.teixeira@embrapa.br

### 1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar o balanço hídrico e estimar o consumo relativo de água para a cultura da cana-de-açúcar nas diferentes fases fenológica, para o município de Sud Mennucci, visando fornecer informações úteis aos estudos de zoneamentos agroclimáticos e definição de época de menor risco para a produção dessa cultura. Os dados utilizados no estudo corresponderam ao período de 2012 a 2016, sendo calculados o balanço hídrico sequencial mensal e o balanço hídrico normal mensal, ambos utilizando a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 60 mm. O Índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura (ISNA), definido como a relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (ET<sub>r</sub>/ET<sub>m</sub>) foi utilizado como critério na definição das fases fenológicas favorável para o cultivo. Os resultados obtidos indicam que, nas fases de perfilhamento e crescimento de colmos e nos meses entre julho e outubro são os períodos mais críticos com relação à deficiência hídrica, considerando a colheita realizada em maio, necessitando de reposição de água nestes períodos para evitar decréscimo da produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração, deficiência hídrica, *Saccharum officinarum*.

**BISPO, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T; TEIXEIRA, A. H. C.**  
**WATER BALANCE AND RELATIVE WATER CONSUMPTION OF SUGARCANE**  
**IN THE NORTHWESTERN REGION OF SÃO PAULO**

### 2 ABSTRACT

The present work aims to determine the water balance and estimate the relative water consumption for sugarcane crop in the different phenological phases, in the municipality of Sud Mennucci, attempting to provide useful information to the agroclimatic zoning studies and to define the time of a lesser risk to production of this crop. The data used in the study corresponded to the period from 2012 to 2016, and both the monthly sequential water balance and the regular monthly water balance were calculated using 60 mm as soil water storage capacity (WSC). The Water Satisfaction Index for Culture (WSIC), defined as the relation

between actual evapotranspiration and maximum evapotranspiration ( $E_{Tr}/E_{Tm}$ ), was used as a criterion in the definition of the phenological phases favorable for cultivation. The results indicate that the tillering and stalks growth stages, and the months between July and October are the most critical periods in relation to the water deficit, considering the harvest in May, there is the need of water replacement in these periods to prevent a decrease in productivity.

**Keywords:** evapotranspiration, water deficit, *Saccharum officinarum*.

### 3 INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda pela produção de fontes de energia renováveis e a atenção voltada para preservação do meio ambiente, tem sido fatores de preocupação para todos os países do mundo. O Brasil está em evidência na produção de culturas bioenergéticas, com alto destaque à cana-de-açúcar, na qual o país é o maior produtor mundial. O estado de São Paulo é o maior produtor do país, possuindo 52% da área plantada de cana-de-açúcar (4.679 milhões de hectares) (CONAB, 2016). No entanto, mesmo com todo o crescimento, o setor vem sofrendo nos últimos anos com o alto custo brasileiro de produção do etanol que, aliado a fatores climáticos (irregularidades na distribuição das chuvas), tem gerado resultados negativos para o setor.

A cultura da cana-de-açúcar é favorecida fisiologicamente pelas estações climáticas definidas, sendo uma estação seca e fria, que beneficia a maturação fisiológica, e outra estação quente e úmida aliadas a altas temperaturas e luminosidade, que promovem condições ideais para crescimento e desenvolvimento vegetativo (MIOCQUE, 1999). Sendo a necessidade hídrica da cultura da ordem de 1.500 a 2.500 mm, variando conforme a localização, clima, variedades e tipo de solo (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Neste sentido, pesquisas objetivando a determinação de índices agrometeorológicos para o planejamento agrícola visando minimizar os efeitos do déficit hídrico sobre as culturas, têm aumentado nos últimos anos.

A quantidade efetiva de água utilizada pela planta em condições naturais (evapotranspiração real -  $E_{Tr}$ ) relacionada a quantidade de água consumida sem restrição hídrica (evapotranspiração máxima -  $E_{Tm}$ ) fornece o consumo relativo de água, descrito pelo índice  $E_{Tr}/E_{Tm}$ . Esta relação pode ser definida também como o Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), sendo uma ferramenta útil em estudos agrometeorológicos, e mais recentemente utilizado em trabalhos de zoneamento agroclimático, para a definição de áreas de risco em sistemas de produção (MATZENAUER; BARNI; MALUF, 2004). Associado ao balanço hídrico, que é uma ferramenta de suma importância para os planejamentos agrícolas, e principalmente no que diz respeito ao escalonamento nas etapas operacionais de plantio e manejo da cana-de-açúcar (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010). O presente trabalho teve como objetivo determinar o balanço hídrico e estimar consumo relativo de água para a cultura da cana-de-açúcar, nas diferentes fases fenológicas, para o município de Sud Menucci, na região Noroeste Paulista, visando fornecer informações aos estudos de zoneamentos agroclimáticos e definição de época e de menor risco para a produção dessa cultura, na região do estudo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O balanço hídrico e consumo relativo de água para a cultura da cana-de-açúcar foram determinados para um período de 5 anos de 2012 a 2016 (totalizando quatro safras) em função da disponibilidade de dados meteorológicos obtidos pela Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista e acessíveis através do Canal Clima da UNESP Ilha Solteira (<http://clima.feis.unesp.br>) a partir da Estação. Foram utilizados dados climáticos, provenientes do banco de dados da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira, coletados pela estação climatológica localizada no município de Sud Meneuci (Latitude 20° 43' 42" Sul, Longitude 50° 57' 35" Oeste e altitude de 350 metros em relação ao nível do mar).

Para estimar da evapotranspiração (ET<sub>m</sub>) máxima da cultura, faz-se a partir da relação:

$$ET_m = K_c * ET_o \quad (1)$$

Em que,

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultura (ALLEN et al., 1998)

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência calculada pelo método padrão FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998)

A evapotranspiração real foi calculada pelo uso do balanço hídrico sequencial mensal, também foi calculado o balanço hídrico normal mensal para auxiliar no planejamento agrícola, e principalmente no que diz respeito às etapas operacionais até a colheita e manejo da cana-de-açúcar. Os cálculos foram realizados em planilha eletrônica (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI, 1998) de acordo com a metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955) apresentado por Pereira, Angelocci, e Sentelhas (2002), utilizando a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 60 mm. O índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) foi calculado através da relação E<sub>Tr</sub>/ET<sub>m</sub>, para todo o ciclo (12 meses) da cana-de-açúcar com a colheita no mês de maio. Assim, para a cultura da cana-de-açúcar foram estabelecidas três classes de ISNA conforme (MAPA, 2016): (i) ISNA ≥ 0,50 - a cana-de-açúcar está exposta a um baixo risco climático (favorável); (ii) 0,40 < ISNA < 0,50 - a cana-de-açúcar está exposta a médio risco climático (intermediário) e (iii) ISNA ≤ 0,40 - a cultura da cana-de-açúcar está exposta a um alto risco climático (desfavorável).

A estimativa do consumo relativo de água foi obtida para as quatro fases fenológicas da cultura: Fase I - Brotação e emergência, Fase II - Perfilhamento, Fase III - Crescimento dos colmos, Fase IV - Maturação, para os cálculos, a quantidade de dias de cada fase fenologia, foi de acordo com o descrito por Doorenbos e Kassam (1994).

#### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa do consumo relativo de água nas fases fenológicas da cana-de-açúcar, para as quatro safras avaliadas, bem como os valores médios para o período e o desvio padrão, são apresentados na Tabela 1. Considerando os valores médios dos períodos, o consumo relativo de água variou de 0,26 na Fase II (perfilhamento) no mês de agosto a 1,0 nos meses de maio, fevereiro e março sendo esses meses referentes às fases de emergência e brotação, crescimento dos colmos e maturação, respectivamente. Matzenauer, Barni e Maluf (2003), em estudo avaliando o consumo relativo de água para a cultura da soja na região do Rio Grande do Sul em diferentes épocas de semeadura, encontraram valores médios que variaram entre 0,49 e 0,73. A

diferença de amplitude quando comparado com os dados deste estudo, é devido às diferenças tanto climática das regiões quanto do consumo hídrico de cada cultura.

**Tabela 1.** Estimativas do consumo relativo de água (índice ETr/ETm) da cultura da cana-de-açúcar, em diferentes fases fenológicas, para município de Sud Menucci, região do Noroeste Paulista.

Fases	Meses	Safras				Média	Desvio Padrão
		12/13	13/14	14/15	15/16		
Emergência e Brotação	Mai	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
	Jun	1,00	1,00	0,21	0,84	0,76	0,33
Perfilhamento	Jul	0,69	0,71	1,00	0,90	0,83	0,13
	Ago	0,19	0,19	0,30	0,35	0,26	0,07
Crescimento dos colmos	Set	1,00	0,55	1,00	0,84	0,85	0,18
	Out	0,37	0,35	0,17	0,49	0,35	0,11
	Nov	0,66	0,25	1,00	1,00	0,73	0,31
	Dez	1,00	0,92	0,76	1,00	0,92	0,10
	Jan	0,87	0,51	0,67	1,00	0,76	0,19
	Fev	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
Maturação	Mar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00
	Abr	1,00	0,55	0,91	1,00	0,87	0,19

O ISNA demonstrado na Tabela 1, nas Fases de I e IV (Brotação e emergência e Maturação), a cultura apresenta menores riscos de perdas de produtividade por deficiência hídrica, os valores médios foram favoráveis, ou seja, a cultura estaria exposta a um baixo risco climático nos meses (maio, março e abril) correspondentes às essas duas fases. No entanto, Oliveira et. al (2012) avaliando o risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região Nordeste, encontraram o INSA para o cultivo da cana-de-açúcar nos meses de março a maio desfavorável, enquanto os meses de julho a setembro como sendo o período mais apropriado para o cultivo da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro.

Ainda na Tabela 1, os menores valores médios do INSA foram encontrados nas Fases II e III (perfilhamento e crescimento do colmo) 0,26 e 0,35 respectivamente, esses valores são correspondentes aos meses de agosto e outubro que mostraram-se desfavoráveis ao cultivo sendo assim necessária utilização de irrigação, já que ambas as fases são consideradas críticas quando submetidas a deficiência hídrica. De acordo com Inman-Bamber (2004), a deficiência hídrica durante as fases críticas de perfilhamento e o início da elongação de colmos, pode resultar em reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar; entretanto, quando se é bem aplicado o estresse hídrico durante a fase de maturação, é possível observar um aumento da concentração de sacarose nos colmos. E de fato já há uma percepção do setor de que a irrigação na cultura da cana é necessária como fator de sustentabilidade do negócio de produção de energia a partir de biomassa, uma vez que já se contabilizam 1,7 milhões de hectares irrigados e que apresentam resultados mensuráveis em relação ao aumento da produtividade média baseada nas condições de sequeiro, conforme levantamento da ANA (2017).

Na Tabela 2, são verificadas as frequências da ocorrência do consumo relativo de água na escala favorável, intermediário e desfavorável para cada fase fenológica. As fases de perfilhamento e crescimento de colmo foram as únicas que apresentaram condições desfavoráveis com probabilidade de ocorrência de 41,7 e 20,0%, respectivamente. Enquanto,

Matzenauer et al. (2004), em estudo avaliando o consumo relativo de água no feijoeiro em diferentes épocas de semeadura, no Rio Grande do Sul, encontraram menores probabilidades das condições serem favoráveis com semeadura em novembro, época esta que corresponde à fase brotação e emergência, com cerca 22% de frequência de ocorrer condições desfavoráveis, portanto, pode haver riscos para a produção.

**Tabela 2.** Frequência (%) de ocorrência de consumo relativo de água favorável, intermediário e desfavorável para todas as fases fenológicas da cana-de-açúcar, para município de Sud Menucci, região do Noroeste Paulista.

Ocorrência ISNA (%)	Emergência e Brotação	Perfilhamento	Crescimento dos colmos	Maturação
Favorável	100,0	58,3	75,0	100,0
Intermediário	0,0	0,0	5,0	0,0
Desfavorável	0,0	41,7	20,0	0,0

Na Tabela 3 são apresentados os valores de frequência de ocorrência do consumo relativo de água para as diferentes safras, quando analisamos os resultados, é possível verificar que no ciclo de 13/14 e 14/15 ocorreram as maiores frequências desfavoráveis, sendo de 25%, frequências essas que podem causar períodos de deficiência hídrica e propiciar decréscimo na produtividade. Logo, como pode-se observar, através da Figura 1 os valores médios da produtividade da cana-de-açúcar para estado de São Paulo, entre as safras de 13/14 e 14/15 ocorreu uma queda de aproximadamente 11% na produtividade da cana-de-açúcar. Segundo a CONAB (2016), os canaviais no Estado de São Paulo, estão se recuperando da forte restrição hídrica que ocorreu no ano de 2014, a qual afetou a produção agrícola, ainda não apresentando produtividades como safras de anos anteriores. No entanto, de acordo com os resultados alcançados no levantamento da ANA (2017), demonstrou-se a importância do Estado de São Paulo na produção de cana-de-açúcar com 45% da área irrigada na região centro-sul, seguido pelos estados de Goiás (22,3%) e Minas Gerais (19,9%) que, em conjunto, respondem por quase 90% dessa área irrigada.

**Tabela 3.** Frequência (%) de ocorrência de consumo relativo de água favorável, intermediário e desfavorável para as safras de 12/13 a 15/16, para município de Sud Menucci, região do Noroeste Paulista.

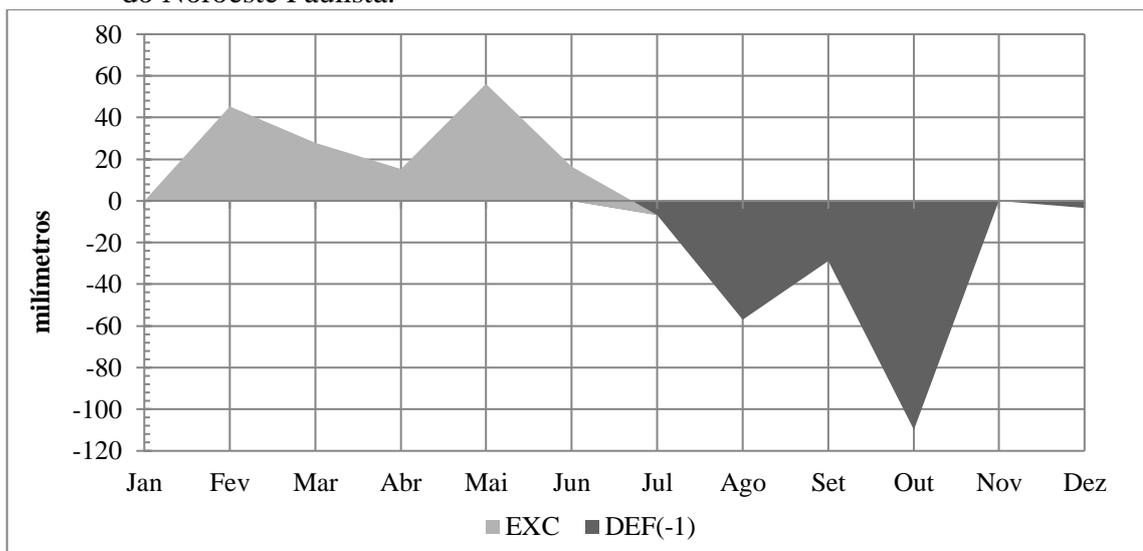
Ocorrência ISNA (%)	Safras			
	12/13	13/14	14/15	15/16
Favorável	83,3	75,0	75,0	83,3
Intermediário	0,0	0,0	0,0	8,3
Desfavorável	16,7	25,0	25,0	8,3

**Figura 1.** Produtividades da cana-de-açúcar para as safras de 12/13 a 15/16, para o Estado de São Paulo.



Neste contexto o balanço hídrico é uma ferramenta indispensável para o planejamento no manejo da cana-de-açúcar, pode-se constatar na Figura 2, que as precipitações no Noroeste Paulista são mais elevadas no verão principalmente nos meses de dezembro a março, no entanto nos meses de julho a outubro, há ocorrência de deficiência hídrica mais acentuada no solo. Para Pereira et al. (2011) a precipitação média anual do Noroeste Paulista seria satisfatória para suprir as necessidades hídricas da cultura, se não ocorresse uma má distribuição das chuvas, na qual concentram no verão (80% da precipitação). Ainda, segundo Hernandez et al. (2003), a região apresenta os maiores índices de evapotranspiração do Estado de São Paulo e está sujeita a veranicos que podem restringir a expressão das altas produtividades, sendo estas valoradas para algumas culturas na região.

**Figura 2.** Extrato do balanço hídrico mensal normal, para município de Sud Menucci, na região do Noroeste Paulista.



Desta forma, com a compreensão do ISNA juntamente com o planejamento realizado com base no balanço hídrico, permitem enfatizar que há necessidade de irrigação, no entanto, a tomada de decisões sobre qual sistema adotar, se a irrigação será complementar (salvamento) e se a mesma será o suficiente para garantir o desenvolvimento e a produtividade, bem como se a irrigação deverá ser fixa em todo o ciclo garantindo a reposição da evapotranspiração da cultura, são decisões econômicas, que devem ser baseadas em estudos que levem em consideração a evapotranspiração da cultura, variedades, tipo de solo, investimentos, custo operacional de cada sistema e ainda, a disponibilidade de recursos financeiros. Assim, estudos devem ser aprofundados nesta direção tendo-se como base os resultados obtidos neste trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

O Índice de Satisfação da Necessidade de Água (ISNA) aplicado à região comprova a deficiência hídrica durante o ciclo da cana-de-açúcar nas fases fenológicas de perfilhamento e crescimento de colmos, considerando a colheita no mês de maio. O balanço hídrico, também identificou que os meses de julho a outubro são os períodos mais críticos para a cultura.

## 7 AGRADECIMENTOS

A Capes, pela Bolsa de Doutorado concedida ao primeiro autor e à FAPESP pelo apoio financeiro (Processo 2.009/52.467-4).

## 8 REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na região Centro-Sul do Brasil**. Brasília, DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2017. 31 p.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Parâmetros de risco climático**. Brasil, 2016. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/documentos/Parametrosderiscoclimatico.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Observatório agrícola acompanhamento da safra brasileira - Cana-de-açúcar**. Brasília, 2016. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_08\\_17\\_10\\_07\\_35\\_boletim\\_cana\\_p\\_ortugues\\_-\\_2o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_17_10_07_35_boletim_cana_p_ortugues_-_2o_lev_-_16-17.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB; FAO, 1994. 306 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33).

- HERNANDEZ, F. B. T. et al. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, 2004.
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2003.
- MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura do feijoeiro na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1013-1019, 2004.
- MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara - SP. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 45-47, 1999.
- OLIVEIRA, S. D. DE; SILVA, V. DE P. R. DA; SANTOS, CARLOS A. C. DOS; SILVA, M. T.; SOUSA, E. P. DE. Os impactos das alterações climáticas na cana-de-açúcar cultivada em sistema de sequeiro na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, p. 170-184, 2012.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Editora Agropecuária, 2002. 478 p.
- PEREIRA, J. C. R.; HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C.; TEIXEIRA, A. H. de C. Planejamento do plantio da cana-de-açúcar no Noroeste paulista baseado no balanço hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 21., 2011, Petrolina. As oportunidades de empreendedorismo na agricultura irrigada: **Anais...** Petrolina: ABID, 2011. 1 CD-ROM.
- ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL 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.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2010.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water budget and its use in irrigation**. In: The Yearbook of Agriculture - Water. Washington, D.C., Department of Agriculture, 1955. p.346-358.