

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM CONJUNTO DE LISÍMETROS COM UMA CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.).

Mariana de Campos Fraga Soares

Antônio Evaldo Klar*

Depart. de Eng. Rural – FCA – UNESP – CP 237 – CEP 18.603-970 – Botucatu/SP

Fone: (0xx14) 6802-7185 - klar@fca.unesp.br

*Pesquisador Científico do CNPq

1 RESUMO

O presente trabalho foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, Botucatu/SP, com o objetivo de avaliar o desempenho de um conjunto de lisímetros de lençol freático constante. Como instrumentos para avaliação, comparou-se o desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.) em diferentes profundidades do lençol freático (50cm, 60cm, 70cm e 80cm com duas repetições) e área de bordadura. Estimou-se a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-FAO e pelo tanque classe A

Para avaliação do desenvolvimento da cultura do milho foram coletadas quinzenalmente medidas de altura e área foliar e, ao final do experimento, foram coletados dados de produção de massa verde para silagem ($t\cdot ha^{-1}$), matéria seca ($t\cdot ha^{-1}$) e produção de milho verde na palha ($t\cdot ha^{-1}$). Os resultados obtidos, quanto ao desenvolvimento e produção da cultura, indicaram correlação significativa entre os lisímetros e a área externa plantada externa com a mesma cultura.. Os dados de evapotranspiração de referência estimados pelos métodos de Penman FAO e tanque Classe A, para o ciclo da cultura estudada, foram 339,7mm e 377,9mm, respectivamente. A evapotranspiração da cultura no período variou de 219,19 a 276,64mm, com o maior valor a 60 cm da superfície do solo e o menor, a 80cm..

As eficiências do uso da água (EUA) médias, em relação a matéria seca, pela cultura do milho, foi de $2,98\ kg\cdot m^{-3}$ para a estimativa com base na evapotranspiração da cultura medida diretamente nos lisímetros, $3,23\ kg\cdot m^{-3}$, para a evapotranspiração da cultura estimada pela ETo pelo método de Penman-FAO e $2,89\ kg\cdot m^{-3}$, pelo método do tanque Classe A.

UNITERMOS: lisímetros, evapotranspiração, eficiência do uso da água.

SOARES, M.C.F., KLAR, A. E. EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF A LISYMETER SET WITH A CORN CROP (*Zea mays* L.).

2 ABSTRACT

This study was set up at Agricultural Engineering Department – FCA/Unesp, Botucatu/SP, in order to evaluate the performance of a set lysimeters (50, 60, 70, and 80 cm water table level, with two replications). A corn crop (*Zea mays* L.) was used in lysimeters and in the border area.

Plant height and leaf area were measured every 15 days to evaluate the corn crop development and at the end of the experiment, green mass to silage, total dry and fresh matter and production of fresh corn grain were taken. The estimated reference evapotranspiration was computed according to Penman-FAO and Class A pan methods.

The results showed a significant correlation between the plant results obtained from lysimeters and the border area. The total reference evapotranspiration was 339.7 mm and 377.9 mm for Penman-FAO and Class A pan methods, respectively. The evapotranspiration of crop in this period, measured in the lysimeters, were from 219.19 mm (80cm) to 276.64 mm (60cm)

The water use efficiency (WUE) average using kg of total dry matter per water evapotranspiration were $2.98\ kg\cdot m^{-3}$ measured through lysimeters, $3.23\ kg\cdot m^{-3}$ by Penman-FAO and $2.89\ kg\cdot m^{-3}$ by Class A pan methods.

KEYWORDS: lysimeters, evapotranspiration, water use efficiency.

3 INTRODUÇÃO

Assim como ocorreu com o petróleo, alvo de disputas financeiras e constantes estopins de guerra, a água tem tudo para virar o século como ‘commodity’ do novo milênio. A utilização racional da água é de extrema importância para a humanidade e, portanto, tem se tornado tema de muitos estudos científicos.

Na agricultura, uma das principais preocupações dos produtores é maximizar a produção agrícola e, para tanto, é indispensável aumentar a produtividade e produzir nas entressafras, tentando manter a qualidade do produto agrícola. Um dos fatores essenciais para plantios fora de época, além das condições ambientais (temperatura, fotoperíodo, etc.), é a

disponibilidade de água para melhor desenvolvimento da cultura. O déficit hídrico pode ser controlado através da utilização de sistemas de irrigação para disponibilizar água para as plantas. Embora, sua instalação e manutenção elevem o custo de produção, em muitas regiões e sistemas de cultivo, como cultivo em casas de vegetação, é indispensável esta técnica para a produção agrícola se tornar viável economicamente.

Desta maneira, o dimensionamento do sistema de irrigação deve atender as necessidades hídricas da cultura. A necessidade de água de uma cultura pode ser estimada por métodos indiretos, ou seja, através de equações baseadas em dados climatológicos de simples coleta, tais como temperatura, ou através de modelos baseados em dados mais complexos, tais como radiação solar e velocidade do vento. Já a estimativa, através de métodos diretos, pode ser feita com a utilização de lisímetros. Assim a determinação da evapotranspiração permite estimar a quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura.

Os lisímetros vêm sendo utilizados há cerca de 300 anos (Aboukhaled et al., 1986) e, sem dúvida alguma, continuam sendo considerados, até o presente, como a principal ferramenta para estudos de evapotranspiração. O conhecimento da quantidade de água consumida durante o ciclo de uma determinada cultura, permite adequar o manejo do sistema de irrigação, evitando excessos e défices, sendo esta mais uma prática importante para a preservação deste recurso natural essencial à vida.

Assim sendo, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de um conjunto de lisímetros de lençol freático constante. Como instrumentos para avaliação, comparou-se o desenvolvimento de uma cultura do milho (*Zea mays* L.) em diferentes profundidades do lençol freático, com a área de bordadura; estimou-se a evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-FAO e tanque classe A, a evapotranspiração da cultura pelos lisímetros e a eficiência do uso da água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, Campus de Botucatu/SP, na Fazenda Experimental Lageado. O local encontra-se a aproximadamente 786m de altitude e com as seguintes coordenadas geográficas: 22° 51' de latitude sul e 48° 26' de longitude ocidental.

Segundo Martins (1989), o clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é definido como Cfa (temperado chuvoso), caracterizado pela existência de quatro ou mais meses consecutivos com temperaturas médias acima de 10° C, sendo a temperatura no mês mais quente 23,2 °C e no mês mais frio, 16,9 °C. Já a precipitação no mês mais chuvoso é igual à 223,4mm e no mês mais seco, 37,8mm; sendo a precipitação média anual de 1.447mm e a evapotranspiração de referência média anual de 684mm.

O solo da área é classificado e descrito por Carvalho et al. (1983), como Unidade Experimental, com características intermediárias entre solos com horizonte B latossólico e solos com horizonte B textural, distrófico e textura média.

Foram coletadas amostras de solo dentro e fora dos lisímetros para caracterização química do solo nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm e, de 0-20cm, para análise física. As Tabelas 01 e 02 apresentam os resultados das análises química e física do solo, realizadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da FCA.

Os lisímetros foram construídos de caixas de cimento amianto, revestidas internamente com fibra de vidro. As paredes não ultrapassaram a espessura de 1cm. Foram utilizados 08 lisímetros instalados na área experimental.

Cada lisímetro corresponde a uma caixa de 2,0m x 1,8m, ou seja, com uma área de exposição de 3,6m², sendo a profundidade de 1,25m.

Tabela 01. Dados das características químicas do solo nos lisímetros e na área de bordadura, nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm, antes do plantio.

Amostra	PH CaCl ₂	M.O. g.dm ⁻³	P _{resina} mg. dm ⁻³	H + Al -----	K -----	Ca mmol .	Mg dm ⁻³	SB ----	CTC ---	V%
LIS (0-20)	4,6	14	1	40	0,8	19	8	28	69	41
LIS (20-40)	4,9	16	1	36	0,5	17	9	26	63	42
CAM (0-20)	4,8	15	2	38	0,7	19	9	29	67	43
CAM (20-40)	4,5	18	1	50	0,2	17	6	23	73	32

LIS - amostras referentes à área lisimétrica
CAM - amostras referentes à área de bordadura

Tabela 02. Massa específica e granulometria do solo usado nos lisímetros e na área de bordadura, na profundidade de 0-20cm.

Amostra	M. Específica (g/cm ³)	Areia (%)	Limo (%)	Argila (%)
LIS	1,38	44	13	42
CAM	1,38	44	15	41

A terra foi removida do local a serem instalados os lisímetros, separada nos diferentes perfis do solo. Os lisímetros foram colocados, nivelados e antes de serem novamente preenchidos com terra, foi colocada uma camada de pedregulho de 10cm de espessura no fundo da caixa. Esta camada foi revestida por uma manta de "Bidin OP - 30". Assim, os lisímetros foram preenchidos com terra, obedecendo os perfis originais do solo do local. Em um dos cantos de cada lisímetro, foi colocado um piezômetro (tubo de PVC de 75mm de diâmetro) para verificar a altura do lençol freático.

No fundo das caixas, a fim de facilitar a drenagem da água, foi instalada uma rede de tubulação de PVC de 32mm de diâmetro, toda perfurada e revestida com "Bidin OP - 30", na forma de 'escama de peixe'. Esta rede de tubulação foi ligada à tubulação de drenagem/manutenção do nível do lençol freático.

O conjunto lisimétrico era composto de:

- lisímetros - conforme já descrito anteriormente;
- reservatório para manutenção do nível freático constante - composto de um reservatório com sistema de bóia e com drenagem automática para manutenção do nível mesmo em dias chuvosos. Este reservatório foi afixado num suporte móvel, permitindo variar a altura do lençol freático. O reservatório para manutenção do nível freático é diretamente conectado ao lisímetro e, assim, pelo princípio dos vasos comunicantes, o nível do lençol freático é mantido constante dentro dos lisímetros;

- reservatório de abastecimento e leitura - composto de um reservatório que foi instalado acima do nível dos lisímetros e dos reservatórios para manutenção do lençol freático, permitindo a reposição automática, da água evapotranspirada, por gravidade. Foi acoplado à este reservatório um tubo de vidro transparente com uma escala em mm para a leitura do consumo de água. No período de maior consumo de água pela cultura, o reabastecimento do reservatório foi efetuado semanalmente;

- tubulação de drenagem - composta de um tubo de PVC de 32mm de diâmetro com um registro esfera de 1" na extremidade, ligado diretamente ao lisímetro. No presente estudo, este sistema não foi utilizado, uma vez que trabalhou-se com nível freático constante.

A estabilização do solo dentro dos lisímetros foi efetuada por meio de irrigações constantes, até não ocorrer mais abaixamento do nível do solo dentro das caixas e na área de bordadura. A instalação do sistema foi concluída no primeiro semestre de 1999 e o primeiro cultivo na área após a acomodação do solo foi de aveia preta. Esta área ficou sem ser cultivada por dois anos, devido à instalação dos equipamentos.

Os dados climatológicos utilizados foram: evaporação do tanque Classe A, temperatura e umidade relativa máximas e mínimas, velocidade do vento, radiação solar, insolação e precipitação. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais da FCA, sendo coletados diariamente às 7:00h. A estação meteorológica do Departamento de Recursos Naturais está instalada a aproximadamente 500m da área experimental do presente estudo.

As plantas cultivadas na área de bordadura e as plantas cultivadas dentro dos lisímetros constituíram-se nos tratamentos para comparação nos aspectos de desenvolvimento e produção.

Os lisímetros foram cultivados com milho, sendo divididos em quatro tratamentos com duas repetições: lençol freático mantido à 50cm da superfície do solo, lençol freático mantido à 60cm, lençol freático à 70cm e lençol freático à 80cm, permitindo, assim, a diferenciação de quatro tratamentos em função da disponibilidade de água para a planta.

A cultura utilizada foi o milho (*Zea mays* L.) híbrido Cargil 333 B.

O ciclo da cultura foi dividido em subperíodos de desenvolvimento conforme adotado por Matzenauer et al. (1998): semeadura à emergência (S-E); emergência aos 30 dias pós emergência (E-30d); 30 dias pós emergência ao pendoamento de mais de 50% das plantas (30d-P); pendoamento de 50% à colheita de milho verde (P-C).

Os subperíodos ocorreram nas seguintes datas:

S -E - 20 de janeiro à 27 de janeiro de 2000;

E - 30d - 28 de janeiro à 26 de fevereiro de 2000;

30d - P - 27 de fevereiro à 01 de abril de 2000;

P - C - 02 de abril à 27 de abril de 2000.

A coleta efetiva de dados foi considerada a partir de 27/01/00, ou seja, teve início no subperíodo E-30d, após a germinação.

Na área de bordadura, o preparo do solo constituiu de uma aração e uma gradagem. Próximo dos lisímetros e dentro deles o preparo foi feito manualmente com enxada.

A calagem foi efetuada com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 01). O cálculo foi efetuado considerando-se atingir um V% de 70%. Assim, a dosagem de calcário foi calculada em 2,5 t.ha⁻¹, a qual foi dividida em duas parcelas, a primeira (50% da necessidade calculada) foi incorporada ao solo na operação de aração e a segunda parcela (demais 50%) foi adicionada ao solo antes da operação de gradagem. A adubação foi estabelecida de acordo com os resultados da análise do solo (Tabela 01) e recomendações do Boletim 100 (Raij et al., 1997). No plantio, a adubação foi feita no sulco de semeadura na dosagem de 400 kg.ha⁻¹, utilizando-se a fórmula 8-28-16; já a adubação de cobertura, foi efetuada quando as plantas estavam com 6 a 8 folhas desdobradas, utilizando-se 30 kg.ha⁻¹ de uréia.

A semeadura na área de bordadura foi efetuado mecanicamente com semeadora, na área adjacente aos lisímetros e, dentro destes, a semeadura foi efetuada manualmente. A densidade de plantio foi de 55.500 plantas.ha⁻¹, ou seja, 0,9m entre ruas, sendo colocadas de 5 a 6 sementes por metro linear.

A semeadura foi efetuada dia 20 de janeiro de 2000 e a emergência ocorreu 7 dias após a semeadura, dia 27 de janeiro.

Ao longo do experimento, foi efetuada uma capina manual com enxada para controle de plantas daninhas e uma pulverização com Decis para controle de lagartas (*Spodoptera frugiperda*) e vaquinha (*Diabrotica speciosa*).

A irrigação foi utilizada com o intuito de aproximar o potencial de água no solo dentro e fora dos lisímetros, para que assim as plantas pudessem se desenvolver sob as mesmas condições hídricas. O monitoramento de quando irrigar na área externa, foi baseado nas condições de tensão da água no solo, indicada pela média de dois tensiômetros, instalados nas profundidades de 0,2 e 0,4m, no tratamento com lençol à 80cm de profundidade. Adotou-se este procedimento, pois nos lisímetros com lençol à 80cm da superfície ocorreu a condição mais extrema de umidade do solo. Foi utilizado um sistema de aspersão convencional, com linhas laterais de aço zincado de 4" e aspersores Asbrasil ZE 30 com dois bocais, 5,0mm x 6,5mm, que em testes de campo forneceram lâmina média de 9 mm/h. Ao longo do experimento foram realizadas 04 irrigações.

A colheita foi efetuada no dia 27 de abril, ou seja, aos 91 dias pós emergência.

Foi determinada a produção de massa verde total, para obtenção de dados para comparação da produção de massa para silagem entre as plantas da bordadura e dos lisímetros nos diferentes tratamentos de água. Ao final do experimento, foram colhidas e pesadas todas as plantas de cada lisímetro, ou seja, de uma área de 3,6m². Com base no peso médio destas plantas foi determinada a produção. Na área de bordadura foram colhidas, ao acaso, três parcelas de 3,6m². A produtividade de massa verde foi expressa em t.ha⁻¹.

A produção de matéria seca foi efetuada secando-se em estufa (60°C), até peso constante.

Foi determinada a produção total de milho verde na palha, para cada tratamento, ou seja, na área de bordadura e em cada um dos lisímetros. A metodologia para determinação da produção foi a mesma adotada para massa verde. A produção de milho verde foi estimada pesando-se individualmente as espigas e multiplicando-se o peso médio pela densidade de plantio.

Foram selecionadas, ao acaso, oito plantas na área de bordadura e três plantas em cada lisímetro; estas plantas foram monitoradas e, ao longo do ciclo, foram tomadas seis medidas de altura da planta. Como referência inferior, foi adotado o nível do solo e como referência superior foi adotada a inserção da última folha desdobrada. As medidas foram efetuadas nas seguintes datas: 15 dias pós emergência (11/02), 29 dias pós emergência (25/02), 43 dias pós emergência (10/03), 63 dias pós emergência (30/03), 77 dias pós emergência (13/04) e a última no dia da colheita, 91 dias pós emergência (27/04).

A área foliar foi determinada nas mesmas plantas utilizadas para altura. Foram medidas todas as folhas da planta na sua maior largura e comprimento (da inserção com a bainha até a ponta da folha). A área foliar total da planta foi determinada pela soma da área foliar de cada folha da planta, sendo:

$$AF = C \times L \times 0,747 \quad (1)$$

onde:

AF - área foliar, cm²

C - comprimento da folha, cm

L - maior largura da folha, cm

0,747 - fator para determinação da área foliar (Stickler et al., 1968)

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método Penman FAO e com base nos dados de evaporação do tanque Classe A (Doorenbos & Pruitt, 1997) porém, conforme adotado por Valadão (1995), a equação foi utilizada sem o fator de correção "c", para a relação entre a velocidade do vento durante o dia e a noite. Assim, ET_o foi determinada:

$$ET_o = W.R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_s - e_a) \quad (2)$$

onde:

ET_o - evapotranspiração de referência segundo o método de Penman FAO, mm.dia⁻¹

W - Fator de ponderação relacionado com a temperatura e a altitude

R_n - Radiação líquida em equivalente de evaporação, mm.dia⁻¹

e_a - tensão atual de vapor (mbar)

e_s - tensão de saturação de vapor (mbar),

f(u) - função relacionada ao vento

A ET_o, pelo método do tanque Classe A, foi determinada através da expressão:

$$ET_o = ECA \cdot K_p \quad (3)$$

onde:

ECA - evaporação do tanque Classe A (mm);

K_p - coeficiente de tanque. Os valores de K_p foram estimados em função da velocidade do vento, área gramada e umidade relativa média, e tabelados por Doorenbos & Pruitt (1997). No presente estudo o tanque Classe A estava localizado em uma área gramada, com bordadura de 100 m, a umidade relativa predominante foi alta, ou seja, acima de 70% e a velocidade do vento ultrapassou 175 km.dia⁻¹ apenas alguns dias.

O abaixamento do nível freático constante nos lisímetros ocorreu em resposta ao processo de evapotranspiração e para manutenção do equilíbrio do sistema. O reservatório de abastecimento e leitura repôs automaticamente a água

consumida pela cultura. Assim, a evapotranspiração da cultura (ETc) é a perda de água para a atmosfera pelo conjunto solo-planta.

A medida direta da ETc foi efetuada nos lisímetros cultivados com milho. Conforme descrito anteriormente, o sistema instalado para manutenção do nível freático constante permite a leitura direta da evapotranspiração da vegetação. Como não foram utilizadas coberturas sobre os lisímetros, em dias chuvosos acrescentou-se a lâmina de água que ficara retida no solo do lisímetro, uma vez que o excedente de água era automaticamente drenado. Assim a ETc foi determinada da seguinte maneira:

$$ETc = (L_1 - L_2) + Am \quad (4)$$

onde:

ETc - evapotranspiração da cultura, mm

L₁ - leitura do dia, obtida na escala do reservatório de abastecimento e leitura, mm

L₂ - leitura anterior, obtida na escala do reservatório de abastecimento e leitura, mm

Am - lâmina de água armazenada após uma precipitação ou irrigação, em mm, obtida por amostragem ao longo do experimento

Foi possível determinar a ETc desta maneira, uma vez que os demais parâmetros da equação do balanço de massas foram desprezados, porque trabalhando-se com lisímetros de lençol freático constante, controla-se o escoamento superficial. As variações de armazenamento podem ser consideradas desprezíveis num curto intervalo de tempo.

As leituras de ETc foram realizadas todas às segundas, quartas e sextas-feira, trabalhou-se com a ETc total no período e a média diária do período.

Cinco dias antes da semeadura do milho foram estabelecidos os níveis freáticos nos lisímetros e as leituras tiveram início no dia 27 de janeiro; pois um dia antes do plantio, 26 de janeiro, ocorreu precipitação de 41mm, favorecendo a germinação da cultura.

A evapotranspiração da cultura também foi estimada utilizando-se os valores de ETo determinados pelos métodos de Penman FAO e tanque Classe A, a partir da expressão:

$$ETc = ETo \times Kc \quad (5)$$

sendo,

ETo – evapotranspiração de referência estimada, mm.dia⁻¹

Kc – coeficiente da cultura

Para fins de cálculo, foram utilizados os coeficientes da cultura recomendados pela FAO 33 (Doorenbos & Kassam, 1994); e, assim, dentro dos subperíodos considerados neste estudo, adotou-se os seguintes Kc's :

subperíodo S-E: desconsiderado para fins de cálculo

subperíodo E-30d: 0,3

subperíodo 30d-P: 0,7

subperíodo P-C: 1,05

A eficiência do uso da água foi determinada com base na produção de matéria seca (EUAmS) e na produção de milho verde na palha (EUAmV).

Através da razão entre a produção de cada tratamento e os valores medidos e estimados de ETc, obteve-se a eficiência do uso da água pela cultura. Assim:

$$EUAmS = MS/ETc \times 10^2 \quad (6)$$

sendo,

EUAmS – eficiência do uso da água com base na produção de matéria seca, kg.m⁻³

MS – matéria seca, t.ha⁻¹

ETc – evapotranspiração da cultura, mm

10² – fator para correção de unidades

$$EUAmV = MV/ETc \times 10^2 \quad (7)$$

Sendo,

EUAmV – eficiência do uso da água com base na produção de milho verde na palha, kg.m⁻³

MV – produção de milho verde, t.ha⁻¹

Os dados referentes ao desenvolvimento da cultura dentro e fora dos lisímetros, tais como, produção de massa verde para silagem, produção de matéria seca em estufa, produção de milho verde, área foliar e altura da planta, foram submetidos ao teste F para análise de variância e quando significativos ao nível de 5%, foram submetidos ao teste de Tukey para comparação das médias obtidas em cada um dos parâmetros.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desenvolvimento da cultura e produção

Estes parâmetros foram avaliados para detectar possíveis diferenças no desenvolvimento e produção entre as plantas cultivadas fora e dentro dos lisímetros. Os resultados referentes ao desenvolvimento da cultura, produção de massa verde para silagem, produção de matéria seca e produção de milho verde, para as diferentes profundidades de lençol freático e área de bordadura estão apresentados na Tabela 03. De acordo com a análise de variância e teste F ficou evidenciado que não

ocorreram diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, no desenvolvimento e produção das plantas, embora surjam tendências para maior produtividade no tratamento L70cm, o que pode ser motivado pela precipitação pluviométrica, mantendo os tratamentos com lençóis mais superficiais com menos aeração.

Com relação à área foliar, observa-se pela Tabela 03, que o máximo desenvolvimento ocorreu próximo de 30 de março, ou seja, no subperíodo 30d-P, que foi de 27 de fevereiro a 01 de abril. No início deste subperíodo, as plantas estavam com 09 folhas, e foi justamente ao longo deste período que as plantas apresentaram o máximo desenvolvimento de área foliar. De acordo com Fancelli & Dourado Neto (1996), o estágio fenológico de 12 folhas é caracterizado pela presença de 80 a 90% da área foliar máxima. Esta tendência foi clara em todos os tratamentos, conforme ilustrado na Figura 01.

Com relação à altura de plantas, não ocorreram diferenças significativas entre as plantas desenvolvidas na área de campo e nos lisímetros; embora a média das plantas do campo tenha sido menor que todos os tratamentos lisimétricos e o $P=0,0509$.

Tabela 03. Valores médios de altura das plantas (cm), área foliar (cm²), ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, produção de massa verde para silagem (t.ha⁻¹), produção de matéria seca (t.ha⁻¹) e produção de milho verde na palha (t.ha⁻¹) para os diferentes tratamentos.

Parâmetros avaliados	Bordadura	LIS 50 cm	LIS 60 cm	LIS 70 cm	LIS 80 cm
Altura das plantas	156	161	171	173	167
área foliar em 11/02	186,9	185,3	193,5	228,9	178,0
área foliar em 25/02	797,3	907,2	973,8	1.241,7	824,7
área foliar em 10/03	2.178,4	2.646,2	2.309,7	3.137,3	2.299,9
área foliar em 30/03	4.866,7	4.342,5	4.483,3	4.738,2	4.214,3
área foliar em 13/04	3.981,6	3.609,7	3.596,0	3.777,1	3.476,0
área foliar em 27/04	3.510,5	3.486,7	3.271,6	3.537,9	3.280,2
Prod. Massa verde	24,9	25,8	22,2	27,3	20,1
Prod. Matéria seca	7,3	7,3	6,4	9,2	6,5
Prod. Milho verde	13,0	12,1	8,7	11,0	9,3

bordadura - refere-se à área de campo

LIS 50cm - refere-se aos lisímetros com lençol freático à 50cm de profundidade

LIS 60cm - refere-se aos lisímetros com lençol freático à 60cm de profundidade

LIS 70cm - refere-se aos lisímetros com lençol freático à 70cm de profundidade

LIS 80cm - refere-se aos lisímetros com lençol freático à 80cm de profundidade

A produção de massa verde para silagem apresentou variação de 20,1 a 27,3 t.ha⁻¹, sendo que a menor produtividade ocorreu na área lisimétrica com lençol à 80cm de profundidade e a maior produção, de 27,3 t.ha⁻¹, ocorreu nos lisímetros com lençol à 70cm. Segundo Sawazaki et al. (1998), a produtividade normal média para o Estado de São Paulo é de 20 a 30 t.ha⁻¹. A produção de milho verde oscilou de 8,7 a 13,0 t.ha⁻¹. Segundo os mesmos autores, a produtividade média no Estado é de 8 a 10 t.ha⁻¹ de espigas. Isto demonstra que o solo foi capaz de suprir melhor as plantas com o nível do lençol a 70 cm que nos demais níveis. Convém acrescentar que as chuvas não permitiram uma diferenciação mais concreta entre os níveis, igualando-se-os após as precipitações. Como não era prioritária a determinação da ETo, e sim estudar um método para qualificar os lisímetros a futuras medições de ETo, não se proporcionou cobertura para isola-las das chuvas.

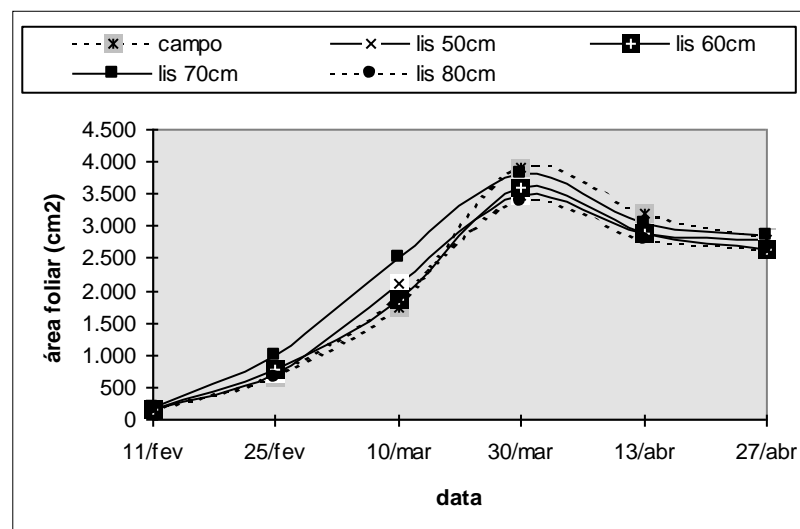


Figura 01. Desenvolvimento da área foliar do milho para os diferentes tratamentos.

Embora as análises estatísticas não tenham apresentado diferenças significativas, observa-se em todos os parâmetros avaliados que as plantas apresentaram maior desenvolvimento e produtividade no tratamento com o lençol freático à 70cm da superfície do solo.

Assim, considera-se que o desenvolvimento das plantas dentro e fora dos lisímetros não apresentou diferenças e manteve-se a média de produtividade para o Estado de São Paulo, fato este que reflete a boa performance das plantas na área lisimétrica, estando o equipamento apto para posteriores pesquisas.

As Figuras 02, 03 e 04 mostram as médias de produtividade para os diferentes tratamentos.

5.2. Evapotranspiração de referência

A média diária de ETo PF foi 3,77 mm.dia⁻¹ e a média de ETo CA foi 4,20 mm.dia⁻¹, sendo o acumulado no período em estudo, 339,7 mm e 377,9 mm, respectivamente.

Na Tabela 04 estão apresentados os dados das médias diárias, totais acumulados no período e totais de cada subperíodo de desenvolvimento da cultura do milho.

5.3. Evapotranspiração da cultura

Os dados referentes a evapotranspiração da cultura (ETc), medidos diretamente no conjunto lisimétrico e estimados através da evapotranspiração de referência (ETo) pelos métodos de Penman-FAO e tanque Classe A, estão apresentados na Tabela 05.

O maior consumo de água pelas plantas foi de 276,64 mm, quando o nível freático encontrava-se à 60 cm de profundidade, sendo o menor consumo de 219,18 mm, quando o lençol estava à 80 cm, indicando que a água estava menos disponível para a cultura. O total acumulado no período, através de estimativa pelos métodos de Penman FAO e tanque Classe A, foram 227, 42 mm e 261,03 mm respectivamente. Oliveira et al. (1994), cultivando milho verde em Sete Lagoas/MG, obtiveram uma produtividade de 10 t.ha⁻¹ com aplicação de lâmina d'água de 330,8 mm.

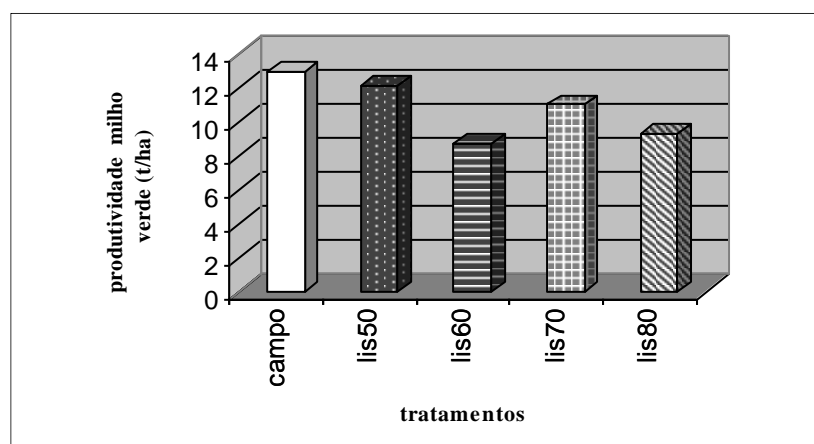


Figura 02. Produtividade de milho verde (t.ha⁻¹).

Segundo Doorenbos & Kassam (1994), dependendo do clima, para se obter produção máxima de grãos, são necessários de 500 a 800 mm de água. Estes valores coincidem com a quantidade elucidada em O consumo... (1987), que estima entre 400 a 700 mm o consumo de água durante todo o ciclo da cultura de milho para a produção de grãos.

Considerando o volume precipitado no período em estudo, 370,1 mm, os dados relativos à evapotranspiração da cultura acumulada, estão de acordo com o consumo médio estabelecido por Fornasieri Filho (1992), que estabelece como consumo médio de água pela cultura, 573 mm. Este autor sugere que as variações no consumo de água ocorrem em função do cultivar, da época de semeadura, da região e mesmo da população de planta.

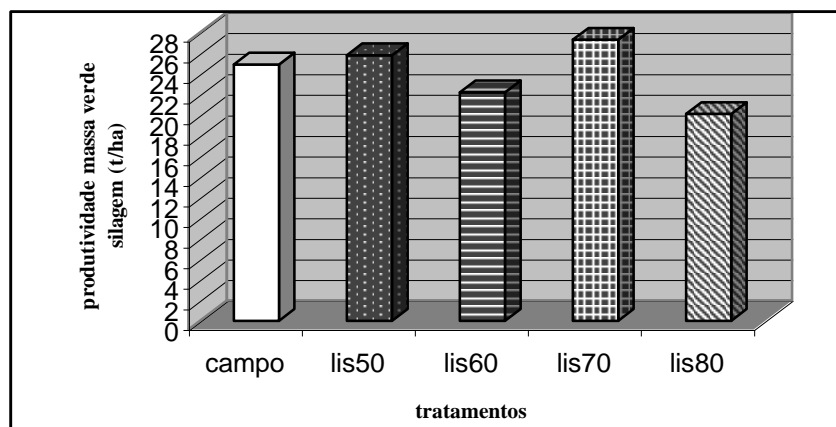
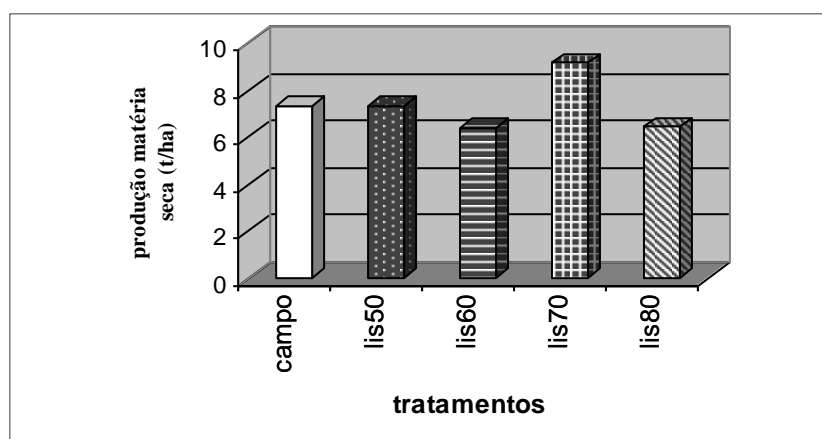
Figura 03. Produtividade de massa verde para silagem (t.ha⁻¹)Figura 04. Produção de matéria seca em estufa (t.ha⁻¹).

Tabela 04. Valores de evapotranspiração de referência (ETo) estimados por Penmam FAO e tanque Classe A.

Determinações	EVAPOTRANSPIRAÇÃO de REFERÊNCIA	
	Penmam FAO	tanque Classe A
Subperíodo E-30d	111,85 mm	122,19 mm
Subperíodo 30d-P	129,63 mm	146,26 mm
Subperíodo P-C	98,22 mm	109,43 mm
Total no período	339,7 mm	377,9 mm
Média diária	3,77 mm.dia ⁻¹	4,20 mm.dia ⁻¹

Tabela 05. Dados de evapotranspiração da cultura (mm), total acumulado ao longo do ciclo e média diária, para cada profundidade do lençol freático em estudo.

	EVAPOTRANSPIRAÇÃO da CULTURA					
	LIS				Penmam	Tanque
	50cm	60cm	70cm	80cm	FAO ¹	Classe A ¹
Total no período (mm)	244,69	276,64	251,84	219,19	227,42	261,03
Média diária (mm.dia ⁻¹)	2,72	3,07	2,80	2,44	2,53	2,90

¹ – Penmam-FAO e Tanque Classe A referem-se à evapotranspiração da cultura estimada através da equação (5)

A Figura 05 apresenta, esquematicamente, os dados de evapotranspiração da cultura para os diferentes tratamentos.

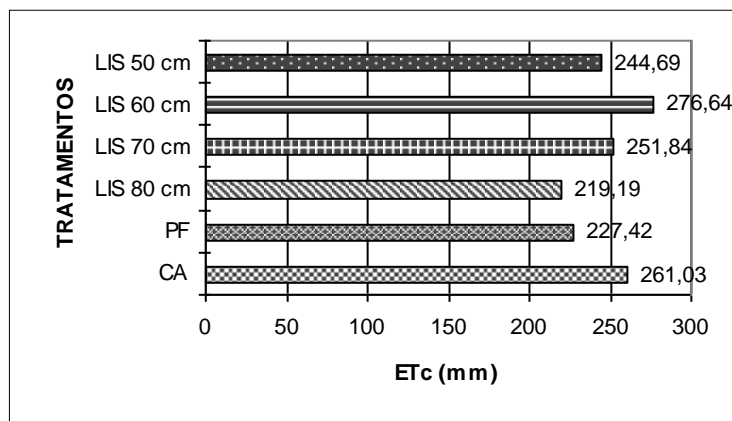


Figura 05. Valores de evapotranspiração da cultura (ETc).

Como os lisímetros não foram protegidos contra as precipitações, as chuvas interferiram nas leituras da ETc, de acordo com a metodologia aplicada, a somatória de chuvas no período foi efetuada com base em dados amostrais, assim sendo, pode ter mascarado os resultados da evapotranspiração da cultura medida nos lisímetros; portanto não foi viável trabalhar com os dados acumulados por subperíodos de desenvolvimento da cultura. Como tratava-se do segundo cultivo na área lisimétrica, o ideal seria repetir o experimento e proteger os lisímetros de possíveis precipitações, evitando-se desta maneira a interferência das chuvas nas medidas da evapotranspiração da cultura.

5.4. Eficiência do uso da água

A determinação da eficiência do uso da água (EUA) serviu como mais um parâmetro para avaliar o consumo de água pela cultura do milho. Na Tabela 06 estão apresentados os dados para os diferentes tratamentos.

Com relação à matéria seca em estufa, o melhor uso da água ocorreu quando o lençol freático encontrava-se à 70cm de profundidade, ou seja, para a mesma quantidade de água absorvida pela cultura a maior conversão em matéria seca foi pelo tratamento LIS 70cm, 3,65 kg.m⁻³.

Howell et al. (1991) estudaram o comportamento de dois híbridos de milho e obtiveram resultados da EUA, ou seja, a relação evapotranspiração/matéria seca, que variaram de 2,75 a 3,02 kg.m⁻³. Dujmovich et al. (1996), obtiveram resultados superiores para a EUA. No entanto, estes autores desenvolveram a pesquisa em uma região de clima subúmido e de solos com alta fertilidade natural; os resultados obtidos, durante cinco anos de estudo, variaram de 4,42 a 6,70 kg.m⁻³, sendo a EUA média de 5,9kg.m⁻³.

Tabela 06. Eficiência do uso da água com relação à produção de matéria seca em estufa, massa verde para produção de silagem e produção de milho verde na palha.

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA (kg.m⁻³)

	Matéria seca			Massa verde			Milho verde		
	LIS	PF	CA	LIS	PF	CA	LIS	PF	CA
Campo	-	3,22	2,89	-	10,95	9,81	-	5,71	5,12
Lis 50cm	3,00	3,23	2,89	10,54	11,34	10,16	4,94	5,32	4,77
Lis 60cm	2,32	2,82	2,53	8,02	9,76	8,74	3,13	3,81	3,41
Lis 70cm	3,65	4,04	3,62	10,84	12,00	10,75	4,37	4,84	4,34
Lis 80cm	2,95	2,84	2,54	9,17	8,84	7,92	4,25	4,10	3,67
Médias	2,98	3,23	2,89	9,64	10,58	9,48	4,17	4,76	4,26

Levando-se em consideração que este foi o segundo cultivo em uma área que teve seu solo todo removido e que ficou por dois anos consecutivos sem ser plantada, os resultados obtidos para os diferentes tratamentos de profundidade do lençol freático, estão de acordo com resultados relatados na literatura.

Considerando todos os métodos empregados neste trabalho para a estimativa da eficiência do uso da água (Tabela 06), os resultados indicaram mais uma vez que quando o lençol freático encontrava-se à 70cm da superfície, o desenvolvimento

da cultura foi mais eficiente, embora não tenham ocorrido diferenças estatisticamente significativas quanto à produtividade. Assim seria interessante repetir o presente estudo com um número maior de repetições e outras profundidades do lençol freático, mantendo o tratamento à 70cm de profundidade. Provavelmente, o experimento teria resultados diferentes caso não houvesse uma precipitação pluviométrica de 370,1 mm, o que determinou menor produtividade nos níveis freáticos de 50 e 60 cm da superfície do solo.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos e nas condições estudadas, pode-se concluir que:

- o desenvolvimento e produção da cultura de milho na área lisimétrica e na área de bordadura, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, evidenciando o bom desempenho dos lisímetros para estudo;
- a eficiência média do uso da água (EUA) pela cultura do milho foi de 2,98 kg.m⁻³ para a estimativa com base na evapotranspiração da cultura medida diretamente nos lisímetros, 3,23 kg.m⁻³, para evapotranspiração da cultura estimada pelo método de Penman-FAO e 2,89 kg.m⁻³, pelo método do tanque Classe A.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A., ALFARO, J. F., SMITH, M. *Los lisímetros*. Roma: FAO, 1986. 60p. (Estudio FAO Riego y Drenaje, 24).
- CARVALHO, W. A., ESPÍNDOLA, C. R., PACCOLA, A. A. *Levantamento de solos da Fazenda Lageado Estação Experimental "Presidente Medici"*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1983. 95p.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. *Necessidades hídricas das culturas*. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 24).
- DUJMOVICH, M.N., BONGIORNO, C., CONFALONE, A. Evapotranspiration efficiency of corn grown under rainfed conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING, 1996, San Antonio. *Proceedings...* San Antonio: American Society of Agricultural Engineering, 1996. p.1053-7.
- FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. *Inf. Agron.*, n.73, p.1-4. 1996.
- FORNASIERI FILHO, D. *A cultura do milho*. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.
- HOWELL, T. A., SCHNEIDER, A. D., JENSEN, M. E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LYSIMETRY, 1991, Hawaii. *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: ASCE, 1991. p.1-10.
- MARTINS, D. Clima da Região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1, 1989, Botucatu. *Anais...* Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas – Universidade Estadual Paulista, 1989. p.8-19.
- MATZNAUER, R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. MALUF, J. R. T. Evapotranspiração da cultura do milho. I. Efeito da época da semeadura. *Ver. Bras. Agromet.*, v.6, n.1, p.9-14, 1998.
- O CONSUMO de água pelas plantas. *Tempo de irrigar: manual do irrigante*, 1987. p.42-53.
- OLIVEIRA, S. L., SANS, L. M. A., SEDYAMA, G. C. Resposta do milho doce a irrigação e adubação nitrogenada. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20, 1994, Goiânia. *Resumos...* Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 1994. p.186.
- RAIJ, B. et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. *Bol. Tec. Inst. Agron. (Campinas)*, n.100, p.1-285, 1997.
- SAWAZAKI, E., GALVÃO, J. C. C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Instruções agrícolas para as principais culturas. *Bol. Tec. Inst. Agron. (Campinas)*, n.200, p.1-396, 1998.
- STICKLER, F. C., WEARDEN, S., PAULI, A. W. Leaf area determination in grain sorghum. *Agron. J.*, p.187-8, 1968.
- VALADÃO, L. T. *Evapotranspiração e coeficientes de cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em dois níveis do lençol freático*. Botucatu, 1995. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.