

**ESTIMATIVAS DE CÁLCULOS DE UMIDADE DO SOLO DISPONÍVEL ÀS CULTURAS EM
VITÓRIA DE SANTO ANTÃO/PE.**

**ESTIMATE OF CALCULATED CROP-AVAILABLE SOIL WATER IN VITÓRIA DE SANTO
ANTÃO/PE.**

Francinete Francis Lacerda¹, Carlos Ramirez Franco da Encarnação², Adriano Almeida Santos³,
Alexandre Hugo César Barros⁴ e José Roque da Silva Neto⁵

RESUMO

Em regiões semi-áridas do Nordeste brasileiro, o principal contraste climático para produção agrícola é a precipitação pluviométrica e sua variabilidade. A época propícia para o cultivo e produção não pode ser relacionada diretamente com a quantidade total de precipitação e sua distribuição. Tem-se verificado que a estação de cultivo e a produção estão mais intrinsecamente ligadas com a umidade do solo que se encontra disponível às culturas do que propriamente com a precipitação. Estudos agroclimáticos baseados no procedimento do balanço hídrico diário foram feitos para a localidade de Vitória de Santo Antão/PE, adotando-se três valores de capacidade máxima de armazenamento de água no solo e utilizando as probabilidades de dias secos e/ou úmidos. As necessidades hídricas da localidade de Vitória de Santo Antão foram determinadas utilizando-se informações extensivas de dados diários de umidade do solo. A umidade do solo foi determinada com a finalidade de avaliar a melhor época de semeadura e as probabilidades de ocorrência de "veranicos" (período com 10 dias secos consecutivos). Diferenças significativas na variação da umidade do solo e da precipitação durante o ano foram observadas. Isso sugere que estudos sobre estação de cultivo, tomando como base apenas dados de precipitação, podem fornecer conclusões incertas.

¹Meteorologista, Mestre em Meteorologia, IPA/LAMMEPE - Av. Gen. San Martin, 1371 - Bonji - 50761-000 - RECIFE (PE).

²Engº Agrº, Doutor em Recursos Hídricos, IPA/LAMEPE - Av. Gen. San Martin, 1371 - Bonji - 50761-000 - RECIFE (PE).

³Bacharel em Ciências da Computação, IPA/LAMEPE - Av. Gen. San Martin, 1371 - Bonji - 50761-000 - RECIFE (PE).

⁴Engº Agrº, IPA/LAMEPE - Av. Gen. San Martin, 1371 - Bonji - 50761-000 - RECIFE (PE).

⁵Laboratorista, Aluno do Curso Engenharia de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), IPA - Av. Gen. San Martin, 1371

Palavras-chave: balanço hídrico, umidade do solo, chuva e estimativa.

SUMMARY

Crop growth and crop production cannot usually be related directly to rainfall amount and its distribution. It has been established that crop growth and production are more closely related to the available soil water than to rainfall "per se". That parameter can be calculated from rainfall, potential evapotranspiration and some hydric characteristic of the soil in the root zone. This suggests that, for the characteristic of the agroclimates in semi-arid areas, a probability analysis of daily soil water derived from daily rainfall that might be more useful than daily rainfall "per se". Crop growing periods the stations for three maximum values field capacity values have been evaluated based on Markov chain probability of dry and wet soil day. The computations have been carried out assuming three maximum field capacity and three critical soil moisture levels. An important result of the study is that the length of the growing season depends strongly on the maximum field capacity value adopted. Significant differences in the variations during the year of mean decadal soil moisture and precipitation values have been observed and this suggests that studies of crop growing periods based on precipitations data yields erroneous conclusions.

Key words: hidric balance, soil moisture, rain and estimate.

INTRODUÇÃO

Em regiões como o Nordeste do Brasil (NEB), em particular o estado de Pernambuco, as principais atividades agrícolas dependem diretamente da precipitação pluviométrica e esta, por sua vez, tem por principal característica a grande variabilidade inter e intra anual. O clima do NEB apresenta alguns aspectos muito marcantes: altas taxas evaporativas e precipitações pluviométricas variáveis.

Sabendo que a demanda hídrica depende das condições meteorológicas, das características biológicas das culturas e dos seus estádios fenológicos, além das propriedades físicas do solo, estudos têm sido desenvolvidos no sentido de avaliar como estes fatores (ambientais e fisiológicos) podem contribuir mais significativamente para incrementar o desenvolvimento agrícola. Dentro desse contexto, é de fundamental importância o estudo de parâmetros meteorológicos que, direta ou indiretamente, possam afetar o desenvolvimento e o rendimento das culturas.

ROBERTSON (1985,1988,1989), utilizando dados de precipitação para obter a umidade de solo diária para um grande período de registros, calculou a probabilidade de ocorrerem dias úmidos e secos, e séries de cinco dias úmidos consecutivos desde o início, duração e término do período chuvoso. Com base nos dados da evapotranspiração potencial e propriedades físicas do solo, propôs um método para identificar a época de semeadura em Barani, no Paquistão.

BAIER & ROBERTSON (1966) estabeleceram um modelo para determinação da umidade do solo, no qual o solo é dividido em camadas cuja quantidade de água disponível em cada camada foi considerada como a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A evapotranspiração potencial atua simultaneamente em cada camada e depende da umidade presente e da distribuição dos solos e das raízes das plantas; esses fatores são representados pelos coeficientes. O modelo ainda considera o fluxo de umidade entre as camadas.

HOLMES & ROBERTSON (1959) apresentaram um modelo simples que trata o solo como sendo uma única camada homogênea. A evapotranspiração real é considerada igual à evapotranspiração potencial, enquanto houver disponibilidade de umidade no solo. Toda a precipitação torna-se infiltração e as outras interações da água subterrânea são negligenciadas. Os cálculos são feitos em base diária.

THORNTHWAITE (1948) foi o primeiro a mostrar que a evapotranspiração tem dois aspectos: o real e o potencial e que o papel de cada um deles no balanço hídrico depende da existência da umidade no solo. Ele desenvolveu uma relação empírica para obter a evapotranspiração potencial como função somente da temperatura média e de um índice de calor.

ROBERTSON (1990) utilizou séries históricas de precipitação para obter dados diários de umidade do solo. O modelo integra informações acerca da evapotranspiração potencial, propriedades físicas do solo e profundidade das raízes das culturas, para obter estimativas da quantidade de água disponível para as plantas em base diária, número de dias consecutivos com solos secos e úmidos e a probabilidade de ocorrência desses eventos.

THORNTHWAITE & MATHER (1955 e 1957) sugeriram um procedimento simples para a avaliação de valores diários da umidade no solo (US) a partir de dados da precipitação e temperatura.

O objetivo do presente trabalho consiste em estimar valores diários da umidade do solo, número de dias consecutivos com solo seco e/ou úmidos e a probabilidade de ocorrência de eventos de veranicos, durante a estação de cultivo (EC). Neste trabalho, foram tratadas questões concernentes à disponibilidade de água para as plantas sob a ótica agrometeorológica, quando, então, foi identificada a melhor época de semeadura que oferece menor risco à produção agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas séries históricas das precipitações pluviométricas diárias e temperaturas mensais da localidade de Vitória de Santo Antão-PE (Latitude: 08° 07' S, Longitude: 35° 18' W Gr; Altitude: 137m). Os dados básicos foram cedidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE, para o período de 1935 a 1961.

Considerando que normalmente não são coletadas informações de forma sistemática acerca do conteúdo de umidade no solo, geralmente são utilizados modelos para simulação desses dados. No presente trabalho, são colocadas técnicas simples, objetivando converter dados de precipitação diária, em dados de umidade do solo através do balanço hídrico diário proposto por THORNTHWAITE & MATHER (1955), considerando três níveis de armazenamento de água no solo (25, 100 e 200mm). A evapotranspiração potencial foi obtida segundo procedimento sugerido por THORNTHWAITE (1948). Foram obtidas as diferenças entre a evapotranspiração potencial (EP) e a precipitação (P) para cada dia do período estudado. Quando EP foi superior a P, este valor foi considerado negativo indicando que o solo estava perdendo umidade.

Quando a precipitação pluviométrica superava a capacidade máxima de armazenamento do solo (AD) adotada, esse valor foi considerado excedente hídrico, não podendo ultrapassar o valor de armazenamento máximo de água no solo. Os valores negativos de P-EP foram convertidos através do uso de tabelas (THORNTHWAITE & MATHER, 1955), para mudança real no armazenamento da US.

Utilizando os dados diários de US para todos os períodos de registro (27 anos), valores médios para cada decêndio foram avaliados. Para fazer o cômputo da US diária, foi necessário o conhecimento do conteúdo de US com o qual foi iniciado o balanço, devendo-se iniciar os cálculos com o valor derivado do conteúdo de umidade do solo do balanço hídrico climático. Os valores médios decendiais de US foram plotados em função do tempo e, a partir desses diagramas, informações preliminares sobre o início e duração dos períodos de cultivo, recomendados pela FAO (1979) foram avaliados para todos os valores de AD adotados. Neste contexto, assumiram-se três níveis críticos de umidade: 50%, 25% e 12,5% da AD, (ROBERTSON,1990).

As análises citadas foram baseadas nas condições médias da US para vários anos. Para obterem-se informações mais precisas, foi necessário considerar as variações de ano para ano dos valores da umidade para cada decêndio.através do modelo de Cadeia de Markov de primeira ordem. Utilizando os valores decendiais de US, foram determinadas as probabilidades iniciais P(D), P(W), e condicionais P(D/D), P(W/D), P(W/W) e P(D/W), onde:

$P(D)$ é a probabilidade do solo num dado dia estar seco;

$P(W)$ é a probabilidade do solo num dado dia estar úmido;

$P(D/D)$ é a probabilidade do solo estar seco dado que o dia anterior foi seco;

$P(W/D)$ é a probabilidade do solo estar úmido dado que o dia anterior foi seco;

$P(W/W)$ é a probabilidade do solo estar úmido dado que o dia anterior foi úmido; e

$P(D/W)$ é a probabilidade do solo estar seco dado que o dia anterior foi úmido.

Essas probabilidades foram obtidas para cada um dos trinta e seis decêndios do ano, bem como para cada valor de AD adotada. Foram determinadas também probabilidades de, pelo menos, um dia com solo úmido e de, pelo menos, cinco dias consecutivos úmidos antecidos por um dia úmido $P(5W/W)$.

Foi assumido que o valor crítico que separa um dia seco de um dia úmido é 50% da AD adotada. A seqüência de dias consecutivos com solo seco e/ou úmido pode ser calculada através da cadeia de Markov. A probabilidade da ocorrência de um veranico pode ser dada através do seguinte cálculo:

$$P(10D) = P(D) \times P(D/D)^9$$

Utilizando os valores diários da umidade do solo para AD=200 mm e adotando-se três níveis críticos de capacidade de retenção hídrica no solo: 50% (100 mm), 25% (50 mm) e 12,5% (25 mm), calcularam-se as probabilidades de ocorrência de dez dias consecutivos secos $P(10D)$.

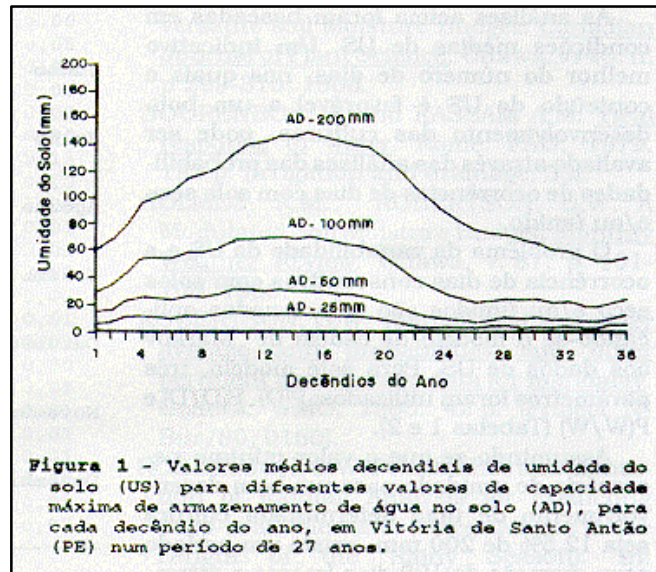
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características da distribuição pluviométrica foram:

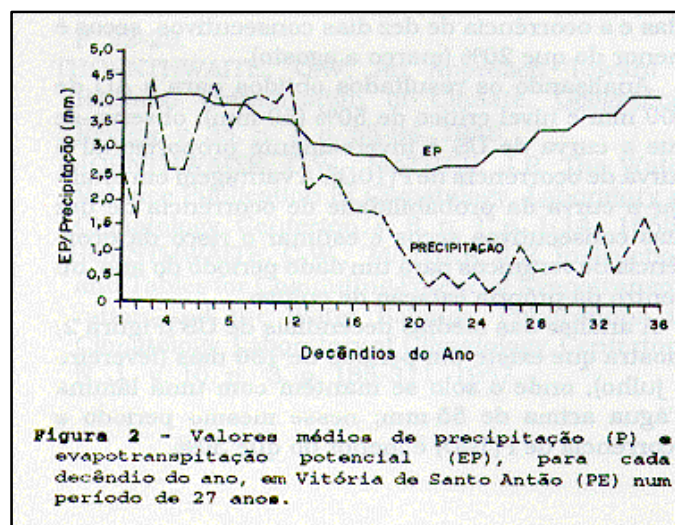
a) a distribuição pluviométrica apresenta três máximos que ocorrem durante o 3^o decêndio, 7^o decêndio e 12^o decêndio do ano, respectivamente;

b) a evapotranspiração potencial é máxima durante os meses de fevereiro e dezembro (figura 1), cujos valores superam 4,0 mm/dia; e

c) a precipitação atende a demanda da EP durante o último decêndio de janeiro, 1º e 3º decêndios de março e todo o mês de abril (figura 1).



Os cálculos médios decendiais de US para os diferentes valores de AD adotados mostram que os períodos de máximo conteúdo médio de US mudam com a variação da AD utilizada (figura 2). O período com máximo conteúdo de água no solo é maior quando é adotada a AD=100 mm do que para a AD=25 mm. O mesmo comportamento pode ser visto onde o período de máximo conteúdo da US é maior para AD=200 mm do que para AD=100 mm.



A análise das séries de US em Vitória de Santo Antão, adotando-se uma capacidade de armazenamento de água igual a 100 mm (figura 2), e considerando como o valor mínimo necessário 50% da

capacidade máxima de armazenamento, mostra que existe um período de 120 dias cuja US mantém-se acima de 50 mm, favorecendo um bom desenvolvimento das culturas (fevereiro a julho).

As análises acima foram baseadas em condições médias de US. Um indicativo melhor do número de dias, nos quais o conteúdo de US é favorável a um bom desenvolvimento das culturas, pode ser avaliado através das análises das probabilidades de ocorrências de dias com solo seco e/ou úmido.

O problema da variabilidade da US e a ocorrência de dias consecutivos com solos seco e/ou úmidos são solucionados aplicando-se o modelo de cadeia de Markov aos dados de US. Para este modelo, três parâmetros foram utilizados: $P(D)$, $P(D/D)$ e $P(W/W)$ (Tabelas 1 e 2).

Assumindo-se que o valor mínimo necessário de umidade para um bom desenvolvimento de uma determinada cultura seja 12,5% de 200 mm, existe um período com duração de 190 dias (março a setembro) onde o risco da ocorrência de $P(10D)$ é menor que 1%. Tomando-se o nível crítico de 25%, o período prolonga-se para 250 dias (fevereiro a outubro); o risco da ocorrência de $P(10D)$ é menor do que 15%. Adotando-se o nível crítico de 50% da $AD = 200$ mm (Tabela 2), a duração do período é de 140 dias e a ocorrência de dez dias consecutivos secos é menor do que 20% (março a agosto).

Tabela 1. Probabilidades iniciais e condicionais de ocorrência de dias consecutivos secos e/ou úmidos para Vitória de Santo Antão (PE), no período de 1935 a 1961, adotando-se 100mm como a capacidade máxima de retenção de água no solo (AD) e nível crítico de 50%.

Mês	Decêndio	P(D)	P(W)	P(D/D)	P(W/D)	P(W/W)	P(D/W)
Janeiro	1	0,80	0,20	0,98	0,10	0,90	0,02
	2	0,69	0,31	0,98	0,06	0,94	0,02
	3	0,59	0,41	0,97	0,10	0,90	0,03
Fevereiro	4	0,46	0,54	0,95	0,04	0,96	0,05
	5	0,42	0,58	0,98	0,03	0,97	0,02
	6	0,46	0,54	0,95	0,02	0,98	0,05
Março	7	0,42	0,58	0,98	0,02	0,98	0,02
	8	0,39	0,61	0,98	0,03	0,97	0,02
	9	0,26	0,74	0,96	0,02	0,98	0,04
Abril	10	0,22	0,78	0,89	0,03	0,97	0,11
	11	0,24	0,76	0,97	0,01	0,99	0,03
	12	0,23	0,77	0,96	0,02	0,98	0,04
Maio	13	0,18	0,82	0,98	0,01	0,99	0,02
	14	0,20	0,80	0,90	0,02	0,98	0,10
	15	0,19	0,81	1,00	0,01	0,99	0,00
Junho	16	0,19	0,81	0,91	0,01	0,99	0,09
	17	0,29	0,71	1,00	0,01	0,99	0,00
	18	0,26	0,74	0,95	0,02	0,98	0,05
Julho	19	0,33	0,67	0,95	0,01	0,99	0,05
	20	0,42	0,58	0,96	0,01	0,99	0,04
	21	0,54	0,46	0,95	0,01	0,99	0,05
Agosto	22	0,69	0,31	0,96	0,05	0,95	0,04
	23	0,83	0,17	0,98	0,05	0,95	0,02
	24	0,92	0,08	0,99	0,09	0,91	0,01
Setembro	25	0,96	0,04	0,99	0,10	0,90	0,01
	26	0,96	0,04	1,00	0,00	1,00	0,00
	27	0,92	0,08	1,00	0,15	0,85	0,00
Outubro	28	0,89	0,11	1,00	0,04	0,96	0,00
	29	0,87	0,13	0,99	0,03	0,97	0,01
	30	0,90	0,10	0,99	0,04	0,96	0,01
Novembro	31	0,95	0,05	0,99	0,09	0,91	0,01
	32	0,91	0,09	0,99	0,10	0,90	0,01
	33	0,96	0,04	1,00	0,10	0,90	0,00
Dezembro	34	0,91	0,09	1,00	0,09	0,91	0,00
	35	0,80	0,20	0,98	0,06	0,94	0,02
	36	0,80	0,20	0,99	0,05	0,95	0,01

Analisando os resultados obtidos para a AD de 100 mm e nível crítico de 50% (50 mm), observa-se que a curva de US é inversamente proporcional à curva de ocorrência de P(10D). A vantagem em analisar a curva da probabilidade de ocorrência de dez dias consecutivos secos é estimar o risco da ocorrência de veranicos para um dado período do ano, ou dentro da própria estação de cultivo.

A análise das médias decendiais de US (Figura 2) mostra que existe um período de 180 dias (fevereiro a julho), onde o solo se mantém com uma lâmina d'água acima de 55 mm; nesse mesmo período a ocorrência de P(10D) é menor do que 30%.

Para determinação da época mais propícia para o semeadura, foi utilizada a AD=25 mm e valor crítico de umidade igual a 12,5 mm. Para que aconteça o processo germinativo é necessário que o solo esteja suficientemente umedecido. Nesse sentido, assume-se que, pelo menos cinco dias úmidos consecutivos após o semeadura, são necessários para um bom desenvolvimento da cultura.

Tabela 2. Probabilidades iniciais e condicionais de ocorrência de dias consecutivos secos e/ou úmidos para Vitória de Santo Antão (PE), no período de 1935 a 1961, adotando-se 200mm como a capacidade máxima de retenção de água no solo (AD) e nível crítico de 50%.

Mês	Decêndio	P(D)	P(W)	P(D/D)	P(W/D)	P(W/W)	P(D/W)
Janeiro	1	0,79	0,21	0,99	0,08	0,92	0,01
	2	0,74	0,26	0,98	0,03	0,97	0,02
	3	0,72	0,28	0,99	0,07	0,93	0,01
Fevereiro	4	0,59	0,41	1,00	0,03	0,97	0,00
	5	0,51	0,49	0,99	0,01	0,99	0,01
Março	6	0,43	0,57	1,00	0,03	0,97	0,00
	7	0,41	0,59	0,99	0,01	0,99	0,01
	8	0,40	0,60	0,97	0,01	0,99	0,03
Abril	9	0,29	0,71	0,96	0,04	0,96	0,04
	10	0,17	0,83	0,92	0,02	0,98	0,08
	11	0,16	0,84	0,93	0,01	0,99	0,07
Maio	12	0,20	0,80	0,96	0,01	0,99	0,04
	13	0,19	0,81	1,00	0,01	0,99	0,00
	14	0,16	0,84	1,00	0,00	1,00	0,00
Junho	15	0,14	0,86	0,95	0,01	0,99	0,05
	16	0,15	0,85	1,00	0,00	1,00	0,00
	17	0,11	0,89	1,00	0,00	1,00	0,00
Julho	18	0,11	0,89	1,00	0,00	1,00	0,00
	19	0,11	0,89	1,00	0,00	1,00	0,00
	20	0,13	0,87	0,88	0,01	0,99	0,13
Agosto	21	0,22	0,78	0,90	0,00	1,00	0,10
	22	0,41	0,59	0,92	0,01	0,99	0,08
	23	0,54	0,46	0,99	0,00	1,00	0,01
Setembro	24	0,59	0,41	0,97	0,03	0,97	0,03
	25	0,72	0,28	0,97	0,03	0,97	0,03
	26	0,89	0,11	0,98	0,00	1,00	0,02
Outubro	27	0,91	0,09	0,99	0,17	0,83	0,01
	28	0,87	0,13	0,99	0,10	0,90	0,01
	29	0,85	0,15	1,00	0,00	1,00	0,00
Novembro	30	0,86	0,14	0,99	0,03	0,97	0,01
	31	0,88	0,12	0,99	0,03	0,97	0,01
	32	0,87	0,13	0,99	0,10	0,90	0,01
Dezembro	33	0,93	0,07	0,99	0,06	0,94	0,01
	34	0,92	0,08	1,00	0,05	0,95	0,00
	35	0,87	0,13	1,00	0,06	0,94	0,00
	36	0,82	0,18	1,00	0,04	0,96	0,00

Analisando-se os dados resultantes, verificou-se que essas condições são satisfeitas com menor risco de insucesso a partir do primeiro decêndio de março. Efetivando-se o semeadura no primeiro decêndio de março em Vitória de Santo Antão e tomando-se AD=100 mm, a época mais propícia para o cultivo tem duração de 140 dias (março a julho). A probabilidade de que o solo se mantenha com 50 mm de lâmina d'água é superior a 50% (março a julho). Durante os meses de abril a julho, essas probabilidades superaram 70%.

CONCLUSÕES

1 - A EC para a localidade de Vitória de Santo Antão varia significativamente com os valores de AD adotados. Em geral, culturas com sistema radicular profundo tem maior EC.

2 - As diferenças nos padrões de US e precipitação, durante o ano, sugerem que estudos sobre a EC baseados em dados de precipitação podem levar a conclusões imprecisas. O período com máximo conteúdo médio de umidade do solo durante o ano também varia com a AD adotada.

3 - O conteúdo médio de US atinge seu valor máximo durante o ano aproximadamente 20 ou 40 dias após a ocorrência da máxima precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, pelo fornecimento dos dados de precipitação, e à Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA, pela utilização das instalações físicas e dos equipamentos de informática utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIER, W., ROBERTSON, G.W. A new versatile soil Moisture Budget. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, v. 46, n, p 299-315, 1966.
- DOORENBOS, J. and KASSAM A.M. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and drainage, 33).
- HOLMES, R.M., ROBERTSON, G.W. A Modulated Soil Moisture Budget. Monthly Weather Review. Ottawa, v. 87, p. 101-106, 1959.
- ROBERTSON, G.W. Rainfall and soil water average and probabilities and other pertinent agroclimatic data for mandalay. Geneva: WMO, 1985, 42 p. (Project N° Bur/80/0160).
- ROBERTSON, G.W. Possibilities and Limitation of Rainfall Analysis for Predicting Crop-available water (Uncertainties in the Length of the Rainy Season). In: BIDINGER, F.R., JOHANSER, C., Drought research priorities for the dryland tropics. India: ICRISAT.1988, P. 502-524.
- ROBERTSON, G.W. Aplicacion of calculated crop-available soil water in semi-arid areas. An International Symposium on Applied Soil Physics in Stress Environments Islamabad, Pakistan, 1990. 45 p. P. 22-29.
- THORNTHWAITE, C.W. An Approach Toward a Rational Classification of Climate, Geographical Review, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The Water Balance Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Centerton, v. 8, n. 1, p. 1-14, 1955.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. Instruction and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance, Publications in Climatology, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J., v. 10, n. 3, p. 185-311, 1957.