BALANÇO HÍDRICO EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE TRÊS ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

RONALDO LAZARI RUFINO

Orientador: KLAUS REICHARDT

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, na área de Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho, 1982

À minha esposa Marize,

Aos meus filhos Ronan e Thais,

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

Ao concluir o presente trabalho, o autor expressa os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- Ao *Professor Dr. Klaus Reichardt*, pela orientação, participação e amizade oferecida durante o decorrer do curso;
- Ao *Professor Dr. Paulo Leonel Libardi*, pelas sugestões, colaboração e amizade proporcionada;
- Ao *Engenheiro Agrônomo Bernardo Yasuhiro Ide*, pela inestimável colaboração prestada na realização deste trabalho;
- À *Direção do Centro de Tecnologia da Copersucar*, pelo apoio material e oportunidade oferecida;
- À *FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos)*, pelo apoio financeiro ao projeto realizado entre FINEP-DFM-COPERSUCAR.
- À *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)*, pela concessão da bolsa de estudos.
- Ao *Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR)*, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso;
- E a *todos* que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Caracterização geral do experimento	10
3.1.1. Localização	10
3.1.2. Características climáticas da Região	10
3.1.3. Solo	11
3.1.4. Cultura	11
3.1.5. Espaçamento da cultura e práticas cul- turais	11
3.1.6. Avaliação da massa verde (t/ha)	12
3.2. Medidas tomadas para determinação do balanço hídrico	13
3.2.1. Variação do armazenamento da água no solo (ΔA , mm)	13
3.3. Precipitação pluvial (P, mm)	16
3.4. Deflúvio superficial (R, mm)	16
3.5. Evapotranspiração real ou atual (E_{tr} , mm)	16
3.6. Método	18
3.6.1. Fundamentos do método do balanço hídri- co	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Variáveis da equação do balanço hídrico	26
4.1.1. Armazenamento e suas variações no tempo.	26
4.1.2. Fluxo no limite inferior do Elemento de Volume	28
4.1.3. Evaporação, evapotranspiração de referência ou atual e evapotranspiração real ou atual	29
4.1.4. Precipitação, armazenamento de água e produção de massa verde	30
4.1.5. Produção de massa verde em relação à e- vapotranspiração atual ou real	32
5. CONCLUSÕES	41
6. LITERATURA CITADA	43

BALANÇO HÍDRICO EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR
SOB TRÊS ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

Ronaldo Lazari Rufino

Klaus Reichardt

Orientador

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo do balanço hídrico em uma cultura de cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143, sob três espaçamentos de plantio (1,10 m; 1,40m e 1,70m). O experimento foi conduzido em um Latossol Roxo, na Estação Experimental do Centro de Tecnologia da Copersucar no município de Piracicaba.

O armazenamento da água no perfil de solo foi estimado até 80cm de profundidade, utilizando tensiômetros e curva característica de retenção de água, determinada em laboratório com amostra de solo com estrutura indeformada. A evapotranspiração foi estimada por meio de tanque de evaporação

CLASSE A e a drenagem obtida como incognita da equação de balanço hídrico.

As perdas por drenagem para o primeiro ciclo da cultura foram 34,1% (1,10m), 36,4% (1,40m) e 44,2% (1,70m) em relação a evapotranspiração e para o segundo ciclo 55,5% (1,10m), 55,6 (1,40m) e 55,5 (1,70m).

WATER BALANCE IN SUGAR CANE CROP
UNDER THREE SPACINGS

Ronaldo Lazari Rufino

Klaus Reichardt
Adviser

SUMMARY

The present study had the objective of better understanding soil-plant-water relationships of sugar-cane crops planted in three different spacings (1.10m, 1.40m and 1.70m between rows). The experiment was conducted on a Latossol Roxo site located in Piracicaba, Brazil, using the sugar-cane variety SP 70-1143.

The methodology applied included the establishment of the water balance. Soil water storages were estimated from tensiometer data, using soil-water retention curves obtained in the laboratory with undisturbed soil samples. Evapotranspiration was estimated from Class A pan evaporation and deep drainage was left as an unknown in the water balance.

Data show little effect of spacing on water balance but the spacing of 1.40m showed the greatest vegetative growth. During the period studied, drainage losses were 34.1% (1.10m); 36.4% (1.40m and 44.2 (1.70m) of evapotranspiration during the drier period, and 55.5% (1.10m); 55.6% (1.40m) and 55.5% (1.70m) for the wet period.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um meio dinâmico que responde aos estímulos, oriundos tanto da ação dos agentes naturais como daqueles induzidos pelo homem. Assim no que se refere à água, as interações do sistema solo - planta - atmosfera, interferem nos processos ativos do armazenamento da água no solo, da evapotranspiração, do deflúvio superficial, da drenagem profunda, entre outros mais.

A necessidade hídrica constitui-se em fator primordial à realização dos processos fisiológicos da planta que por sua vez determinam os sucessos e fracassos da produção. O conhecimento do ciclo hidrológico e as relações solo-água - planta se fazem necessárias para determinar sistemas de manejo que levem a níveis satisfatórios de produtividade.

O objetivo deste trabalho baseia-se na hipótese de que o espaçamento de plantio de cana-de-açúcar afetaria

as relações solo-água-planta, influenciando o consumo de água, a distribuição radicular e, conseqüentemente, a nutrição da cultura, o desenvolvimento da planta e, em última instância, a produtividade. O conhecimento sobre esses problemas trariam subsídios na avaliação das práticas tradicionais adotadas na exploração canavieira, permitindo sugerir modificações que levem a um conjunto nas relações solo-água-planta que determine a otimização da produtividade.

No trabalho em apreço, empregou-se a metodologia do balanço de água com o intuito de estudar a influência de diferentes espaçamentos de plantio de uma variedade de cana-de-açúcar sobre as relações solo-água-planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para o entendimento pormenorizado da utilização da água por uma cultura qualquer, se faz necessário a determinação do balanço hídrico, representante da contabilização das entradas e saídas da água do sistema solo-planta-atmosfera.

A bibliografia a esse respeito é vasta, sendo citado diversos procedimentos para a estimativa dos parâmetros componentes da equação de balanço, dependendo do interesse apresentada pelos diversos ramos da ciência agronômica.

A metodologia empregada na determinação do balanço hídrico, que utiliza um volume conhecido de solo, tem sido aplicado por diversos autores e, entre eles, podemos citar ROSE e STERN (1967) que apresentam uma análise da taxa de absorção da água para diversas profundidades da cultura, além

de outros, como HOLMES *et alii* (1967) BLACK *et alii* (1969), BARRADA (1971) e, em nosso meio CRUCIANI (1972), REICHARDT *et alii* (1974), LUCHIARI JUNIOR (1978), CASTRO (1979), PAIVA JUNIOR (1980), BRUNINI *et alii* (1981).

Os componentes da equação do balanço hídrico, precipitação, deflúvio superficial ou "runoff", evapotranspiração e variação do armazenamento, são mensuráveis por diversas alternativas. O componente precipitação pode ser quantificado diretamente pela utilização de pluviômetros ou pluviôgrafos (HANDBOOK OF METEOROLOGICAL INSTRUMENTS; LONDON; 1956). O volume da água de irrigação pode ser controlado por meio de hidrômetro. Na quantificação desse componente, desde que se utilizem técnicas corretas, o erro varia de 1 a 5%, segundo DOWNEY (1972). O escoamento superficial ou "runoff", quando presente, é um componente que exige, para sua determinação, a adoção de metodologia característica (IAPAR, 1977). CRUCIANI (1972), em trabalho com cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), estimou o deflúvio superficial valendo-se da intensidade de precipitação obtida por pluviôgrafo e da taxa de infiltração do solo estudado, pelo infiltrômetro de MUNTZ modificado. STERRS *et alii* (1973) consideraram nulo o deflúvio superficial quando os locais de estudo fossem planos e assim também PEREIRA *et alii* (1974) relatam ser desprezível quando a declividade do solo fosse inferior a 3%. REICHARDT (1975) relata que a determinação do deflúvio superficial é complexa tanto pela ne-

cessidade de técnicas apropriadas, como também por envolver grande volume de água.

A drenagem profunda constitui-se num dos componentes do balanço hídrico mais complexo de ser estimado, sendo comumente desprezado ou englobado como parte do armazenamento de água no solo ou da evapotranspiração. A quantificação da drenagem profunda tem sido medida ou estimada de forma indireta ou determinada como incôgnita do balanço (ROSE, 1966). A drenagem profunda quando não considerada, infere erros crassos na estimativa da evapotranspiração (NIXON *et alii*, 1960).

A utilização da equação de Darcy na determinação da drenagem profunda, possibilitou a elaboração de inúmeros trabalhos. Procedendo assim, BLACK *et alii* (1969) determinaram a variação do armazenamento, propondo um gradiente hidráulico unitário e drenagem de água na mesma razão, para todas as profundidades de um solo homogêneo. GEISEL *et alii* (1970) propõem a distinção para perdas por drenagem profunda e evapotranspiração, pela determinação de um plano de fluxo zero no perfil do solo. DAYAN e VACHAUD (1972) comprovaram essa técnica, salientando a importância da determinação direta da drenagem profunda.

Em nosso meio, REICHARDT *et alii* (1974), valendo-se da proposição de GEISEL *et alii* (1970), estimaram a dre

nagem profunda, salientando que esta não pode ser negligenciada sem justificativa plausível, principalmente para solos de região tropical, onde pode corresponder a mais de 30% do balanço. PEREIRA *et alii* (1974), desenvolvendo trabalho em solo cultivado com café, relataram que a drenagem profunda correspondeu a 10% no período de crescimento e 40% no período de maturação e colheita. LUCHIARI JUNIOR (1978) encontrou valores correspondentes a 10% de perda por drenagem, em Terra Roxa Estruturada, durante o ciclo da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). SINGER e RUSSEL (1979) abordam que para uso consuntivo das culturas, é aconselhável analisar os perfis de (umidade versus profundidade) para melhor entender as implicações sobre a percolação e a drenagem interna, que também atuam na precisão dos dados do balanço hídrico.

A evapotranspiração requer uma série de procedimentos para sua interpretação, pois envolve os processos de evaporação do solo e transpiração por meio de plantas que, conjuntamente, compõem a evapotranspiração. A determinação deste componente, segundo TANNER (1968) pode ser efetuada por três métodos básicos: aquele das variáveis micrometeorológicas, pelo método do balanço hidrológico e por meio de métodos empíricos que necessitam correções em função dos anteriores.

A estimativa da evapotranspiração pela equação do balanço hídrico apresenta precisão relativa, pois depende

dos procedimentos envolvidos na análise das variáveis dos outros componentes tais como: nível de umidade, precipitação, e vaporização do solo nu e capacidade de armazenamento do solo (LINCH e EDWARDS, 1980). TAMES (1962) afirma a importância do estudo de demanda da água às culturas, em diferentes tipos de solo, considerando a profundidade do solo a ser atingida pelo sistema radicular das plantas. MILLAR *et alii* (1977), ao pesquisarem a evapotranspiração relacionada com o potencial da água no meio poroso, propuseram uma análise das variáveis envolvidas na dinâmica da água no solo.

A água envolvida durante o ciclo hidrológico das culturas pode ser quantificada com a aplicação dos métodos diretos, utilizando-se plantas e equipamentos no solo (BLACK *et alii*, 1969). A combinação de métodos empíricos e a equação do balanço hidrológico na determinação da evapotranspiração potencial, faz-se por diversos modos, conforme o instrumental empregado, dentre os quais, incluem-se os evaporímetros representados pelos tanques de evaporação "Classe A", GCI 3000 e YONG'SCREEN PAN, caracterizados por modelos e dimensões particulares, segundo a Technical Note nº 83 da WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. A utilização de tanques de evaporação na estimativa da evapotranspiração de uma cultura tem sido objeto dos mais variados estudos, segundo o modelo de tanque empregado e local de suas determinações, apresentando imensa variação de valores dos coeficientes corretivos de tanque. Na

estimativa de evapotranspiração real de uma cultura os valores da evapotranspiração potencial são corrigidos e denominados de coeficientes de cultura (HARGREAVES, 1974). Esses coeficientes são afetados por diversas outras variáveis como características inerentes à própria cultura, época de semeadura, taxa de crescimento da cultura, duração da estação de crescimento, condições climáticas e frequência de chuvas (DOOREMBOS e PRUITT, 1975).

CRUCIANI (1972), valendo-se de um volume de solo e do tanque "Classe A", determinou o balanço hídrico para a cultura da cana-de-açúcar, considerando três estágios vegetativos da cultura, obtendo valores de 0,42; 0,76 e 0,79 para os coeficientes de cultura nos respectivos estágios. LUCHIARI JUNIOR (1978), pelo mesmo procedimento de CRUCIANI (1972), obteve o coeficiente 0,88 para cultura de feijão.

O armazenamento de água no solo é definido como o total de água retido no interior de seu perfil de profundidade z , em dado instante t . Fazendo a integração dos perfis de umidade do solo, quantifica-se o armazenamento da água. A obtenção dos valores de umidade correspondentes a cada horizonte de um perfil de solo faz-se pelo método gravimétrico, ou pelo emprego da sonda de neutrons (STAMERS *et alii*, 1973; BARROS FERRAZ, 1968; CRUCIANI, 1972; REICHARDT, 1974), ou também indiretamente, pela utilização de tensiômetros que, a partir

de curvas de retenção de água, revelam os perfis consecutivos de umidade do solo θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$), correspondente a cada profundidade, os quais, uma vez integrados, fornecem o armazenamento de água no solo (CASTRO, 1979).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização geral do experimento

3.1.1. Localização

O experimento do presente trabalho foi conduzido em área experimental, denominada de talhão 48, da Fazenda Santo Antônio, ou sede física do Centro de Tecnologia da Copersucar, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, apresentando as seguintes coordenadas geográficas:

LATITUDE: 22°42' S

LONGITUDE: 47°38' W

3.1.2. Características Climáticas da Região

Pela classificação de WILHEIM e KOEPPEN determina-se que o clima é do tipo sub-tropical com inverno seco (Owa), citado por LEITE (1978) e apresentando, segundo dados do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ:

Precipitação média anual: 1247 mm

Temperatura média anual: 20,8°C

Umidade relativa média anual: 69,0%

3.1.3. Solo

Segundo levantamento realizado por DEMATTÊ (1971), com a finalidade de mapeamento, o solo da área estudada foi classificado no grande grupo Latossol Roxo, porém com a característica de B textural, denominado Latossol Roxo, com horizonte B textural incipiente, apresentando profundidade superior a 3 metros, com boa drenagem.

3.1.4. Cultura

A cultura utilizada neste experimento foi a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, L.), variedade SP 70-1143, que se revela ser pouco exigente em relação a outras variedades, como a SP-1284 e IAC 52-150 (Figura 1) quanto à demanda hídrica, enquanto que a SP 1284 é tida como mais exigente. Dados levantados pela COPERSUCAR (1982) revelam grande expansão dessa variedade nos últimos dois anos.

3.1.5. Espaçamento da cultura e práticas culturais

Os espaçamentos adotados entre as linhas de plantio foram: 1,10m; 1,40m e 1,70m. Antecedendo o plantio

efetuaram-se os trabalhos normais de aração, gradeação e, posteriormente, o sulcamento da área. Após esta operação, mediu-se o comprimento dos sulcos componentes das respectivas parcelas (FIGURA 1 e TABELA 1).

A cultura foi adubada na ocasião do plantio (em 04 de fevereiro de 1981), com fórmula 5-25-25 de N-P-K-, na dosagem de 70 gramas por metro de sulco para os respectivos espaçamentos.

Na data de 10 de agosto de 1981, efetuou-se o corte da parte aérea da cultura, danificada em consequência de uma geada ocorrida em 21 de julho de 1981, com temperatura de relva de 1,6°C.

3.1.6. Avaliação da massa verde (t/ha)

O crescimento foi determinado através de 7 amostragens por parcela, contando-se o número de colmos em 10 metros e pesando-se 30 canas inteiras tomadas seguidamente. Deste modo, a avaliação de peso por hectare foi estimada em função de metros lineares contidos em cada unidade de área, empregando a fórmula (COPERSUCAR)

$$TMVH = \frac{P \cdot N}{K}$$

onde:

TMVH = tonelada de massa verde em 1 hectare;

P = peso de 30 canas (kg)

N = número de canas em 10 metros;

K = constante em função do espaçamento: 33 (1,10m);

42 (1,40m) e 51 (1,70m).

As amostragens foram realizadas em intervalos de aproximadamente 30 dias, sendo que as contagens de número de canas foram sempre realizadas em 10 metros previamente marcados.

3.2. Medidas tomadas para determinação do balanço hídrico

3.2.1. Variação do armazenamento da água no solo

(ΔA , mm)

A variação do armazenamento foi estimada a partir de perfis de umidade do solo θ (cm^3 , cm^{-3}), obtidos indiretamente através de leituras de tensiômetros e curvas de retenção de água para as profundidades estudadas.

3.2.1.1. Tensiômetros

Foram instaladas duas baterias de 4 tensiômetros providos de manômetros, para cada tratamento (FIGURA 1). Após a instalação, os tensiômetros foram completados com água e fluxados, eliminando-se assim o residual do sistema de manômetro. As operações de fluxagem foram efetuadas a

cada 7 dias. As leituras das respectivas tensões foram tomadas a intervalos de 48 horas, às 10 horas de cada dia, durante o período de 04 de maio de 1981 a 29 de janeiro de 1982.

O potencial total (ψ_t) e matricial (ψ_m), às profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, foram calculados a partir de médias de leituras utilizando-se as seguintes expressões;

$$\psi_m = -12,6 H_z + h_c + z \text{ (cm H}_2\text{O)}$$

$$\psi_h = -12,6 H_z + h_c \text{ (cm H}_2\text{O)}$$

onde: H_z = leitura do tensiômetro (cm de Hg), instalado à profundidade z ;

h_c = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo;

z = profundidade de instalação da cápsula.

3.2.1.2. Curva característica de umidade do solo

Pelo conhecimento da curva característica de umidade de um solo pode-se estimar o potencial matricial (ψ_m), conhecido θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) e vice-versa. Para cada amostra de um solo homogêneo, o potencial matricial (ψ_m) apresenta um valor característico em cada teor de água θ ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) (desprezando a histerese). Assim procedendo determinou-se 4 curvas características de umidade, para as profundidades de 20, 40, 60

e 80 cm, respectivas as dos tensiômetros, sendo que as referentes as três últimas profundidades apresentaram-se coincidentes conforme estão representadas pela (FIGURA 2). As amostras do solo, foram coletadas com estrutura indeformada, de uma trincheira da própria área experimental (FIGURA 1).

A umidade $\theta(\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3})$ respectiva a cada potencial matricial (Ψ_m) foi calculada, segundo a expressão:

$$\theta = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot d_g$$

onde: θ = umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

m_u = massa úmida (g);

m_s = massa seca (g);

d_g = densidade global (g/cm^3 de solo), que foi determinada com amostras de estrutura natural.

3.2.1.3. Armazenamento (A, mm)

O armazenamento até a profundidade ($L = 80 \text{ cm}$), em um instante (t_i) foi determinado como procederam CASTRO (1979) e AMARO e CAVALCANTI (1981), pela expressão abaixo:

$$A(L, t_i) = \int_0^L \theta(z, t_i) dz = \bar{\theta} \times L$$

onde: $\bar{\theta}$ = umidade média do perfil (0 a L cm);

L = profundidade do perfil (cm).

3.3. Precipitação Pluvial (P ,mm)

Os dados relativos a precipitação pluvial, evaporação de tanque "Classe A", umidade relativa do ar e velocidade máxima e mínima do vento, foram obtidas do Posto Meteorológico da Estação Experimental da Copersucar, instalado, em área anexa às parcelas experimentais (FIGURA 1).

3.4 Deflúvio Superficial (R ,mm)

O deflúvio superficial não foi computado no presente trabalho, tendo em vista a declividade mínima da área experimental. No campo, durante chuvas intensas, verificou-se certo escoamento, porém, em pequenas proporções que não se estenderam para fora das parcelas experimentais. PEREIRA *et alii* (1974) consideraram desprezível este componente, devido às características do solo e da declividade da área ser inferior a 3%.

3.5. Evapotranspiração real ou atual (E_t ,mm)

Segundo os procedimentos de DOOREMBOS e PRUNTT (1975) e VILLA NOVA *et alii* (1977), os valores de coeficiente de tanque "Classe A" e de cultura (K_c), foram estimados com base nas variáveis; i - tamanho da bordadura (100 m), umidade relativa mínima do ar (40 e 70%) e velocidade do vento (2m/s') para K_p ; ii - umidade relativa mínima do ar, velocidade do vento e estágio de desenvolvimento da cultura, para a esti

mativa de K_c .

A evapotranspiração de referência ou potencial (E_{to}) foi obtida efetuando-se o produto do valor médio de evaporação de tanque "Classe A", de cada intervalo do balanço hídrico, pelo fator de correção (K_p), assim efetuado ($E_{to} = \overline{ECA} \times K_p$) TABELA 2. Para a estimativa da evapotranspiração real (E_{tr}) foram utilizados os coeficientes de cultura (K_c) multiplicados pelos respectivos valores de E_{to} ($E_{tr} = E_{to} \times K_c$), também para cada intervalo em que foram procedidas as leituras (TABELA 2).

No presente trabalho, calculou-se o balanço hídrico, em treze intervalos, sendo os cinco primeiros correspondente ao primeiro ciclo, entre 19 de maio de 1981 a 15 de julho de 1981, e o segundo ciclo composto por oito intervalos de leituras e determinações, considerado de 9 de outubro de 1981 a 29 de janeiro de 1982.

O período de 15 de julho a 9 de outubro de 1981, caracterizou-se por uma estiagem e em consequência deste fato não foram estimados os componentes da equação do balanço hídrico, motivado pelo emprego exclusivo de tensiômetros na determinação dos teores de água no solo e para a estimativa do armazenamento. Assim sendo os cinco primeiros intervalos e os demais do segundo ciclo foram considerados como estádios iniciais da cultura.

3.6. Método

3.6.1. Fundamentos do método do balanço hídrico

O balanço hídrico de um solo cultivado, ou de uma cultura qualquer, refere-se à contabilidade da água, ou seja, de suas entradas e saídas, num dado volume de solo, de limitado pela superfície e pelo plano logo abaixo do sistema radicular da cultura, durante um intervalo de tempo. O balanço hídrico é a própria lei da conservação das massas e intimamente ligado ao balanço de energia (REICHARDT, 1975).

Nestas condições, a equação que descreve o balanço hídrico de um solo cultivado, de espessura z , durante um intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$, estabelece que a soma algêbrica das quantidades que entram (+) e que saem (-) do volume considerado, é sempre igual à variação da quantidade de ã-gua nele armazenada no mesmo intervalo de tempo, podendo ser representada:

$$\int_{t_1}^{t_2} (p+i-e \pm q_L-r) dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\theta}{dt} dt dz \dots\dots\dots (1)$$

que pode ser desdobrada em:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt + \int_{t_1}^{t_2} i dt - \int_{t_1}^{t_2} e dt \pm \int_{t_1}^{t_2} q_L dt - \int_{t_1}^{t_2} r dt = \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\theta}{dt} dt dz \dots\dots\dots (2)$$

sendo: p = Intensidade de precipitação (mm.dia^{-1});

i = Intensidade de irrigação (mm.dia^{-1});

e = Intensidade de evapotranspiração (mm.dia^{-1});

q_L = densidade de fluxo de água no solo em $z=L$ (mm.dia^{-1});

r = Intensidade de escoamento ou deflúvio superficial (mm.dia^{-1});

θ = umidade do solo medida em $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}$ por cm^3 de solo.

Analisando-se os termos da equação (2), tem-se no primeiro termo:

$$\int_{t_1}^{t_2} p dt = P$$

refere-se ao total de precipitação pluvial que atinge a superfície do solo ($z=0$), no intervalo de tempo (t_2-t_1), dado em mm de água. O segundo termo representa a quantidade de água de irrigação, como segue:

$$\int_{t_1}^{t_2} i dt = I \quad (\text{mm})$$

O terceiro termo refere-se à quantidade de água perdida pela evaporação do solo e transpiração das plantas, que quando juntas, representam a evapotranspiração em $z = 0$:

$$\int_{t_1}^{t_2} e dt = -E \quad (\text{mm})$$

O quarto termo,

$$\pm \int_{t_1}^{t_2} q_L = \pm D_L \text{ (mm)}$$

representa a quantidade de água que entra (+) ou que sai (-) no limite inferior do volume do solo em ($z = L$), que é denominado de percolação ou drenagem profunda quando descendente (negativo) e ascensão capilar quando ascendente (positivo). Este componente é o mais complexo de ser estimado em um balanço hídrico, podendo ser calculado pela equação de Darcy, a qual é representada como segue:

$$q_L = -K(\theta) \frac{\partial \Psi}{\partial z}$$

onde $K(\theta)$ representa a condutividade hidráulica do solo na profundidade (L), como função da umidade do solo (θ). Indica a propriedade do solo em transmitir água; $\partial \Psi / \partial z$ representa o gradiente do potencial total (Ψ_t) da água no solo, na profundidade ($z = L$), que a força responsável pelo movimento de água.

O quinto termo da equação (2) diz respeito à fração da quantidade total de água precipitada que atinge a superfície do solo em ($z = 0$) e não é infiltrada, sendo escoada superficialmente. Essa fração representa uma perda e, conforme a intensidade, provoca o processo erosivo do solo. Esse

parâmetro também é conhecido por deflúvio superficial ou "runoff" (R) e está na dependência da capacidade de armazenamento de água do solo, como da intensidade e quantidade de chuva, da declividade do local, bem como da cobertura vegetal:

$$- \int_{t_1}^{t_2} r dt = -R \quad (\text{mm})$$

O segundo membro da equação (2) do balanço hídrico:

$$\pm \int_0^L \int_{t_1}^{t_2} \frac{d\theta}{dt} dt dz = \pm \Delta A \quad (\text{mm})$$

indica a variação do armazenamento da água no solo, dependente do ganho ou da perda da quantidade de água (em mm), integrada no perfil do solo (de 0 a z) no intervalo de tempo ($t_2 - t_1$).

A variação do armazenamento da água pode, portanto, apresentar-se positiva ou negativa, uma vez que sua razão depende da magnitude dos termos do primeiro membro da equação (2), que representa o balanço hídrico sendo que, pela lei da conservação das massas, a soma algébrica de todos os componentes da equação deverá ser nula, como se vê na equação:

$$P + I - E \pm D - R \pm \Delta A = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Comumente, tem sido realizado o balanço hídrico conforme realizaram BLACK *et alii* (1970) e REICHARDT *et alii* (1974), tendo na equação (3) a evapotranspiração real como incôgnita e quantificados os valores da drenagem profunda através da equação de DARCY (1856).

No trabalho em questão, os valores de evapotranspiração real foram obtidos a partir da evaporação de tanque "Classe A" e permanecendo como incôgnita a componente drenagem. (Fluxo no limite inferior do elemento de volume).

FIGURA 1 - Distribuição das parcelas experimentais com respectivas variedades e espaçamento (m).

FIGURA 2 - Curva representativa da retenção de água do solo estudado.

TABELA 1 - Valores referentes a dimensões da parcela (m^2) e comprimento de sulcos de plantio, dosagem de adubo (N-P-K, 5-25-25) e quantidade de mudas plantadas

Parcela	Espaçamento	Dimensão da Parcela		Adubo Aplicado	Mudas Plantadas	
		Área	Sulco		Parcela	ha
	----- m -----	----- m^2 -----	----- m -----	----- g/m -----	----- kg -----	
1	1,40	2703	1928	70	1600	5919
6	1,10	2805	2550	70	2100	7483
8	1,70	2550	1470	70	1300	5098

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variáveis da equação e balanço hídrico

4.1.1. Armazenamento e suas variações no tempo

Os valores de lâminas armazenadas em função do tempo e do espaçamento (Figuras 5.1a e 5.1b), mostram que no período de 19 de maio a 15 de julho de 1981, ou seja, período caracterizado por deficiência de precipitação (111,8mm), as maiores quantidades de água armazenadas no solo referentes ao 1º ciclo da cultura, correspondeu ao espaçamento de 1,70m e a menor para o espaçamento referente a 1,40m entre linhas de plantio (Figura 5.1a). Efetivamente, como a população de plantas obedeceu à ordem de $1,10\text{ m} > 1,40\text{ m} > 1,70\text{ m}$, o conteúdo de água armazenada deveria atender à ordem inversa, ou seja, quanto maior o número de plantas, maior o consumo de água e menor lâmina armazenada no solo, o que realmente não se veri-

ficou, apresentando a seguinte sequência: 1,70 m > 1,10 m > 1,40 m.

O armazenamento relativo ao primeiro intervalo (09 a 21 de outubro de 1981) do segundo ciclo (Figura 5.1b), mostra que a quantidade de água armazenada foi inicialmente superior nos espaçamentos de 1,40 m e inferior para o de 1,10m, como demonstra a própria figura e que a partir de 20 de novembro, os espaçamentos obedeceram à ordem realmente esperada, ou seja, quanto maior o número de plantas e conteúdo de água no solo, maior deve ser o consumo pelas culturas, apresentando a sequência de água armazenada de 1,70 m > 1,40 m > 1,10 m, como observado por MATHERNE (1971). A principal diferença entre as ordens do armazenamento de água para cada espaçamento deve ser atribuída ao sistema radicular da cultura, para o período de outubro de 1981 a janeiro de 1982 (segundo ciclo), possivelmente mais ativo que durante o período de maio a julho (primeiro ciclo). Justifica-se assim, durante o intervalo citado, o comportamento lógico com a população de plantas por unidade de área em cada um dos três espaçamentos. Estas informações estão coerentes com as de Tang e Ho, citadas por PARANHOS (1972).

As variações de armazenamento de água pertencentes a cada espaçamento para o primeiro ciclo (01 de maio a 15 de julho de 1981) e segundo ciclo (09 de outubro de 1981 a 29

de janeiro de 1982), revelaram que no primeiro ciclo apenas a leitura referente ao período de 30 de maio a 15 de junho (Tabela 3 e Figura 5.1a) apresentou maior conteúdo de água entre duas leituras consecutivas de potencial matricial, revelando consequentemente variações positivas da lâmina de água armazenada no solo, para os três espaçamentos estudados. Outrossim, para o segundo ciclo, as variações exibem mais frequentemente valores positivos dessa variável (Tabela 3), além de demonstrar que a variação do armazenamento apresentou-se positiva no final desse ciclo em consequência de maiores precipitações ocorridas.

4.1.2 Fluxo no Limite Inferior do Elemento de Volume

O fluxo interno foi estimado a 80cm de profundidade como base a expressão $D = P - E \pm \Delta A$, onde D = (fluxo no limite inferior do elemento volume) permaneceu como incôgnita da expressão acima, enquanto que os demais componentes foram determinados conforme procedimento no item 3.6. A metodologia utilizada difere daquelas aplicadas por REICHARDT *et alii* (1979) e BRUNINI (1981), que determinaram a drenagem profunda além da zona radicular, utilizando valores de gradiente de potencial total e da condutividade hidráulica a diferentes conteúdos de umidade de solo e intervalos de tempo.

Na Tabela 3 estão contidas lâminas (mm de

água) representativas do componente fluxo interno, revelando para o primeiro ciclo da cultura, perdas de: 34,0 para 1,10m; 36,4% para 1,40m e 44,2% para 1,70m, em relação a evapotranspiração.

Os valores do segundo ciclo da cultura, obtidos de 09 de outubro de 1981 a 29 de janeiro de 1982, intervalo de elevada precipitação, nota-se a menor variabilidade quanto aos percentuais de água perdida além do limite de 80cm, na seguinte ordem de valores em relação a evapotranspiração (E): 55,5% (1,10m), 55,6% (1,40m) e 55,5% (1,70m), que efetivamente não demonstrou diferença entre os espaçamentos.

4.1.3. Evaporação, evapotranspiração de referência ou atual e evapotranspiração real ou atual

Os dados de evaporação de tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração potencial, Et_o ($ECA \times K_p$) e evapotranspiração real ou atual, Et_r ($Et_o \times K_c$), estão representados na Tabela 2. Por estes dados, vê-se que a precipitação de 19 de maio a 15 de julho de 1981 equivale aproximadamente a 48% da evaporação de tanque, 60% da evapotranspiração potencial ou de referência e a evapotranspiração real corresponde a 84% do total precipitado. Caso se considere como perda apenas a Et_r , haveria naquele estágio 17,15mm de água em excesso. Para o segundo ciclo no período de 09 de outubro de 1981 a 29 de janeiro de 1982, observa-se que ECA (608,96 mm) foi bem in

ferior à precipitação, enquanto que a Et_o e Et_r , por sua vez, corresponderam a 53,5% (487,17mm) e 43,50% (395,67mm), respectivamente. A principal diferença entre esses valores nos dois ciclos da cultura é devida, fundamentalmente, às precipitações entre as duas condições da cultura indicada na Figura 3, mostrando inclusive a evapotranspiração potencial ou real.

O coeficiente de cultura (K_c) relativos a intervalos que variam de 9 a 18 dias, foram estimados indiretamente, efetuando-se algumas correções das variáveis climáticas, umidade relativa mínima do ar e velocidade do vento, como propuseram DOOREMBOS e PRUITT (1975) e VILLA NOVA *et alii* (1977).

Os dados da Tabela 2 indicam que a demanda de água pela cultura é crescente, conforme revelam os valores de K_c para os diferentes períodos, mostrados também na Figura 4. Pela tendência dos valores, nota-se a incoerência da utilização de um valor médio de K_c para o ciclo ativo, haja visto a demanda de água ser crescente com o desenvolvimento da cultura até a sua floração e frutificação (BLANEY e CRIDDLE, 1962; AMARO e CAVALCANTE (1981).

4.1.4. Precipitação, armazenamento de água e produção de massa verde

Pela análise dos dados da Figura 5.2a entre duas amostragens efetuadas para determinação da massa ver-

de, verifica-se que a menor produção foi a do espaçamento 1,70m, o que está coerente, devido ao menor número de plantas em relação aos demais espaçamentos, apesar do solo ^{*}exibir maiores lâminas armazenadas, exceto a partir de junho, com respeito aos demais espaçamentos (1,10 e 1,40 m), observa-se nítido aumento do segundo (1,40 m), comparado ao primeiro que dentre os outros, possuía uma maior população de plantas, muito embora o solo para este espaçamento (1,10 m) apresentasse valores de armazenamento de água.

O segundo ciclo da cultura, representado na Figura 5.2b, demonstra que a produção de massa verde obedeceu à seguinte ordem: 1,10 m > 1,70 m > 1,40 m, no período de 09 de outubro de 1981 a 13 de novembro de 1981, e no tocante ao armazenamento (Figura 5.1b), no mesmo período, a tendência desse parâmetro foi basicamente a mesma, apresentando altos valores de água armazenada. O comportamento da produção de massa, a partir dessa data, definiu-se da seguinte maneira: 1,40m > 1,10m > 1,70 m, de modo similar como foi verificado para o mesmo parâmetro já discutido para o primeiro ciclo. Pelo exposto, as Figuras 5.1b e 5.2b evidenciam que, quanto mais ativo e concentrado o sistema radicular de determinada cultura, maior será o consumo de água, donde observa-se que quanmaior a densidade das plantas por metro quadrado, também maior será o consumo de água, como evidenciado pelos espaçamentos

1,10m, 1,40m e 1,70m, apesar da ordem de produção de massa verde obtida não ser rigorosamente inversa ao volume de água armazenado pelo solo.

Para os dois ciclos da cultura, o espaçamento, 1,40 m, demonstrou ser mais produtivo (t/ha) em relação aos demais, isto devido, provavelmente as melhores condições oferecidas por esse tratamento quanto as interações das relações solo-água-plantas.

4.1.5. Produção de massa verde em relação à evapotranspiração atual ou real

Os dados de produção de massa verde (t/ha), relativos aos dois ciclos da cultura, nos diversos intervalos representados na Tabela 4 e Figura 6, evidenciam que a maior produção de massa verde foi a do espaçamento 1,40 m, e as menores produções obtidas pelos espaçamentos de 1,70 m e 1,10m. Para as densidades estudadas de plantio, o menor poder de conversão correspondeu ao espaçamento 1,70 m.

A adubação de N-P-K não serve para comparar dados de produção, uma vez que foram aplicados 70 gramas por metro linear, indistintamente às densidades de plantio. Ainda da Tabela 4, conclui-se que a cultura da cana-de-açúcar exige uma demanda crescente de água em seus distintos intervalos de

crescimento, apresentando um consumo médio diário da ordem de 1,37 mm/dia para o primeiro ciclo e de 2,83 mm /dia relativo ao segundo ciclo.

FIGURA 3 - Distribuição dos valores de precipitação (P), evapotranspiração de referência (Et_o) e evapotranspiração real (Et_r), referentes ao primeiro ciclo (a) e segundo ciclo (b) da cultura.

FIGURA 4 - Valores dos coeficientes de cultura (K_c), referentes ao primeiro ciclo (a) e segundo ciclo (b) da cultura.

FIGURA 5 - Variação dos componentes da equação do balanço hídrico, nos espaçamentos 1,10m, 1,40m e 1,70m; precipitação (mm); armazenagem (mm) e produção de massa verde (t/ha), nos 13 intervalos do balanço, referentes ao primeiro e segundo ciclo da cultura da cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143.

FIGURA 6 - Produção de massa verde para diversos valores de evapotranspiração real acumulada e adubação para 19 ciclo e 29 ciclo da cultura.

TABELA 2 - Valores referentes à evaporação de tanque "Classe A" (ECA), evapotranspiração de referência (Et_o), evapotranspiração real ou atual (Et_r), precipitação (P) e coeficiente de cultura (K_c) para primeiro e segundo ciclo da cultura.

Variação do Período	ECA	$Et_o = ECA \cdot K_p$	$Et_r = Et_o \cdot K_c$	P	K_c
dias	----- mm -----				
01/05 - 15/05/81	59,80	47,84	21,53	40,00	0,45
16/05 - 29/05/81	42,46	33,97	15,28	0,00	0,45
30/05 - 15/06/81	44,68	35,74	17,87	63,80	0,50
16/06 - 09/06/81	30,58	24,46	13,45	8,00	0,55
30/06 - 15/07/81	53,96	43,17	25,90	0,00	0,60
76	231,48	185,18	94,03	111,80	
09/10 - 21/10/81	65,73	52,58	26,29	92,20	0,55
22/10 - 05/11/81	74,77	59,82	35,89	189,20	0,60
06/11 - 20/11/81	87,42	69,94	48,96	87,90	0,70
21/11 - 04/12/81	88,20	70,56	56,45	132,80	0,80
05/12 - 21/12/81	77,40	61,92	55,73	110,60	0,90
22/12 - 04/01/82	88,40	70,72	70,72	59,50	1,00
05/01 - 20/01/82	95,76	76,61	76,61	193,50	1,00
21/01 - 29/01/82	31,28	25,02	25,02	44,60	1,00
114	608,96	487,17	395,67	910,30	

TABELA 3 - Valores dos componentes do balanço hídrico (precipitação P, variação do armazenamento ΔA , evapotranspiração real E_t , drenagem D, e perdas de água por drenagem D%) para os intervalos referentes ao primeiro e segundo ciclo da cultura.

Variação do Período	P	± ΔA			Et _r	± Drenagem			Perdas de Água Drenagem		
		1,10m 1,40m 1,70m				1,10m 1,40m 1,70m			1,10m 1,40m 1,70m		
		dias									
01/05 - 15/05/81	15	40,0	-5,20	-6,40	21,53	-23,67	-24,87	-19,07	52,36	53,69	46,97
16/05 - 29/05	14	0,0	-65,00	-69,80	-15,28	-49,72	-45,52	-54,52	76,49	74,86	78,10
30/05 - 15/06	17	63,8	64,20	81,00	-17,87	18,27	14,07	35,07	50,55	44,05	66,24
16/06 - 29/06	14	8,0	-5,00	-21,40	-13,45	0,45	-3,95	-15,95	3,23	22,70	54,25
30/06 - 15/07	16	0,0	-19,80	-45,80	-25,90	6,10	6,50	-19,90	19,06	20,06	43,44
		111,8	-30,80	-56,60	-94,03	-48,57	-53,77	-74,37	34,06	36,38	43,16
09/10 - 21/10	13	92,2	66,20	62,40	-26,29	0,29	-3,51	-3,11	1,09	11,77	10,58
22/10 - 05/11	15	189,2	8,80	18,00	-35,89	-144,51	-135,31	-150,31	80,10	78,97	80,72
06/11 - 20/11	15	87,9	-35,20	-42,60	-48,96	-74,14	-81,54	-60,54	60,22	62,48	55,28
21/11 - 04/12	14	132,8	15,00	7,00	-56,45	-61,35	-69,35	-73,35	52,07	55,12	56,51
05/12 - 21/12	18	110,6	-50,40	-41,60	-55,73	-105,27	-96,47	-97,67	65,38	63,38	63,67
22/12 - 04/01/82	14	59,5	8,40	23,00	-70,72	19,62	34,22	38,82	21,71	32,60	35,43
05/01 - 20/01	16	193,5	-12,80	-35,60	-70,61	-129,69	-152,49	-157,35	62,86	66,56	67,25
21/01 - 29/01	09	44,6	21,80	28,20	-25,02	2,22	8,62	10,82	8,14	25,62	30,18
		910,3	21,80	18,80	-395,67	-492,83	-495,83	-492,69	55,46	55,61	55,46

TABELA 4 - Valores referentes à produção de massa verde em função da evapotranspiração real acumulada, de 10 de abril a 7 de julho de 1981 (1º ciclo) e 10 de agosto de 1981 a 17 de fevereiro de 1982 (2º ciclo).

Variação		Produção de Massa Verde		Evapotranspiração	
Coleta	Intervalo	Espaçamento		Acumulada	Diária
		1,10	1,40	1,70	
	dias	-----	m -----	--- mm ---	mm dia
10/04 - 05/06	57	11,1	13,9	7,90	73,53 1,29
05/06 - 07/07	32	19,1	19,6	14,1	119,93 1,45
89		1,37			
10/08 - 09/10	60	6,9	4,4	5,1	94,01 1,56
09/10 - 13/11	35	17,2	15,8	16,8	184,47 2,58
13/10 - 14/12	31	38,2	44,6	34,3	276,78 2,98
14/12 - 13/01	30	66,4	79,3	67,2	382,68 3,53
13/01 - 17/02	35	92,1	108,5	83,7	504,65 3,48
191		2,83			

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu as seguintes conclusões:

As perdas por drenagem em função dos espaçamentos foram mais heterogêneos no período de menor precipitação, ou seja, de maio a julho de 1981, apesar de maiores perdas no período chuvoso de outubro de 1981 a janeiro de 1982.

As perdas por drenagem para o segundo ciclo da cultura, independeram dos espaçamentos estudados e ocorreram quando a armazenagem de água no perfil do solo apresentava valores mais elevados.

A maior produção de massa verde de cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143 para qualquer período considerado, foi referente ao espaçamento de 1,40 m.

A produção de massa verde em relação aos espaçamentos em um mesmo valor de evapotranspiração real, foi superior para o de 1,40 m entre linhas de plantio.

6. LITERATURA CITADA

- AMARO, L.M. e L.F. CAVALCANTE, 1981. Uso consuntivo de um solo Litólico com algodão herbáceo, feijão macassar e milho. Anais do Curso de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo, CCA/Universidade da Paraíba.
- BARRADA, Y., 1971. Water balance studies. In: Water use seminar. Damascus. Roma, FAO, p. 90-96 (Irrigation and Drainage Paper, nº 13).
- BARROS FERRAZ, E.S., 1968. Determinação da evapotranspiração pela moderação de neutrons. Piracicaba, ESALQ/USP, 48 p. (Tese de Doutorado).
- BLACK, T.A.; W.R. GARDNER e G.W. THURTELL, 1969. The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 655-660.
- BLACK, T.A.; W.R. GARDNER e C.B. TANNER, 1970. Water storage and drainage under a row on a sand soil. *Agron. J.*, 62: 48-51.

- BLANEY, H.F. e W.D. CRIDDLE, 1962. Determining consuptive use and irrigation water requirements. Technical Bulletin, nº 1275. Agricultural Research Service, U.S. Departament of Agriculture.
- BRUNINI, O.; F. GROHMANN e J.M. SANTOS, 1981. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *R. bras. Ci. Solo*, 5: 1-6.
- CASTRO, P.T., 1979. Evapotranspiração atual e potencial de uma cultura de milho (*Zea mays*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 61 p. (Dissertação de Mestrado).
- COPERSUCAR, 1982. I Seminário de tecnologia. Piracicaba, SP. 322 p.
- CRUCIANI, D.E., 1972. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar. Utilização do método da moderação de neutrons. Piracicaba, CENA, 35 p. (Boletim Científico, nº6).
- DAIAN, J.F. e G. VACHAUD, 1972. Methode d'evaluation du Bilan Hydrique in situ a partir de la mesure des teneures en eau et das succions. In: IAEA. *Proceedings of the symposium on Isotopes and Radiation in Soil-plant Relationships Including Forestry*. Viena, p. 649.
- DARCY, H., 1856. Les fontaines publiques de la Ville de Dijon. Paris, Victor Dalmont. 592 p.

- DEMATTE, J.L.I., 1971. Levantamento detalhado dos solos da Estação Experimental da Copersucar de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP. 52 p.
- DOOREMBOS, J. e W.O. PRUITT, 1975. Crop. water requirements. Roma, FAO, 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, nº 24).
- DOWNEY, L.A., 1972. Water-yields relation for nonforage crops. *J. Irr. Drain*, 98: 107-115.
- GIESEL, W.; S. LORCH e M. RENGGER, 1970. Water-flow calculations by means of gamma absorption and tensiometer field measurements in the unsaturated soil profile. IAEA, Isotope Hydrology. Vienna, p. 663-672.
- HARGREAVES, G.H., 1974. Potential evapotranspiration and irrigation requirements for Northeast Brazil. Salt Lake City, Utah State University/USAID. 55 p..
- IAPAR, 1977. Relatório especial de pesquisa sobre manejo e conservação do solo. 52 p.
- JENSEN, M.E.; D.C. ROBB e E. FRAZOI, 1970. Scheduling irrigation using climate-crop-soil data. *J. Irrig. Drain.*, 96: 25-38.
- KOHLER, M.A., 1957. Meteorological aspects of evaporation phenomena. Trans. Int. Assoc. Sci. Hydrology. Toronto, General Assembly.

- LEITE, A.C., 1978. Aplicação do método do balanço hídrico de energia e de métodos aerodinâmicos de Thorthwaite e Holzman na estimativa da evapotranspiração em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 65p., (Dissertação de Mestrado).
- LUCHIARI JUNIOR, A., 1978. Determinação do coeficiente de cultura (K_c) para feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba, ESALQ/USP, 59p. (Dissertação de Mestrado).
- MATHERNE, R.J., 1971. Influence of interrow spacing and planting rate on stalk population and yield of cane in Louisiana. U.S.D.A., Proc. of the XIV Congress of the Intern. Soc. Sugarcane Technol.
- MILLAR, A.E. e E.N. CHOUDHURY, 1977. Movimento de água em oxisol irrigado. Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido. Petrolina, PE, p.193-197.
- NIXON, P.R. e G.P. LAWLESS, 1960. Translocation of moisture with time in unsaturated soil profiles. *J. Geoph. Res.* 65: 655-660.
- PAIVA JUNIOR, P., 1980. Balanço hídrico em uma cultura de tomate (*Lycopersicum esculentum*, Mill), irrigada através de cápsulas porosas de barro. Piracicaba, ESALQ/USP, 105 p. (Dissertação de Mestrado).

- PARANHOS, S.B., 1972. Espaçamento e densidade de plantio em cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ/USP, 109p. (Tese de Doutorado).
- PEREIRA, A.R.; E.S.B. FERRAZ; K. REICHARDT e P.L. LIBARDI, 1974. Estimativa da evapotranspiração e da drenagem profunda em cafezais cultivados em solos podzolizados Lins e Marília. Piracicaba, CENA, BC-014.
- REICHARDT, K., 1974. Determinação da condutividade hidráulica em condições de campo para a estimativa da drenagem profunda em balanço hídrico. Piracicaba, CENA, BC-015.
- REICHARDT, K., 1975. *Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*. São Paulo, Fundação Cargill; Piracicaba, CENA. 286p.
- REICHARDT, K.; F.GROHMANN; P.L. LIBARDI e S.V. QUEIROZ, 1976. Spatial variability of physical properties of a tropical soil. Piracicaba, CENA, 27p. (Boletim Técnico, nº 4).
- REICHARDT, K.; P.L. LIBARDI; L.C.U. SAUNDER e Z.A. CADIMA, 1979. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *R. bras. Ci. Solo*, 3: 1-5.
- ROSE, C.W.; W.R. STERN e J.E. DRUMOND, 1965. Determination of hydraulic conductivity as a function of depth and water content for soil in situ. *Aust. J. Soil Res.*, 3: 1-9.

- ROSE, C.W., 1966. *Agricultural physics*. Oxford, Pergamon Press. 230p.
- ROSE, C.W. e W.R. STERN, 1967. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as function of depth and time. *Aust. J. Soil Res.*, 5: 11-19.
- SINGER, P. e M.B. RUSSEL, 1979. Water balance and profile loss patterns of on alfissol. *Agron. J.*, 71(6): 963-966.
- STAMERS, W.N.; O.C. IGWE e H.R. WASTELEY, 1973. Calculation of evapotranspiration from measurements of soil water and soil water characteristic. *Canadian Agric. Eng.*, 15: 2-5.
- TAMES, C., 1962. Considerations on balance in dry climates and different types of soil. In: Plant-water relationship in arid and semi-arid conditions. (Proceeding of the Madrid Symposium, UNESCO, p-57-61.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In: KOLOWSKI, T.T., Ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, p.74-106.
- VILLA NOVA, N.A. e J.C. OMETTO, 1977. Instruções para utilização do tanque "Classe A" em estimativas de evapotranspiração potencial, real e frequência de irrigação. Piracicaba, ESALQ/USP, Departamento de Física e Meteorologia (Publicação Especial), 15p.
- W.M.O., 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, 121p. (Technical Note, nº 83).